

Sähkökunnossapitomittaukset käytännössä



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö
Sähkö- ja automaatiotekniikka, insinööri (AMK)

Kevät, 2022

Jesse Vierre

Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutus

Tekijä Jesse Vierre

Työn nimi Sähkökunnossapitomittaukset käytännössä

Ohjaaja Jussi Lehtonen

Tiivistelmä

Vuosi 2022

Opinnäytetyön tarkoituksena oli analysoida ja parantaa työn tilaajan, HS-Veden sähkökunnossapitomittauksia ja dokumentointia. Käytännössä se tapahtui parantamalla olemassa olevan kunnossapitojärjestelmän mittauspäiväkirjaa sekä luomalla käyttöohjeet sähkökunnossapitomittausten tekemiseen.

Laakerivirrät ovat osoittautuneet haasteeksi HS-Vedellä. Opinnäytetyössä selvitettiin laakerivirtojen syntyä, vaikutuksia laitteisiin, sekä keinoja niiden ehkäisemiseksi ja korjaamiseksi.

Mittausprosessin analysoinnin perusteella päädyttiin päivittämään kunnossapitojärjestelmän mittauspäiväkirjan tietoja koodaamalla siihen uusia kenttiä. Mittauspäiväkirjaan lisättiin laakerivirtojen mittaaminen ja lämpökuvaus.

Mittausten raportoinnista tehtiin yksityiskohtaiset käyttöohjeet, joilla haluttiin varmistaa, että uudet toiminnot otetaan laajasti käyttöön ja mittaukset suoritetaan kaikissa kohteissa samalla tavalla luotettavien mittaustulosten varmistamiseksi.

Avainsanat Kunnossapito, mittaustekniikka, sähkömittaustekniikka, sähkökunnossapito
Sivut 31 sivua ja liitteitä 5 sivua

Electrotechnology and automation engineering

Author Jesse Vierre

Subject Electronic maintenance measurements in practice

Supervisors Jussi Lehtonen

Abstract

Year 2022

The subject of this thesis was to analyze and improve the electronic maintenance measurements and documentation to HS-Vesi which was the commissioner of the thesis. In practice this was accomplished by improving the measurement log of the current maintenance system and by creating a manual for the electronic maintenance measurements.

Bearing currents have proved to be a challenge with HS-Vesi. In this Thesis I examined the occurrence of bearing currents, their effects on the equipment, and the means to prevent and correct them.

Based on the analysis of the measurement process, it was decided to update the data in the measurement log of the maintenance system by coding new fields. Measurement of bearing currents and thermal imaging were added to the measurement log.

Detailed instructions for the reporting of measurements were made to ensure that the new functions would be widely implemented and that measurements are carried out in the same way at all sites to ensure reliable measurement results.

Keywords Electrical maintenance, electronic measurement practice, Maintenance, measuring practice

Pages 31 pages and appendices 5 pages

Sisällysluettelo

1	Johdanto	2
2	Kunnossapito	3
3	Sähkökunnossapito	4
4	Yleiset sähkökunnossapitomittaukset.....	6
5	Laakerivirrat.....	6
	5.1 Laakerivirta tyypit.....	8
	5.2 Laakerivirtojen ehkäisy.....	12
6	Lämpökuvaus	18
7	Kunnossapidon dokumentointi HS-Vedellä.....	19
8	HS-Veden sähkökunnossapito.....	19
	8.1 Yleisimmät sähköviat HS-Vedellä.....	20
	8.2 HS-Veden sähkökunnossapitomittaukset	21
9	Laakerivirtojen mittaaminen käytännössä	22
10	Lämpökuvaus käytännössä	26
11	Mittauspäiväkirjan päivittäminen	28
12	Mittausohjeen tekeminen	30
13	Pohdinta	30
	Lähteet.....	32

Liitteet

Liite 1	Mittauspäiväkirjan kuvakaappaus
Liite 2	Sähkökunnossapitomittaus ohjeet

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön aiheena on sähkökunnossapito ja erityisesti sähkökunnossapitomittaukset. Tavoitteena on kehittää opinnäytetyön tilaajan tämänhetkisiä sähkökunnossapidon mittausprosesseja informatiivisemmiksi ja paremmin nykyisiä tarpeita vastaaviksi.

Opinnäytetyön tilaajana toimii HS-Vesi, eli Hämeenlinnan seudun vesi. Se on perustettu vuonna 2001. HS-Veden toimiala on vesihuoltopalvelut. Se sisältää hule- ja jätevedeen, viemärointiin ja veden puhdistukseen liittyvät palvelut. HS-Veden toimintaa tapahtuu Hämeenlinnassa ja sen kuntaliitoksissa (Renko, Hauho, Lammi ja Iittala), Hattulassa, sekä Akaassa. HS-Veden toiminta on kriittinen yhteiskunnan toiminnalle, joten kunnossapidon on oltava toimintavarma.

Opinnäytetyön tavoitteena on selventää mitä sähkökunnossapitomittauksilla tarkoitetaan ja parantaa HS-Veden olemassa olevaa kunnossapitojärjestelmää, luoda käyttöohjeet sähkökunnossapitomittauksille, sekä parantaa olemassa olevaa mittauspäiväkirjaa. Näillä keinoilla yritetään parantaa HS-Veden toimintavarmuutta.

Opinnäytetyössä tullaan käsittelemään laakerivirtojen mittauksia ja lämpökuvausta, sekä niiden dokumentointia. Lisäksi opinnäytetyön yhteydessä laaditaan mittausohje kunnossapitomittausten suorittamiselle, jonka tavoitteena on harmonisoida mittausten suorittaminen.

2 Kunnossapito

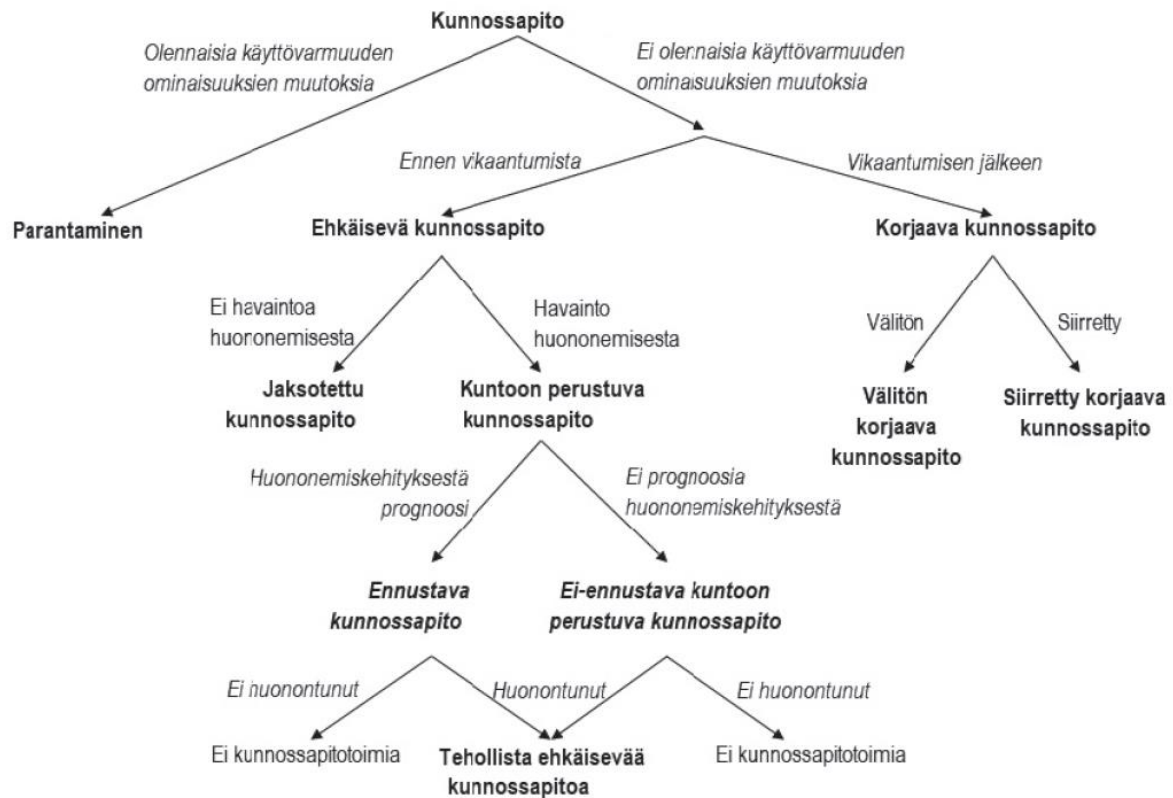
Kunnossapito on yleisesti rakennusten, koneiden ja laitteistojen ylläpitoa. Se on kokonaisuus, jolla pyritään pitämään tai palauttamaan suunniteltu toiminta, sekä toiminnan tehokkuus (SFS-EN 13306:2017, s. 5). Kunnossapito jaetaan kolmeen pääkategoriaan; ehkäisevä, korjaava ja parantava kunnossapito. Kuvasta 1 nähdään kunnossapitotyyppien jakaantuminen, sekä miten kunnossapitotyypit jatkuvat pääkategoriasta.

Ehkäisevä kunnossapito on yleisesti kunnossapitotoimenpide, jolla pyritään estämään mahdollisten vikojen esiintyminen, ennen kuin ne edes syntyvät. Tällä pyritään pitämään katkokset tuotannossa tai muussa toiminnassa mahdollisimman pieninä. (SFS-EN 13306:2017, s. 13) Ehkäisevän kunnossapidon voi jakaa jaksotettuun ja kuntoon perustuvaan kunnossapitoon. Jaksotettu kunnossapito on määräajoin suoritettava huoltotoimenpide, joka ei vaadi toimintakunnon tutkimusta. Kuntoon perustuva kunnossapito taas vaatii fyysisen kuntotutkimuksen, jotta voidaan huomata mahdolliset kunnossapitotarpeet. Kuntoon perustuvan kunnossapidon voi vielä jakaa ennustavaan kunnossapitoon, joka perustuu tehtyihin analyysihin, kokemuksiin ja tutkimuksiin, joilla pystytään ennustamaan tulevia huoltotoimenpiteitä, ja ei-ennustavaan kunnossapitoon, joka ei perustu analyysihin tai ennusteisiin. Ennustava ja ei-ennustava kunnossapito johtavat teholliseen ehkäisevään kunnossapitoon, jolloin toimenpiteet vaikuttavat suoraan kunnossapitokohteen toimintaan. Tällä pyritään palauttamaan ja ylläpitämään kunnossapitokohteen haluttua toimintakykyä. (SFS-EN 13306:2017, s. 14)

Korjaavalla kunnossapidolla tarkoitetaan kunnossapitoa, joka tapahtuu mahdollisen vian esiintymisen jälkeen. Korjaavalla kunnossapidolla pyritään pääsemään samaan tehokkuuteen tai toimintoon kuin ennen vian esiintymistä (SFS-EN 13306:2017, s. 14). Korjaavan kunnossapidon voi jakaa vielä kahteen kunnossapitotyyppiin, jotka ovat välitön ja siirretty korjaava kunnossapito. Välitön kunnossapito tehdään mahdollisimman nopeasti vian esiinnyttyä, jotta mahdollisilta haitoilta vältyttäisiin. Siirrettävää kunnossapitoa voidaan mahdollisuuksien mukaan siirtää sopivammalle ajanjaksolle. (SFS-EN 13306:2017, s. 15)

Parantavalla kunnossapidolla pyritään parantamaan kunnossapidettävyyttä, tehokkuutta, toimintavarmuutta ja turvallisuutta. Parantavalla kunnossapidolla kuitenkin pyritään pitämään toiminto samana (SFS-EN 13306:2017, s. 14).

Kuva 1 Kunnossapito yleiskuva (SFS-EN 13306:2017, s. 22)



3 Sähkökunnossapito

Sähkökunnossapito on sähkölaitteiden ja laitteistojen ylläpitoa. Sähkökunnossapito on määrätty sähköturvallisuuslailla (Sähköturvallisuuslaki 1135/2016). Lain tarkoituksena on pitää sähkölaitteet sekä laitteisto turvallisena. Sähkökunnossapidosta vastaa laitteiden ja laitteistojen haltija (Tukes, n.d-a).

Sähkökunnossapito on tärkeää, sillä johdot, komponentit, asennuskalusteet ja sähköasennukset tulevat ajan myötä vanhentumaan ja hajoamaan, ellei niistä pidetä huolta.

Hajoamiset voivat johtaa laiterikkoon ja voivat huonossa tapauksessa johtaa tulipaloon, sähköiskuun tai henkilövahinkoihin. Ongelmien välttämiseksi laitteet ja laitteistot vaativat jatkuvaa tarkkailua, ennakkohuoltoa ja nopeita vian korjauksia. Sähkökunnossapitoa saavat tehdä vain sähköalan ammattilaiset. (Tukes, n.d-b)

Sähkölaitteisto jaetaan kolmeen luokkaan, joihin vaikuttaa sähkölaitteiston varmennus- ja määräaikaistarkastusten vaatimukset sekä kunnossapito-ohjelman vaativuus. Luokat on nimetty yksinkertaisesti: luokka 1, luokka 2 ja luokka 3. Luokka 3 on kaikista vaativin laitteistoluokka ja luokka 1 on vähiten vaativa laitteistoluokka. (Tukes, n.d-c) Turvallisuus- ja kemikaaliviraton tekemä taulukko 1 selittää laitteistoluokat.

Taulukko 1 Laitteistoluokat ja tarkastusvälit (Tukes, n.d-c)

Laitteistoluokka	Laitteisto	Tarkastusväli
Luokka 3	verkkoyhtiöiden sähköverkot	5 vuotta
Luokka 2	yli 1000V osia sisältävät laitteistot, liittymisteholtaan yli 1600kVA:n pienjännitelaitteistot	10 vuotta
Luokka 1	pääsulakkeiltaan yli 35A:n sähkölaitteistot (liike-, julkiset ja teollisuusrakennukset, maatalousrakennukset, yleisten paikkojen asennukset)	10 vuotta

Sähkölaitteistojen toimintakuntoa valvotaan lain määräämillä määräaikaistarkastuksilla. Määräaikaistarkastuksia tehdään kaikkiin laitteistoluokkiin. Ensimmäisen ja toisen luokan laitteistoihin niitä suoritetaan kymmenen vuoden välein ja kolmannen luokan laitteisiin viiden vuoden välein. Määräaikaistarkastukset suorittavat kolmannen osapuolen laitos ja/tai henkilö, jotka ovat Tukesin valtuuttamat. Valtuutuksen saamiseen vaaditaan vahvaa ammattitaitoa ja vahvaa tuntemusta sähkölaitteista, laista sekä määräyksistä.

Määräaikaistarkastuksen tekevältä henkilöltä vaaditaan myös salassapitovelvollisuutta ja vastuuvakuutta. Määräaikaistarkastuksilla pyritään pitämään sähkölaitteistot turvallisina. Määräaikaistarkastusten laiminlyönneistä saattaa seurata oikeudellisia toimia ja ne voivat vaikuttaa vakuutuksesta saataviin korvauksiin. (Tukes, n.d-c)

Sähkölaitteiden haltijan on nimettävä sähkölaitteille käytön johtaja, jos laitteiston haltijalla on luokan 2 ja 3 sähkölaitteistoja. Käytön johtajan tärkeimpiä tehtäviä on varmistaa, että sähkölaitteiston käytössä ja huollossa noudatetaan sähköturvallisuuslain määräämiä

säädöksiä, ja että sähkölaitteisto on sähköturvallisuuslain täyttävässä kunnossa käytön aikana. Hän on myös vastuussa siitä, että käyttötöitä tekevät henkilöt ovat tarpeeksi ammattitaitoisia ja opastettuja heille annettuihin työtehtäviin. Käytön johtajalta vaaditaan pätevyystodistusta ja hyvää ammattitaitoa. Käytön johtajan lisäksi tarvitaan sähkötöiden johtaja, jos yrityksessä tehdään varsinaisia sähkötöitä, kuten suurempia korjaus- ja huoltotöitä. Sähkötöiden johtajana voi toimia sama henkilö kuin käytön johtaja, kunhan kyseinen henkilö pystyy suorittamaan huolellisesti molempien tehtävien tehtävät. (Tukes, n.d-d).

4 Yleiset sähkökunnossapitomittaukset

Oikosulkuvirran mittaamisessa tarkistetaan virran automaattinen poiskytkentä. Mittaamisella voidaan tarkistaa automaation tarpeeksi nopea ja turvallinen poiskytkentä. Oikosulkuvirran mittaamisessa vaatimuksena on vian aiheuttaman kosketusjännitteen poiskytkettyminen tarpeeksi nopeasti tai jännitteen alentaminen vaarattomaan arvoon. (SFS 6000-4-41:2021, s. 8)

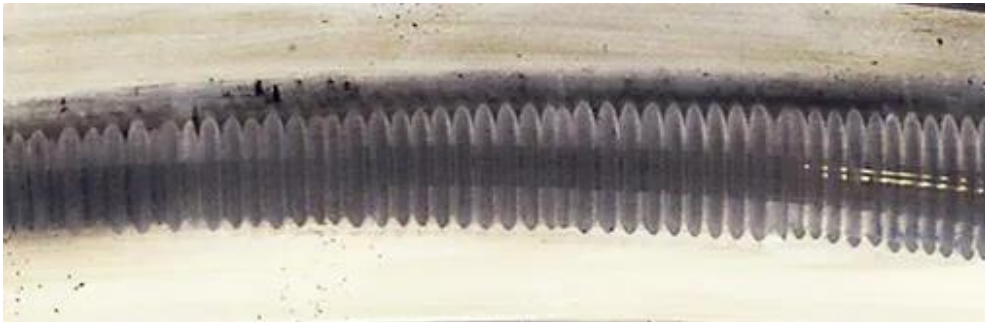
Vikavirran toiminta perustuu vikavirtakytkimen toimimiseen. Vikavirtakytkin tarkkailee vaihejohtimen ja nollan välistä virtaeroa. Mikäli erot vaiheen ja nollan välillä nousee tarpeeksi suureksi, se katkaisee virran kulun. Vikavirtasuojan toimintaperiaate perustuu nopeaan magneettilaukaisimeen, releeseen ja elektroniseen valvontapiiriin. Vikavirtakytkin saattaa laueta esimerkiksi ihmisen kosketuksesta sähkölaitteeseen, mistä syntyy jo tarvittava määrä vaihtelua jännitelukemaan. (STEK, n.d)

5 Laakerivirrat

Laakerivirrat ovat sähkömoottoreiden ongelmia, jotka vaikuttavat nimenomaan sähkömoottoreiden laakereihin. Laakerivirtojen syntymiseen aina vaikuttaa magneettinen epäsymmetria, joka aiheuttaa virtapulsseja. Virtapulssit syntyvät nopeasti nousevista jännitepulsseista, sekä korkeista kytkentätaajuuksista. Jännitepulssit kulkeutuvat laakeriin ja

saattavat aiheuttaa virtapulsseja, jotka kuluttavat laakerin vierintäpintaa. Pienissä määrissä laakerivirrat eivät aiheuta mitään, mutta isommissa virroissa metallia saattaa irrota laakerin vierintäpinnasta voiteluaineeseen. Tätä kutsutaan kipinätyöstöksi (engl. electrical discharge machining). Kipinätyöstöstä syntyvä poikkeama saattaa aiheuttaa lisää kipinätyöstöä keräämällä lisää virtapulsseja, jotka ajan kuluessa synnyttävät kipinäkuopan, joka saattaa kuluttaa laakerin pinnan niin pahasti, että laakeri hajoaa. Aluksi laakerivirtojen ongelmat yleensä ilmenevät moottorissa ylimääräisenä äänenä ja värinä, sekä lopulta laakerin hajoamisena. Laakerivirrat ovat yleinen syy moottorin laakerin rikkoutumisella ja ne saattavat rikkoa sähkömoottorin laakerin jopa kahdessa kuukaudessa. (ABB, n.d-b). Kuvasta 2 Nähdään tyypillinen laakerivirran aiheuttama vaurio laakerissa.

Kuva 2 Laakerivirran aiheuttama laakerivaurio (Zener, n.d-a)

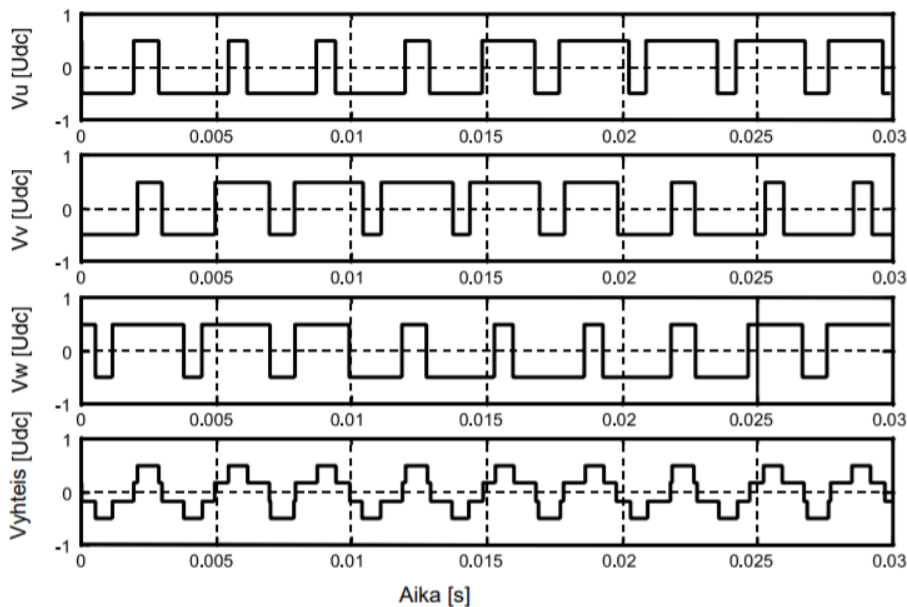


Laakerivirtoja on esiintynyt koko oikosulkumoottorin historian aikana, mutta ennen ne johtuivat pääosin oikosulkumoottorin epäsymmetrisyydestä ja virrat olivat taajuudeltaan pienempiä, jolloin haitatkin olivat pienempiä ja ilmenivät myöhemmin. Nykyään moottorit on suunniteltu niin hyvin, ettei laakerivirtoja synny lähes yhtään oikosulkumoottorin epäsymmetrisyydestä. Laakerivirrat ovat syntyneet suuremmaksi ongelmaksi taajuusmuuttajien yleistyessä (ABB, 2000, s. 5).

Taajuusmuuttajista lähtevä virta ei ole perinteisen siniaallon muotoista signaalia vaan se on kantiaaltoa, joka on muokattu muistuttamaan siniaaltoja käyttämällä taajuusmuuttajan invertteriä, jonka toiminta perustuu pulssinleveysmodulaation. Modulaatiossa kolmivaihe tasajännite muutetaan muistuttamaan siniaaltoja leikkaamalla jännitepulsseja sopivan mittaisiksi, kuten kuvassa 3 näkyy. Jännitepulsseilla tehtävässä siniaallossa potentiaali ero on lähes mahdoton saada pysymään nollassa, toisin kuin oikeassa siniaallossa se on nolla. Tämä

potentiaali ero aiheuttaa potentiaalilin ja maan väliin yhteismuotoisen jännitteen, joka sitten jakautuu syöttävän verkon ja taajuusmuuttajan välille. Yhteismuotoinen jännite saattaa aiheuttaa laakerivirtoja ja sitä pidetäänkin laakerivirtojen pääsyynä (Hulkkonen, 2017).

Kuva 3 Jännitteen pulssinleveysmodulointi (ABB, 2000, s. 8)

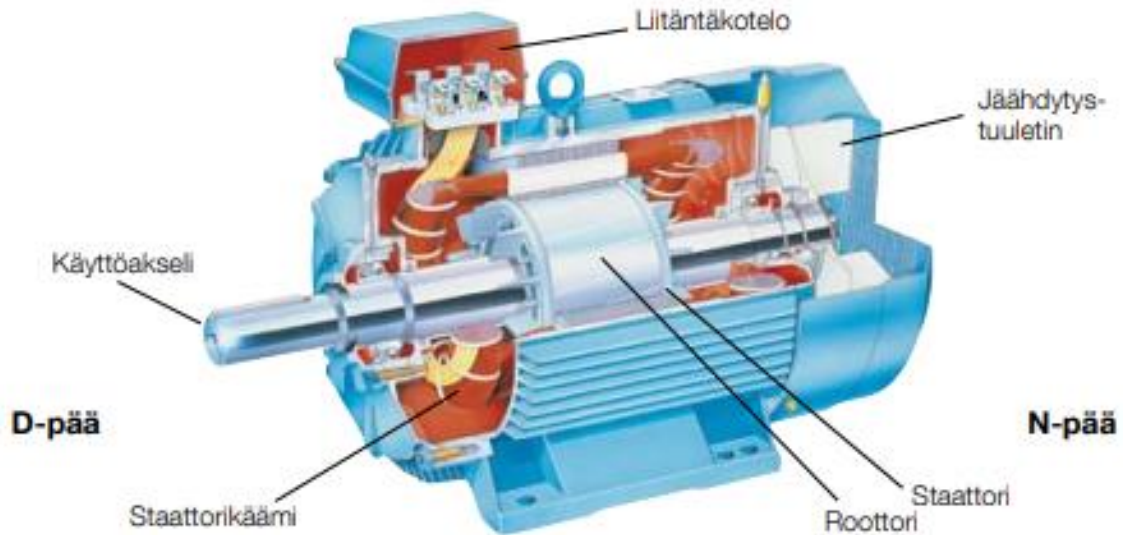


5.1 Laakerivirtatyypit

Laakerivirtoja on useampaa tyyppiä. Laakerivirran tyyppiin vaikuttaa moottorin ja akselin maadoitukset, sekä moottorin koko. Moottorikokoja käsitellään tässä työssä International Electrotechnical Commission luomalla standardilla (IEC), joka on yleinen sähkömoottoreissa käytetty tehokkuus- ja kokostandardi, mitä isompi numero, sitä suurirunkoisempi ja tehokkaampi moottori (Zener, n.d-b). Laakerivirtojen kolme päätyyppiä ovat kapasitiivinen purkausvirta, akselin maadoitusvirta ja kiertovirta. Näissä kaikissa tyypeissä laakerivirtojen muodostumiseen kuuluu taajuusmuuttajan muodostama yhteismuotoinen jännite (Järvi,

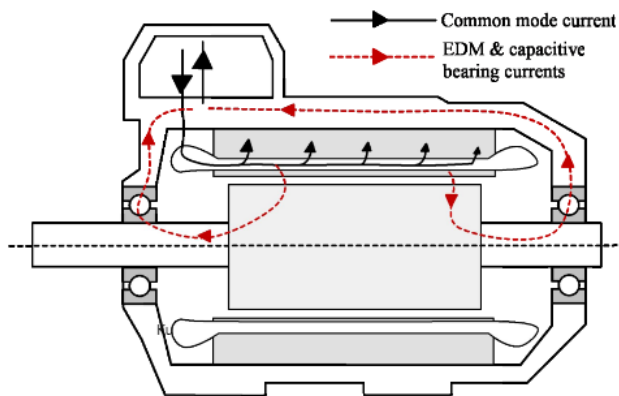
2014). Eri laakerivirtatyypit vaikuttavat eri tavoilla sähkömoottorin eri osiin. Kuvassa 4 on nähtävillä sähkömoottorin yleisimmät osat.

Kuva 4 Sähkömoottorin yleisimmät osat (ABB, n.d-d, s. 4)



Kapasitiivista purkausvirtaa tapahtuu usein pienissä sähkömoottoreissa, vaikka moottori olisikin oikein maadoitettu. Kapasitiivisten virtojen välttämiseksi on tärkeää maadoittaa moottori myös kuormalaitteen kanssa (ABB, 2000, s. 7). Kapasitiivinen purkausvirta aiheutuu sähkökentästä, joka syntyy roottorin ja käämityksen väliseen ilmaväliin. Sähkökenttä saa energiansa pyörivästä magneettikentästä, joka on seurausta sähkömoottorin käymisestä. Energiämäärän kasvaessa tarpeeksi suureksi tapahtuu energiapurkaus, joka aiheuttaa virran kulkua akselin kautta maihin. Kuvasta 5 nähdään miten kapasitiiviset laakerivirrät muotoutuvat.

Kuva 5 EDM-laakerivirran ja pienten kapasitiivisten laakerivirtojen muodostuminen (Ahola, 2011, s. 19)

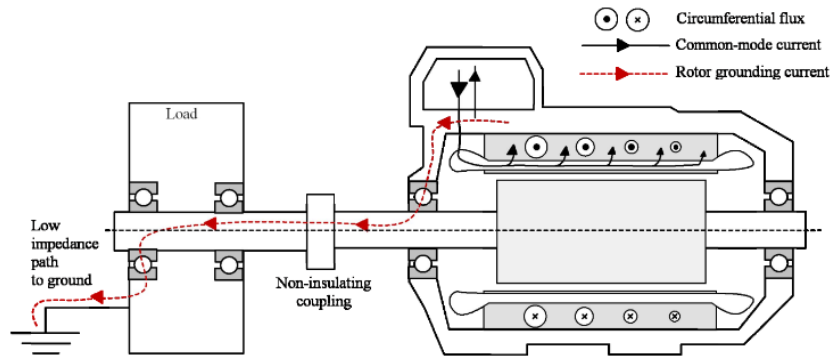


Maadoitusvirta on laakerivirtatyyppi, jossa maadoitusvirta vuotaa moottorin pyöriessä staattorista runkoon. Rungosta virta pyrkii takaisin moottorin teholähteeseen. Virta pyrkii kulkemaan reitin kautta, jossa on pienin impedanssi takaisin teholähteeseen. Virran noustessa tarpeeksi suureksi virta ylittää laakerin öljyn suojakertoimen. Tällöin virta pääsee kulkemaan laakerin kautta akseliin, jonka kautta virta pääsee kulkemaan kuormalaitteelle, josta se pääsee takaisin teholähteeseen. Maadoitusvirtaa voidaan epäillä, mikäli akselin jännitteen arvo nousee. Jännite (U) nousee, koska kokonaisimpedanssi (Z) nousee, kun moottori on yhdistetty kuormalaitteen kanssa. Tämä jännitteen nousu voidaan todistaa ohmin lailla, jossa jännite = U , impedanssi = Z ja virta = I .

$$U=ZI \quad (1)$$

Jännitteen nousu voidaan huomata, mikäli moottori on maadoitettu käytettävän kuormalaitteen kanssa. (ABB, 2000, s. 7) Kuvasta 6 voidaan huomata virran kulkema reitti kuormalaitteen teholähteeseen.

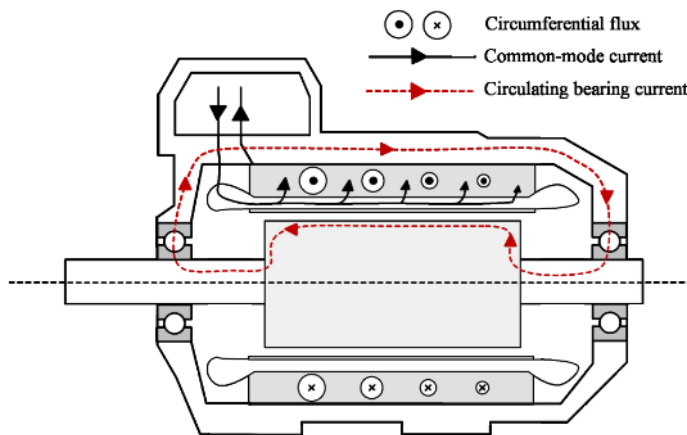
Kuva 6 Roottorin maadoitusvirtojen muodostuminen (Ahola, 2011, s. 21)



Kiertävä virta nimensä mukaisesti kiertää ja se on usein suurien sähkömoottoreiden ongelma. Sitä esiintyy suurissa moottoreissa niissä olevan suuritaajuisen vuon takia (ABB, 2000, s. 7). Kiertävä virta syntyy, kun taajuusmuuttaja kytketään moottoriin.

Taajuusmuuttajan kytkentä aiheuttaa moottoriin yhteismuotoisen jännitteen. Virta pääsee kiertämään käämityksen ja moottorin rungon kapasitiivisen yhteyden avulla, sillä käämien ja rungon välille muodostuu pituussuunnassa etenevä yhteismuotoinen virtapulssi. Tämä virtapulssi ympärilleen magneettikentän ja tämä magneetti kenttä indusoi vastakkaisuuntaisen jännite-eron roottorille. Näin syntyy virtapiiri sähkömoottorin sisälle roottorin, laakerien ja rungon välille (Ahola, 2011, s. 20). Kuvasta 7 voidaan huomata miten virta kiertää sähkömoottorin sisällä.

Kuva 7 Taajuusmuuttajan aiheuttamien kiertävien laakerivirtojen muodostuminen (Ahola, 2011, s. 20)



5.2 Laakerivirtojen ehkäisy

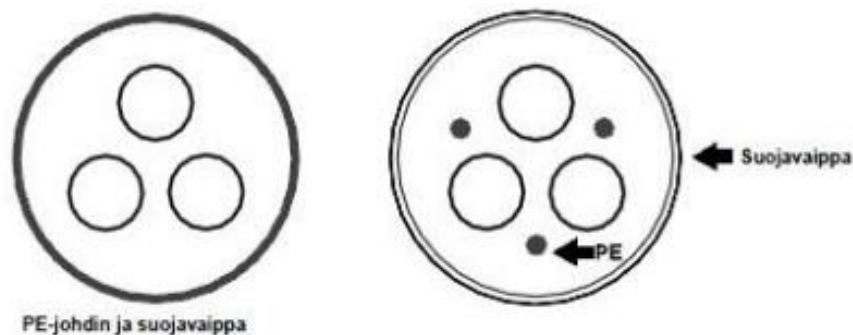
Laakerivirtojen ehkäisyyn on erilaisia tapoja. Ensisijaisia keinoja ovat maadoitetun N-pään laakerin käyttäminen, oikein suojatut ja mitoitetut moottorikaapelit, sekä yhteismuotoinen suodatin. Muita ehkäisykeinoja ovat molempien akselin päiden laakereiden korvaaminen maadoitetuilla, eristäväkytkin, maadoitus rengas, sekä akselin maadoitusharja (ABB, n.d-c). Ennen korjaustoimien aloittamista on tärkeää selvittää laakerivirtatyyppejä, jotta osataan valita oikea tapa laakerivirran ehkäisyyn, koska vääränlainen menetelmä voi huonontaa tilannetta (Järvi, 2014).

Yhteismuotoinen suodatin on suuremmissa moottoreissa, eli IEC 400 kokoluokasta ylöspäin olevissa sähkömoottoreissa käytetty ehkäisy menetelmä. Yhteismuotoinen suodatin vähentää laakerivirtojen riskiä, koska sillä pienennetään yleistilavirtaa. Yhteismuotoinen suodatin voidaan asentaa vaihteiston ja moottorin väliseen kaapeliin, tai sitten se voidaan asentaa suoraan sisäisesti sähkömoottorin ja käyttöpakettiin. Yhteismuotoinen suodatin ei vaikuta suuresti pääjännitteen vaiheisiin (ABB, n.d-c).

Oikein suojatut ja mitoitettut moottorikaapelit ovat suositeltava tapa pienentää laakerivirtoja varsinkin isommissa moottoreissa. Maadoitus- ja moottorikaapelit, joissa on symmetrinen suojamaadoitussuojaus läpi järjestelmän pienentää oikosulkumoottorin akselin ja rungon jännitettä. Kuvassa 8 oikealla on kaapeli, jossa on symmetrinen suojamaadoitussuojaus. Tällaista suojausta suositellaan käytettäväksi, vaikka varsinaista laakerivirtaa ei olisi. Tämän pitäisi myös olla ensisijainen tapa ennaltaehkäistä ja pienentää laakerivirtoja (ABB, n.d-c).

Kuva 8 Suositeltava, rakenteeltaan symmetrinen suojakaapeli

(ABB, 2000, s. 15)



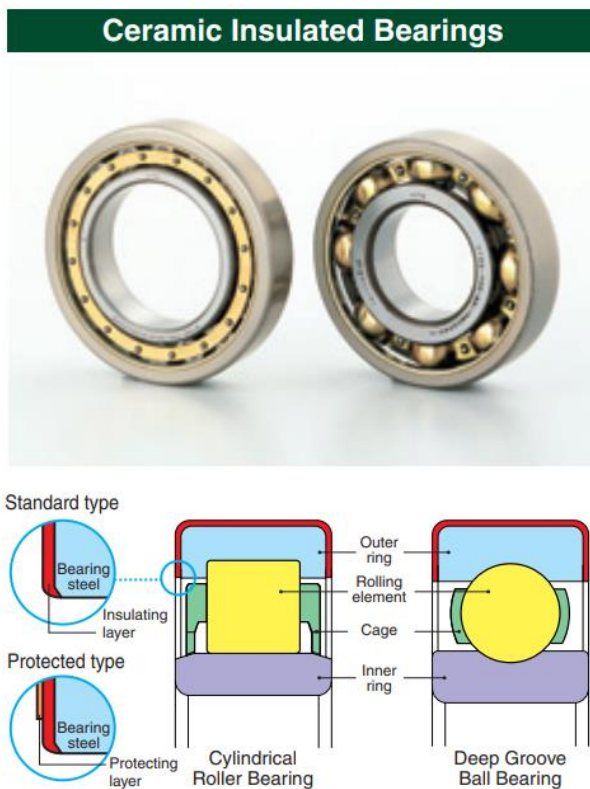
Eristetty N-pään laakeri on maadoitettu laakeri, joka on tehokas tapa pienentää laakerivirtoja. Kuvassa 9 on eristetty laakeri missä näkyy eristerengas. Eristettyä laakeria käytetään IEC 280 koosta lähtien. Eristetty laakeri asennetaan moottorin vetämättömään päähän. Eristetty laakeri estää virran kulun laakerin kohdalta. Vaikka virran kulku katkaistaan laakerin kohdalta, virran on silti kuljettava johonkin. Tämä on otettava huomioon, jotta virta ei aiheuta muita ongelmia kokonaisuudessa, johon moottori on mahdollisesti liitetty. Eristetyn laakerin voi asentaa moottoriin jälkikäteen alkuperäisen maadoittamattoman laakerin tilalle ja on yleensä myös otettavissa lisävarusteena uusiin moottoreihin. (ABB, n.d-c)

Kuva 9 Kuulalaakeri, jonka sisällä on eristetty sisärengas
(Gissenberger, 2015)



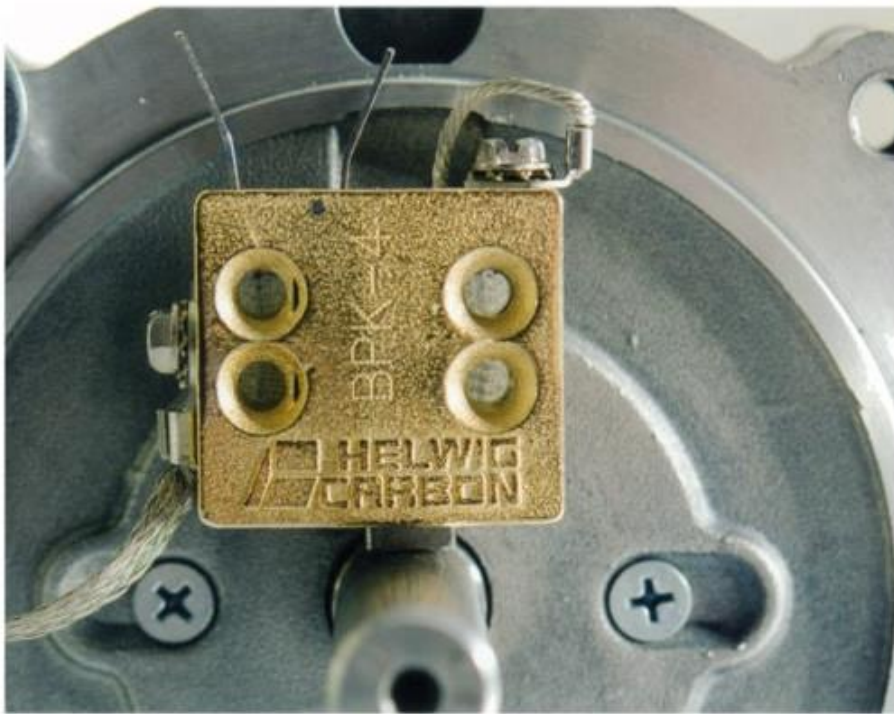
Molempien laakereiden korvaaminen maadoitetuilla laakereilla on toinen uudemmissa laakerivirtojen ehkäisykeinoista. Aiemmin tekstissä käytiin läpi maadoitettu N-pään laakeri, tämä on samantyyppinen ratkaisu, mutta ei ole käytössä suurissa moottoreissa vaan pääosin IEC 71-250 ja pienemmissä moottori kokoluokissa. Tässä tavassa käytetään moottorin molemmissa päissä eristettyjä laakereita, jotka ovat yhteydessä toisiinsa ulkoisella kiskolla tai vierintävälillä. Tämän tyyppinen ratkaisu estää virran kulkemisen maihin. Joissain pienemmissä moottoreissa voidaan käyttää myös ns. hybridilaakereita, joissa käytetään keraamisia vierintäelementtejä ja niistä saatavia etuja ovat pidemmät vaihtovälit ja voiteluvälit (ABB, n.d-c). Kuvassa 10 näkyy esimerkki keraamisesti eristetyistä laakereista.

Kuva 10 Keraamiset eristetyt laakerit (NTN Corporation, n.d)



Hiiliharja on hieman uudempi laakerivirtojen ehkäisykeino. Sitä käytetään pääosin IEC 132-250 moottori kokoluokissa. Hiiliharja asennetaan moottorin runkoon siten että sen hiili osuu akseliin, kuten kuvassa 11 on esitetty. Hiiliharja ohjaa matalan impedanssinsa avulla virran akselilta laakerin sijasta maihin. Tämä on turvallinen ehkäisykeino moottorin ja loppuasennuksen kannalta. Hiiliharjan heikoin kohta on sen suhteellisen nopea kuluminen, sillä hiilen ja akselin välillä on koko ajan kitkaa ja se kuluttaa jatkuvasti hiiliharjaa. Kulumiseen vaikuttaa myös laakerivirtojen suuruus, sillä suuremmasta virrasta tulee enemmän lämpöä, mikä edesauttaa hiiliharjan kulumista. Hiiliharjan voi asentaa jälkikäteen paikan päällä tai sen voi ottaa valmiina lisävarusteena sähkömoottoriin. Hiiliharjoja voi asentaa useamman yhteen moottoriin, tärkeää on tällöin pitää huoli yhtä pitkistä maadoitusjohtimista, jotta maadoitusvirta jakautuisi tasaisesti. (ABB, n.d-c)

Kuva 11 Akselin maadoitus hiiliharjalla (Emerson Bearing, n.d)



Maadoitusrenkas on toinen uudempi laakerivirtojen ehkäisymenetelmä. Sen toimintaperiaate on lähes identtinen maadoitusharjan kanssa. Maadoitusrenkas myös johtaa akselilta virtaa pois maihin matalan impedanssin ansiosta, mutta yhden harjatangon sijasta se käyttää akselin ympärille tulevaa rengasta. Maadoitusrenkas asennetaan sähkömoottorin kylkeen kuvan 12 mukaisesti. Maadoitusrenkaassa käytetään kuluvan tangon sijasta mikrokuituja, jotka peittävät renkaan sisäkehää. Maadoitusrenkas on teknisesti ja kestävyden kannalta parempi ratkaisu laakerivirtojen poistoon kuin maadoitusharja. Maadoitusrenkaan huonoin puoli maadoitusharjaan verrattuna on sen korkeampi hankintahinta, sekä sen huonompi laakerivirtojen poistojen tehokkuus (Marttila, 2017, s. 31).

Kuva 12 Moottorin ulkopuolelle asennettu maadoitusrenkas (Aegis, 2016)



Eristävä kytkin on yksi tapa pienentää laakerivirtoja, sillä pyritään ehkäisemään nimenomaan kiertäviä laakerivirtoja, sekä akselinmaadoitusvirtoja. Eristävän kytkimen toiminta perustuu siihen, että laakerin kulkema matalaimpedanssinen reitti katkaistaan, jolloin se ei pääse etenemään akselin kautta kuormalaitteen maadoitukseen, vaan johtuu silloin omaan maadoitukseen. Eristävän kytkimen käyttöä kannattaa kuitenkin harkita tarkkaan, sillä se saattaa olla myös haitaksi. Haitta tulee kapasitiivisista virroista, joiden on pakko päästä purkautumaan pois akselilta. Tällöin jännite iskee laakerin läpi, muiden reittien ollessa pois pelistä. Eristävää kytkintä käytetäänkin nimenomaan suojaamaan mahdollisen kuormalaitteen laakereita, eikä sähkömoottorin omia laakereita. (Järvi, 2014, s. 32) Kuvasta 13 nähdään tyypillinen eristävä kytkin.

Kuva 13 Eristävä kytkin (Ahola, 2011, s. 23)



6 Lämpökuvaus

Lämpökuvaus on eräänlaista valokuvaamista tai videokuvaamista, jossa perinteisen kameran sijaan käytetään lämpökameraa. Lämpökameralla voidaan kuvata ihmissilmälle näkymätöntä infrapunasäteilyä, joka näkyy infrapuna-alueella. Infrapunasäteilyä eli tavallisemmin sanottuna lämpösäteilyä esiintyy kaikissa pinnoissa, joiden lämpötila on korkeampi, kuin absoluuttisella nollassa ($-273,15\text{ °C}$) (Satakunnan ammattikorkeakoulu, n.d.). Infrapunasäteilyä kuvaamalla voidaan huomata asioita, mitkä muuten saattaisivat jäädä näkemättä, esimerkiksi löysät liitokset keskuksessa ovat lämpimämpiä, kuin kireät liitokset. Tämä voidaan huomata jo ennen kuin mitään häiriötä ehtii edes syntymään ja liitos voidaan kiristää ennen kuin ongelmia syntyy prosessiin. Lämpökuvaukset on yleistyneet lähes kaikilla aloilla lämpökameroiden tullessa halvemmiksi sekä pienemmiksi. Ennen niitä käyttivät lähestulkoon vain metsästäjät ja armeijat, mutta nykyään niitä hyödynnetään paljon teollisuuden ja rakennusten kunnossapitotöissä. Lämpökuvia on helppo ottaa, ja tulkita suoraan kuvasta. Niitä on myös helppo tarkastella erilaisilla analysointi- ja raportointi ohjelmilla. (Suomalainen, 2011, s. 9)

Lämpökuvaus mittaa kokonaissäteilyä kuvattavasta kohteesta. Kuvattavan kohteen lisäksi kamerassa näkyy myös viereisten lähteiden säteily, sekä joskus myös läpäiseviä säteilyjä. Läpäisevät säteilyt saattavat näkyä esimerkiksi ohuen seinämän läpi. Säteilyjä ilmaistaan emissiivisyysluvulla, jonka arvo 0–1. Emissiivisyysluku perustuu todellisen pinnan säteilyyn ja ideaalisäteilyn suhdelukuun. Luku 1 on ideaalisäteilijää varten, joka teoriassa olisi täysin musta omaa säteilyä aiheuttava pinta, mutta sellaista ei ole käytännössä olemassa. Luvun lähestyessä nolaa pinta johtaa paremmin muita säteilylähteitä, jolloin säteily saattaa olla täysin heijastuksia muista pinnoista. Emissiivisyysluku nollassa lähellä olevat pinnat on vaikea lämpömitata luotettavasti lämpökameralla. Luvun ollessa lähellä arvoa yksi, on saatavat tulokset lähellä todellisia lämpötila-arvoja. (Suomalainen, 2011, s. 11)

7 Kunnossapidon dokumentointi HS-Vedellä

Dokumentointi on tärkeä osa kaikkea kunnossapitoa. Sen avulla pystytään seuraamaan tehtyjä töitä ja niiden vaiheita. Oikeanlaisella dokumentoinnilla voidaan parantaa yritysten toimintaa, sillä se auttaa arvioimaan paremmin kunnossapidon kuluja, sekä siihen käytettävää aikaa. Dokumentointia seuraamalla voidaan huomata myös kohdat, missä jokin asia on mennyt vikaan ja mikä oikein. Harmillisesti dokumentointi ei ylläpidä itseään vaan siihen tarvitaan aina henkilö tekemään sitä, ja tämä saattaa johtaa suppeaan dokumentaatioon, mistä ei välttämättä saada tarvittavaa informaatiota.

HS-Vedellä kunnossapito dokumentointia tekee lähes koko henkilöstö, ainakin joissain määrin HS-Veden kunnossapitojärjestelmään, eli NOVI:in. HS-Vedellä dokumentaatiota tehdään myös INSTA:n tarjoamaan pilvipalveluun, jossa käytetään perinteisempää Windowsin kansiomenetelmää dokumentaation ylläpitämiseen, mutta siellä se on täysin tiedostopohjaista, eli kuvia, sopimuksia, laitteiden ohjeita, työsuunnitelmia, rakennus suunnitelmia yms. ja sitä ylläpitää huomattavasti harvemmat henkilöt. NOVI on pääasiallinen paikka kunnossapidon dokumentoinnin ylläpitämiseen ja seuraamiseen. Sinne laitetaan kaikki työtilaukset, havaitut viat, työaikataulut, laitetiedot yms. NOVI:a seuraamalla voidaan myös huomata, mitkä ovat yleisiä vikoja ja miten niitä on hoidettu, jokaisen työryhmän kohdalla.

8 HS-Veden sähkökunnossapito

HS-Veden sähkökunnossapito on melko samantyyppistä, kuin muillakin teollisilla ja prosesseja vaativilla yrityksillä. Suurimpana erona varmaan kuitenkin on se, että toimipaikkoja on satoja, sillä sitä tapahtuu puhdas -, jäte- ja hulevesipumppaamoilla, puhdistamoilla, vesitorneissa ja toimistorakennuksissa. Välimatkat toimipaikkojen välillä voivat olla useita kymmeniä kilometrejä.

HS-Veden sähkökunnossapitoa hoitaa pääosin HS-Veden sähkökunnossapitotyöryhmä. Heillä on tarvittavat koulutukset ja ammattitaidot sähkölaitteiden kunnossapitoon. Sähkötöiden tekijän ei ole pakko olla osa sähkökunnossapito ryhmää, mutta henkilön on täytettävä kaikki vaatimukset sähkötöiden tekoon ja hänet pitää vielä oikeuttaa sähkötöiden tekoon myös HS-Veden puolesta.

8.1 Yleisimmät sähköviat HS-Vedellä

NOVI:a analysoimalla voidaan huomata HS-Veden yleisimmät sähköviat. Ne ovat pääosin saman tyyppisiä kuin muissakin teollisuuden ja rakentamisen aloilla. Korjaustoimetkin ovat hyvin yksinkertaisia: Tutkitaan syy ja vaihdetaan uusi ehjä osa tilalle ja tehdään mahdollisesti tarvittavia parannustoimia, jotta ongelma ei heti toistuisi uudestaan. Sähkövikoja esiintyy niin pumppaamoilla, kuin puhdistamoilla. Yleisimmät sähköviat ovat: hajonneet kaapelit, löysät liitokset, taajuusmuuttajaviat, anturiviitot ja sähkökalusteviat.

Hajonneet kaapelit ovat sähkökaapeleita, jotka ovat vanhentuneet tai hajonneet, jolloin johtimien ympärillä olevat eristeet ovat kuoriutuneet. Tämän seurauksena kaksi johdinta saattaa ottaa yhteen, mikä aiheuttaa oikosulun. Oikosulku saattaa laukaista vain sulakkeen, mutta pahassa tilanteessa oikosulku saattaa hajottaa esimerkiksi käytettävän laitteen, kuten esimerkiksi logiikkaohjauskortin, jolla ohjataan pumpun sähkömoottoria.

Löysiä liitoksia esiintyy paljon HS-Vedellä, sillä pumppujen ja sähkömoottoreiden käydessä syntyy värinää. Osa pumppaamoista käy lähestulkoon koko ajan, jolloin sähkökeskus ja kaikki muutkin pumppaamolla olevat laitteet ja kojeet ovat pienessä värinässä melkein koko ajan. Värinä löystyttää ajan kanssa liitoksia ja niiden kireydestä on pidettävä huolta.

Taajuusmuuttaja vikoja esiintyy paljon, sillä taajuusmuuttajia on lähes jokaisen HS-Veden sähkömoottorin ohjauksessa. Sähkökatkokset ja muut mahdolliset ongelmat saattavat saada taajuusmuuttajan vikatilaan. Vikatilan saa usein nollattua manuaalisesti ilman

jatkotoimenpiteitä. Sähkökatkon tai muun tilanteen takia taajuusmuuttajasta saattaa hajota, jolloin se vaatii korjaustoimenpiteitä.

Anturiviat ovat yleisiä vikoja kaikessa valvonnassa ja automaatiossa, myös vesilaitoksen toiminnassa. Antureita on kaikissa automaatio- ja etävalvontalaitteissa. Vesilaitoksella niitä käytetään kaikissa puhdistamoiden prosesseissa, sekä pumppaamoiden pinnanvalvonnassa ja pakkokäytössä. Anturiviat yleensä johtuvat hajoanneesta johdosta, itse anturin hajoamisesta tai liasta. Liasta johtuva vika yleensä saadaan korjattua varovaisella puhdistamisella.

Sähkökalusteviat ovat erittäin yleisiä vikoja sähkölaitteissa. Sähkökalusteita ovat esimerkiksi kytkimet, jakorasiat ja pistorasiat, eli niitä löytyy lähestulkoon joka paikasta.

Sähkökalusteviat ovat yleisiä kaikkialla, mutta yleisempiä pumppaamoilla ja kaikkialla missä on enemmän tärinää ja muutenkin haastavimmat olosuhteet. Sähkökalusteiden viat yleensä johtuvat löystyneistä liitoksista, sekä liasta tai vedestä, jotka ovat syystä tai toisesta päässeet sähkökalusteen sisään, jolloin aiheutuu oikosulku. Sähkökalusteet saattavat myös hajota iän takia. Sähkökalusteiden viat saadaan yleensä korjattua märästä kuivaamalla, kiristämällä liitokset tai vaihtamalla uuteen kalusteeseen.

8.2 HS-Veden sähkökunnossapitomittaukset

HS-Vedellä tehdään sähköisiä kunnossapitomittauksia. Mittausten tulokset merkataan NOVI:in. NOVI:ssa tulokset laitetaan mittauspäiväkirjaan (Liite1), johon on tämän opinnäytetyön aikana tarkoitus lisätä lämpökuvaus ja laakerivirrat. Oikosulkuvirran, vikavirran ja maanjatkuvuuden lisäksi mittauspäiväkirja sisältää laitteiden mekaanisen ja silmämääräisen tarkastuksen. Eli käydään läpi laitteiden toimivuus, mekaaninen kunto, sekä ulkoinen kunto ja kommentoidaan, jos on jotain rikki tai muuta kommentoitavaa. Mittaukset suorittaa henkilöstö, joilla on oikeudet sähkötöiden tekoon.

Sähkökunnossapitomittauksilla pyritään pitämään toimipaikkojen sähkölaitteet kunnossa, toimivina ja turvallisina. Vaikka laitteisto ei näyttäisikään toimintahäiriöstä vikaa on se varmuuden vuoksi hyvä tarkistaa aika ajoin. Näkymättömiä vaaran tai vaurion aiheuttajia saattaa esiintyä esimerkiksi vikavirtakytkimen toiminnassa, jolloin se ei ongelmatapauksessa laukaise vikavirtaa ollenkaan aiheuttaen mahdollisen vika- tai vaaratilanteen. Vesihuollon ollessa yhteiskunnan toimivuuden kannalta kriittinen saattaa vikatilanteet aiheuttaa ongelmia veden loppukäyttäjälle tai ympäristölle.

Määräaikatarkastukset teetetään puolueettomalla alihankkijalla, jolla on tarvittavat pätevyudet ja laitteet niiden tekemiseen. HS-Veden määräaikaistarkastus teetetään noin kymmenen vuoden välein, mutta toimipisteitä on satoja, joten niitä tapahtuu HS-Vedellä usein.

9 Laakerivirtojen mittaaminen käytännössä

Laakerivirtojen mittauksia on teetetty HS-Vedellä alihankintoina, mutta jatkossa niitä halutaan tehdä säännöllisemmin ja oman henkilöstön toimesta. Tällä pyritään paremmin ennakoimaan huoltotoimenpiteiden tarvetta. Mittauksia varten oli hankittava tietyt kriteerit täyttävät mittauslaitteet. ABB:n tekninen opas nro 5:ssä (2000, s. 18) sanotaan seuraavaa: ”Laakerivirtoja on mahdoton mitata suoraan vakimoottorista. Jos on kuitenkin syytä epäillä suurtaajuisia laakerivirtoja, tilanne voidaan mitata kenttämittauksella. Mittauslaitteiston taajuusalueen on oltava suuri (vähintään 10 kHz – 2 MHz), ja sen on pystyttävä havaitsemaan vähintään 150–200 A:n suuruiset huippuarvot, ja toisaalta jo mA:n suuruiset RMS-arvot.” Tämän tiedon pohjalta HS-Vedelle valikoitui laitteeksi laakerivirtojen mittaamiseen METRIX:in OX9062 manuaalinen oskilloskooppi, joka täytti tarvittavat arvot, sekä oli kustannuksiltaan tehokas. Yhtenä vaihtoehtona olisi ollut Fluken MDA-550 Motor Drive Analyser- analysaattori, joka on luotu sähkömoottorin arvojen tarkkaan mittaamiseen, mutta hankintakustannukset olisivat olleet noin viisinkertaiset. Oskilloskoopin lisäksi HS-Vedelle hankittiin laakerivirtojen mittaamiseen sopiva pihtilisälaite METRIX:in HX0072. Oskilloskooppi ja pihtilisälaite näkyvät kuvissa 14 ja 15.

Kuva 14 OX9062 oskilloskooppi



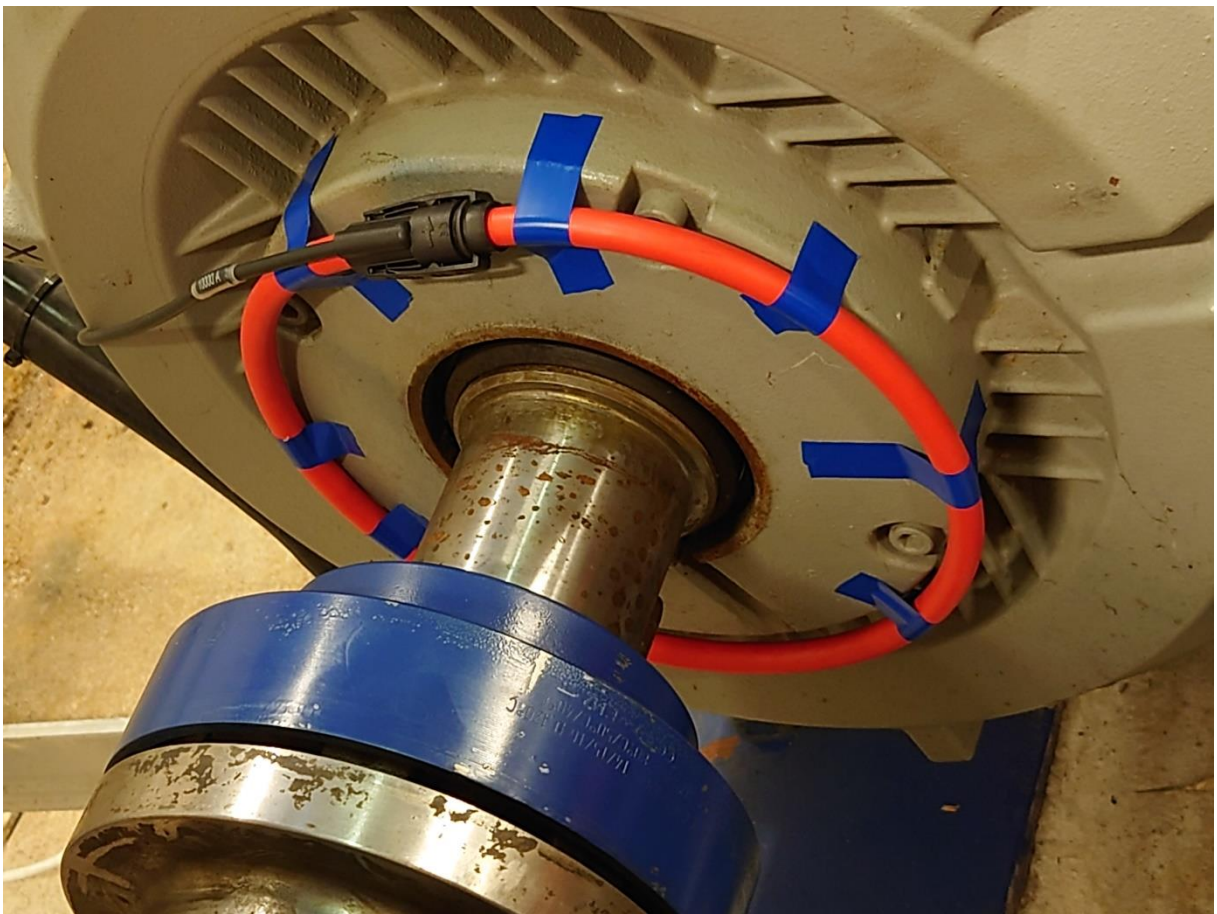
Kuva 15 HX0072 Pihtilisälaite



Laakerivirtojen mittaaminen ei ole aina helppoa, ongelmia aiheuttavat esimerkiksi tilan vähyys, moottorin asento ja moottorin suojaus. Näillä kyseisillä laitteilla mittaaminen osoittautui välillä melko haasteelliseksi nimenomaan koon puolesta. Mittapää pitää asentaa

akselin ympärille ja mahdollisimman lähelle moottorin laakeria. Asennuksessa on vaarana pyörivät akselit, joten mittapää pitää kiinnittää tukevasti moottorin kylkeen ja siten, että mittaus on mahdollista suorittaa turvallisen etäisyyden päästä pyörivästä akselistä, jos vaara tilanne sattuu tapahtumaan. Kuvassa 16 on esimerkki mittapään kiinnittämisestä sähkömoottorin kylkeen.

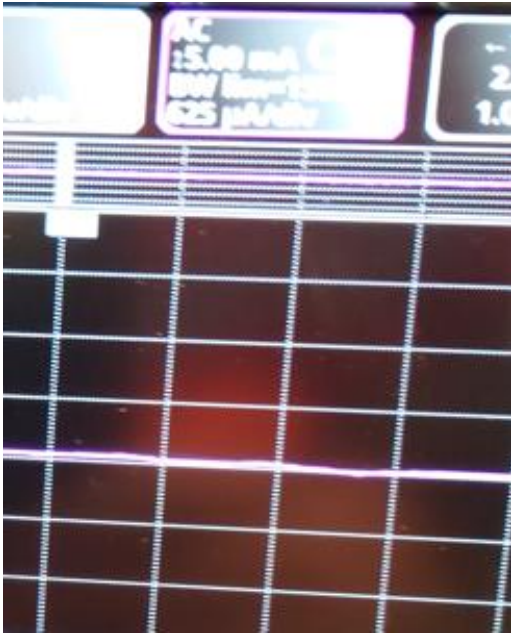
Kuva 16 Virtapäämittari kiinnitettynä sähkömoottorin D-päähän



Lähes kaikissa kohteissa, joissa mittauksia suoritettiin, käyrä oli lähes siistiä siniaallon muotoista. Jolloin näissä mittauskohteissa laakerivirtoja ei ollut huomattavissa. Laakeri virtoja oli kyllä huomattavissa yhdessä mittauspaikassa, jolloin käyrässä oli huomattavissa selkeitä virtapulsseja mittauksen aikana. Seuraavissa kuvissa 17 ja 18 nähdään mittaukset ja,

kuinka ne eroavat toisistaan. Kuva 17 on siistiä tasaista käyrää, kun taas kuvassa 18 on huomattavissa selkeä virtapiikki, joka viittaa laakerivirtoihin.

Kuva 17 Siistiä mittauskäyrää sähkömoottorista, jossa ei ole laakerivirtoja



Kuva 18 Mittaus, jossa on havaittavissa laakerivirtoja



10 Lämpökuvaus käytännössä

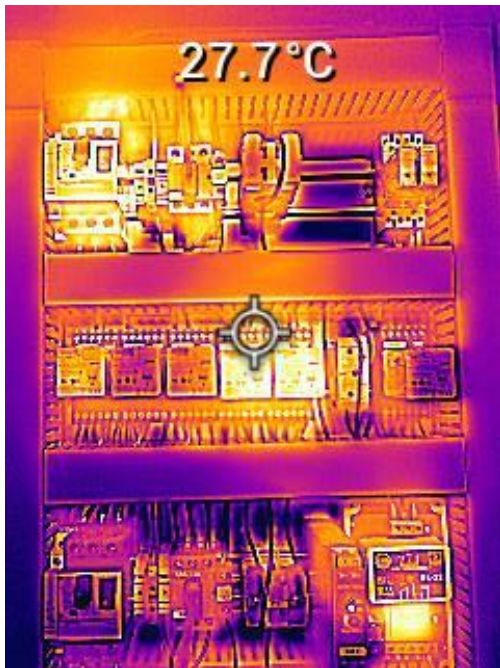
Lämpökuvaus on yksinkertainen asia toteuttaa. Siinä käytetään lämpökameraa, joka hankittiin HS-Vedelle tämän opinnäytetyön yhteydessä. Lämpökameraksi valikoitu FLIR TG267-lämpökamera, joka näkyy kuvassa 19. Se täyttää HS-Veden tarvitsemat vaatimukset lämpökameralta ja oli kustannuksiltaan kohtuullinen. Vaatimuksina oli helppokäyttöisyys, kestävyys, sekä riittävän tarkka lämpösäteilyn erottelukyky.

Kuva 19 FLIR TG267 lämpökamera



Lämpökameralla saadaan otettua kuvia, joilla pystytään tarkastelemaan kuvattavan kohteen lämpötiloja, sekä niiden lämpötila vaihteluita. Kuvassa 20 huomataan jätevesipumppaamon keskuksen lämpötila eroja. Komponentit, jotka hehkovat kirkaampina omaavat ledit tai ovat olleet juuri aktiivisena, jolloin niiden lämpötila on korkeampi kuin viereisten komponenttien.

Kuva 20 Lämpökuva jätevesipumppaamon sähkökeskuksesta



11 Mittauspäiväkirjan päivittäminen

Laakerivirtojen ja lämpökuvausten lisääminen mittauspäiväkirjaan aiheuttaa muutoksia mittauspäiväkirjaan. NOVI:n mittauspohjan muokkaaminen on hankalaa. Siinä koodataan rivi ja sarake kerrallaan ja siinä ei voi mitenkään vain siirrellä asioita paikasta toiseen ja pohja menee helposti sekaisin, jos esimerkiksi yksi rivimerkintä puuttuu, niin se sotkee koko mittauspohjan ulkonäön. Helpompaa oli luoda kokonaan uusi mittauspohja vanhan pohjan tilalle (Liite 1). Käytännössä koodi kopioitiin suoraan vanhasta mittauspohjasta. Uuteen koodiin lisäiltiin vain tarvittavat muutokset laakerivirtojen ja lämpökuvauksen suhteen. Kuvasta 21 voidaan nähdä lisätyt rivit ja sarakkeet laakerivirtoja ja lämpökuvauksia varten.

Kuva 21 Lisätyt kohdat mittauspohjaan

Oikosulkuvirta: Silmukkaimpedanssi	Mittauspaikka	<input type="text"/>	L1 [kA]; [ohm]	<input type="text"/>	L2 [kA]; [ohm]	<input type="text"/>	L3 [kA]; [ohm]	<input type="text"/>	Huomautus	<input type="text"/>
	Mittauspaikka	<input type="text"/>	L1 [kA]; [ohm]	<input type="text"/>	L2 [kA]; [ohm]	<input type="text"/>	L3 [kA]; [ohm]	<input type="text"/>	Huomautus	<input type="text"/>
	Mittauspaikka	<input type="text"/>	L1 [kA]; [ohm]	<input type="text"/>	L2 [kA]; [ohm]	<input type="text"/>	L3 [kA]; [ohm]	<input type="text"/>	Huomautus	<input type="text"/>
Laakerivirta	Moottori	<input type="text"/>	Mittauksen syy:	<input type="text"/>	Tehollisarvo; [mA]	<input type="text"/>	Huippuarvo; [A]	<input type="text"/>	Huomautus	<input type="text"/>
	Moottori	<input type="text"/>	Mittauksen syy:	<input type="text"/>	Tehollisarvo; [mA]	<input type="text"/>	Huippuarvo; [A]	<input type="text"/>	Huomautus	<input type="text"/>
	Moottori	<input type="text"/>	Mittauksen syy:	<input type="text"/>	Tehollisarvo; [mA]	<input type="text"/>	Huippuarvo; [A]	<input type="text"/>	Huomautus	<input type="text"/>
	Moottori	<input type="text"/>	Mittauksen syy:	<input type="text"/>	Tehollisarvo; [mA]	<input type="text"/>	Huippuarvo; [A]	<input type="text"/>	Huomautus	<input type="text"/>
Lämpökuva	Kuva otettu	<input type="checkbox"/>		Huomautus	<input type="text"/>	(Lisää kuva työkortin dokumentteihin)				
	Ei ole otettu	<input type="checkbox"/>		Huomautus	<input type="text"/>					
Luukkukytin/kulunvalvonta	On tässä kohteessa	<input type="checkbox"/>	Toimii	<input type="checkbox"/>	Huomautus	<input type="text"/>				
	Ei ole tässä kohteessa	<input type="checkbox"/>	Ei toimi	<input type="checkbox"/>	Huomautus	<input type="text"/>				

Koodaaminen itsessään ei ole hankalaa, mutta vaatii tarkkuutta ja keskittymistä. NOVI:n koodaus perustuu riveihin ja sarakkeisiin ja kuuteen eri koodityyppiin. Koodityyppejä ovat: datetime, boolean, decimal, string, integer ja label. Datetime:lla voidaan merkata päiväys. Boolean:lla saadaan pohjaan ruksattava laatikko. Decimal:iin saadaan laatikko, johon voi laittaa numeroita. Integer:illä voidaan tehdä laatikko, johon voi laittaa kaavoja. String:illä saadaan laatikko, johon voi kirjoittaa tekstiä. Label:iin saadaan kirjoitettua pelkkää tekstiä tai jättämällä sen tyhjäksi saadaan mittauspohjaan tyhjä väli. Jokainen rivi on merkittävä koodiin, vaikka se jäisikin tyhjäksi. Sarakkeita on koodissa aina kuusi kappaletta rivin oman sarakkeen lisäksi, niihin ei ole pakko laittaa mitään, mutta niiden merkkäminen koodiin saattaa helpottaa koodin kirjoittamista. Mikäli sarakkeet kirjoitetaan koodiin, on ne kaikki vaihdettava label-tyyppiin, sillä oletuksena ne ovat boolean-tyypissä. Jos tyyppiä ei vaihda on koko mittauspohja täynnä ruksattavia laatikoita ilman käyttötarkoitusta. Kuvassa 22 on esimerkki kohta, miten koodausta tehdään NOVI:ssa.

Kuva 22 Kuvakaappaus mittauspohjan koodauksesta

✎ Laakerivirta	16	LABEL
✎ Moottori	116	STRING
✎ Mittauksen syy:	216	STRING
✎ Tehollisarvo; [mA]	316	DECIMAL
✎ Huippuarvo; [A]	416	DECIMAL
✎ Huomautus	516	STRING
✎	616	LABEL

12 Mittausohjeen tekeminen

Mittausohjeen (Liite 2) tekeminen koettiin järkeväksi asiaksi tehdä. Mittausohje sisältää kaikki mitattavat kohteet kunnossapitomittauspäiväkirjasta. Eli se sisältää vikavirran, silmukka impedanssin, oikosulkuvirran, laakerivirran, sekä lämpökuvauksen. Ohjeessa on myös ohjeet tarvittavien dokumenttien lisäämiseen, kuten lämpökuvan lisäämisen.

Mittausohjeen tekemisen suurin syy on, että mittaukset suoritettaisiin mahdollisimman samalla tavalla tekijästä riippumatta. Ohjeet ovat yleisesti pätevät lähes kaikkiin normaaleihin mittauskohteisiin. Poikkeustapauksia saattaa kuitenkin olla mittauspaikan mukaan, jolloin ohjeet eivät ole välttämättä ole juuri siihen kohteeseen käytettävissä.

13 Pohdinta

Sähkökunnossapito on tärkeä osa vesilaitoksen kunnossapitoa. Kunnossapidon laiminlyönti voi johtaa vakaviin seurauksiin laajalla alueella. Opinnäytetyön kehityskohteilla pystytään parantamaan olemassa olevia kunnossapitoprosesseja. Laakerivirtojen mittaaminen aiheuttaa säästöjä, sillä silloin ei ole tarvetta palkkaa ulkopuolista yritystä niitä tekemään. Laakerivirtojen mittaamiseen kyllä kuitenkin jää parantamisen mahdollisuus, mikäli sitä halutaan tarkemmaksi ja enemmän informaatiota antavaksi, mutta tällöin vaadittaisiin suurempaa rahallista investointia mittariin.

Suurimpia ongelmia opinnäytetyön aikana olivat luotettavien lähteiden saatavuus, sekä komponenttien toimitusajat. Laakerivirrat ovat melko vähän tutkittu aihe ja materiaaleja löytyy lähtökohtaisesti vähän. Toimitusajat taas koituivat ongelmaksi, sillä toimitusajat olivat pitkiä maailman laajuisen pandemian ja komponenttipulan takia. Alkuperäiset toimitusajat olivat viikkojen sijaan useampia kuukausia, joka pitkitti ja hankaloitti opinnäytetyön tekoa.

Koin itse opinnäytetyön parantavan tiedon keräämistä eri lähteistä, sekä jäsentelemään niistä oleellimmat asiat. Näiden tietojen pohjalta taas pystyi luomaan käytännön toteutusta, jonka koin ammattiosaamista parantavaksi.

Lähteet

- ABB. (15. 11 2000). *Tekninenopas nro 5*. Noudettu osoitteesta <https://library.e.abb.com/public/4afd9ccbf5eb991fc1256d280083a4d2/Tekninenopasno5.pdf>
- ABB. (n.d-b). *Bearing currents and how to beat them*. Noudettu osoitteesta <https://new.abb.com/motors-generators/media/bearing-currents-and-how-to-beat-them>
- ABB. (n.d-c). *How to deal with persistent bearing currents*. Noudettu osoitteesta <https://new.abb.com/motors-generators/iec-low-voltage-motors/articles/bearing-currents>
- ABB. (n.d-d). *Pehmökäynnistysopas*. Noudettu osoitteesta https://library.e.abb.com/public/d11f99611045fef8c125796e00473a8a/OPAS%20Pehmokaynnistys%20FI12_01.pdf
- Aegis. (2016). *Bearing Protection Handbook*. Noudettu osoitteesta <https://www.motiontek.fi/files/AEGIS%20Bearing%20Protection%20Handbook%20Ed3.4%20English%20Metric.pdf>
- Ahola, J. (21. 9 2011). *Taajuusmuuttajaohjattujen sähkömoottorikäyttöjen laakerivirrat ja niiden mittaaminen*. Noudettu osoitteesta <https://docplayer.fi/9534819-Taajuusmuuttajaohjattujen-sahkomoottorikayttojen-laakerivirrat-ja-niiden-mittaaminen-jero-ahola-28-9-2011.html>
- Emerson Bearing. (n.d). Noudettu osoitteesta <https://www.emersonbearing.com/shaft-grounding-devices/>
- Gissenberger, K. (2015). *Bearing News*. Noudettu osoitteesta <https://www.bearing-news.com/electrically-insulated-rolling-bearings/>
- Hulkkonen, J. (8. 10 2017). *Taajuusmuuttajan kapasitanssien vaikutus moottorin laakerivirtoihin*. Noudettu osoitteesta https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/144010/Kandidaatintyo_Hulkkonen_Jona.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Järvi, J. (2014). *Oikosulkumoottoreiden laakerivirrat*. Tampereen ammattikorkeakoulu.
Tampere: Theseus. Noudettu osoitteesta
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/77408/Jarvi_Joni.pdf?sequence=2
- Marttila, E.-A. (2017). *Laakerivirrat*. Noudettu osoitteesta
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/136203/Marttila_Eetu-Akseli.pdf;jsessionid=F39B5D19899C92D1A43AC503BD41448C?sequence=1
- NTN Corporation. (n.d). *Insulated bearings Megaohm series*. Noudettu osoitteesta
https://www.ntn-snr.com/sites/default/files/2017-03/en_insulated_bearings_megaohmtm_series.pdf
- Saksi, O. (n.d). *Laakerivirrat ja niiden ehkäisy*. Noudettu osoitteesta
<https://ideat.slo.fi/laakerivirrat-ja-niiden-ehkaisy/>
- Satakunnan ammattikorkeakoulu. (n.d.). *Lämpökuvaus*. Noudettu osoitteesta
<https://automaatio.samk.fi/testi-sivu/silmalle-nakymattomat-aallonpituudet/lampokuvaus/>
- Sesko Ry. (2021). SFS 6000-4-41:2021. *SFS 6000-4-41:2021, 4*. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- SFS-EN 13306:2017. (2017). *SFS-EN 13306:2017*. SFS Online.
- STEK. (n.d). *Vikavirtasuojaperiaate*. Noudettu osoitteesta <https://stek.fi/sahkoasennuksen-suojausperiaatteet/vikavirtasuoja/>
- Suomalainen, M. (2011). *Lämpökuvaus sähkökunnossapidossa*. Saimaan ammattikorkeakoulu. Noudettu osoitteesta
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/32467/Suomalainen_Mikko.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Sähköturvallisuuslaki 1135/2016. (ei pvm). Noudettu osoitteesta
<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161135?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=s%C3%A4hk%C3%B6%20turvallisuus#Pidm45237816723264>
- Tukes. (n.d-a). *Sähkölaitteiston haltija ja käytön johtaja*. Noudettu osoitteesta
Sähkölaitteiston haltija ja käytön johtaja:
<https://tukes.fi/sahko/sahkolaitteistot/sahkolaitteiston-haltija-ja-kaytonjohtaja#72e0557b>
- Tukes. (n.d-b). *Kiinteistöjen sähkökunnossapito ja määräaikaistarkastukset*. Noudettu osoitteesta

[https://tukes.fi/documents/5470659/6372867/Kiinteist%C3%B6jen+s%C3%A4hk%C3%B6kunnossapito+ja+m%C3%A4%C3%A4r%C3%A4aikaistarkastukset/84cfe787-79e3-402b-8f3c-](https://tukes.fi/documents/5470659/6372867/Kiinteist%C3%B6jen+s%C3%A4hk%C3%B6kunnossapito+ja+m%C3%A4%C3%A4r%C3%A4aikaistarkastukset/84cfe787-79e3-402b-8f3c-12d1965cb47e/Kiinteist%C3%B6jen+s%C3%A4hk%C3%B6kunnossapito+ja+m%C3%A4%C3%A4r%C3%A4aikaistarkastuks)

[12d1965cb47e/Kiinteist%C3%B6jen+s%C3%A4hk%C3%B6kunnossapito+ja+m%C3%A4%C3%A4r%C3%A4aikaistarkastuks](https://tukes.fi/documents/5470659/6372867/Kiinteist%C3%B6jen+s%C3%A4hk%C3%B6kunnossapito+ja+m%C3%A4%C3%A4r%C3%A4aikaistarkastuks)

Tukes. (n.d-c). *Sähkölaitteiston lakisääteiset määräaikaistarkastukset*. Noudettu osoitteesta
Sähkölaitteiston lakisääteiset määräaikaistarkastukset:

<https://tukes.fi/sahko/sahkolaitteistot/maaraaikaistarkastukset>

Tukes. (n.d-d). *Sähkölaitteiston haltija ja käytön johtaja*. Noudettu osoitteesta

Sähkölaitteiston haltija ja käytön johtaja:

<https://tukes.fi/sahko/sahkolaitteistot/sahkolaitteiston-haltija-ja-kaytonjohtaja#72e0557b>

Zener. (n.d-a). Noudettu osoitteesta <https://www.zener.fi/laakerit-ovat-sahkomoottorien-suurin-vikaantumissy/>

Zener. (n.d-b). *Sähkömoottorin mitat*. Noudettu osoitteesta

<https://www.zener.fi/sahkomoottorit/sahkomoottori-mitat/>

Liite 1: Mittauspäiväkirjan kuvakaappaus

HS-VESI

Sähkölaitteiden huolto- ja
kunnossapito ohjelma

JÄTEVESIPUMPPAAMOT

Katujaakkaappi Sähkökeskus rakennuksen
sisällä Päivämäärä: Tekijät:

LAITE JÄRJESTELMÄ

Vikavirtasuojien testaus

Ryhmä Toiminta-
aika (ms) Toimintavirta
(mA) Huomautus Ryhmä Toiminta-
aika (ms) Toimintavirta
(mA) Huomautus Ryhmä Toiminta-
aika (ms) Toimintavirta
(mA) Huomautus Oikosulkuvirta:
silmuikkalimpedanssiMittauspaikka L1 (KA)
[ohm] L2 (KA)
[ohm] L3 (KA)
[ohm] Huomautus Mittauspaikka L1 (KA)
[ohm] L2 (KA)
[ohm] L3 (KA)
[ohm] Huomautus Mittauspaikka L1 (KA)
[ohm] L2 (KA)
[ohm] L3 (KA)
[ohm] Huomautus

Luukkukäytin/sulunvalvonta

On tässä
kohteessa Toimii Huomautus Ei ole tässä
kohteessa Ei toimi Huomautus

Dokumentit

Tarkista, ovatko dokumentit
paikallaanDokumentit
paikallaan Huomautus Dokumentteja
ei löydy Huomautus

Varuslakkeet

Kaikki
kunnossa Huomautus Puutteita Huomautus

Silmämääräinen tarkistus

Kaikki
kunnossa Huomautus Puutteita Huomautus

Valaistus ja lämmitys

Kaikki
kunnossa Huomautus Puutteita Huomautus

Lukot ja lukkosuojat

Kaikki
kunnossa Huomautus Puutteita Huomautus

Sisteys

Kaikki
kunnossa Huomautus Puutteita Huomautus

Läpiviennit

Kaikki
kunnossa Huomautus Puutteita Huomautus

Pinnanohjauslaitteet/toiminta

Kaikki
kunnossa Huomautus Puutteita Huomautus

Pääsulake

Kaikki
kunnossa Huomautus
(esim. koko) Puutteita Huomautus

Ylijännitesuojat

Kaikki
kunnossa Huomautus Puutteita Huomautus Lattavesivahdi
(mökkipumppaamot)Kaikki
kunnossa Huomautus Puutteita Huomautus

Maadoitukset

Kaikki
kunnossa Huomautus Puutteita Huomautus

Käsi-O-Automaatti -iyytimet

Kaikki
kunnossa Huomautus Puutteita Huomautus


Varmennustarkastus tehty

Kaikki
kunnossa Päivämäärä Puutteita Huomautus

Muita huomioita:

Liite 2: Sähkökunnossapitomittausohjeet

Sähkökunnossapitomittaus ohjeet 2022
HS-Veden sähkökunnossapidon ohjeet mittauspäiväkirjaa varten




1 Sisällys


2 Oikosulkuvirta; Silmukka impedanssi.....	3
2.1 Mittari.....	3
2.2 Mittapöytä.....	4
2.3 Valmistelut.....	4
2.4 Oikosulkuvirran mittaaminen.....	5
2.5 Arvojen merkitseminen mittauspäiväkirjaan.....	6
3 Vikavirta.....	6
3.1 Mittari.....	7
3.2 Mittapöytä.....	7
3.3 Valmistelut.....	8
3.4 Vikavirran mittaaminen.....	8
3.4.1 Toiminta-aajan mittaaminen.....	8
3.4.2 Toiminta-virran mittaaminen.....	8
3.5 Arvojen merkitseminen mittauspäiväkirjaan.....	8
4 Laakerivirtat.....	9
4.1 Mittari.....	9
4.2 Mittapöytä.....	10
4.3 Valmistelut.....	10
4.4 Laakerivirran mittaaminen moottorista.....	13
4.5 Arvojen merkitseminen mittauspäiväkirjaan.....	14
5 Lämpökuv.....	15
5.1 Lämpökamera.....	15
5.2 Valmistelut.....	15
5.3 Kuvan ottaminen.....	15
5.4 Kuvan laittaminen mittauspäiväkirjaan.....	16

2 Oikosulkuvirta; Silmukka impedanssi


2.1 Mittari
Mittarin toimii Eijägg 1654B asennustesteri




2.2 Mittapöytä
Mittapöytä kiirvessä Eijägg pistokemittauspöytä, joka kiinnitetään toisesta päästä mittarin kumella värikoodatulla baranäyttöleimällä.




2.4 Oikosulkuvirran mittaaminen
Valitaan mittarina oikea symboli.



Painetaan TEST-painiketta



Asennustesteri antaa mittausarvon.



2.5 Arvojen merkitseminen mittauspäiväkirjaan
Arvot merkitään mittauspäiväkirjaan sille varustulle kohdalle. Kirjaukset tehdään kirjoittamalla. Merkitäessä käytetään mittauspöytä, mittausarvo, sekä siellä on myös mahdollisille huomautuksille.

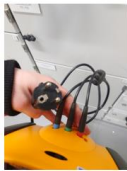
Mittauspaikka	Mittausaika	Mittausarvo	Mittausarvo	Mittausarvo	Mittausarvo	Mittausarvo	Mittausarvo

3 Vikavirta

3.1 Mittari
Mittarina toimii Eijägen 16548 asennusteesti.



3.2 Mittaus
Mittauskäämät käytetään Eijägen pistokemittariksi, joka kiinnitetään toisesta päästä mittarin kolmella värikoodatulle banaaliosimellä.



3.3 Valmistelu
Asennetaan pistokemittari Eijägen 16548 hen. Jonka jälkeen pistokemittariäki laitetaan pistokkeeseen, joka on vikavirtasuojajärjestelmän takana.



3.4 Vikavirran mittaaminen
Vikavirran mittauksessa suoritetaan kaksi eri mittausa. Nisissä mitataan vikavirtasuojan toiminta-alku, sekä toimintavirta. Vikavirtasuojan toiminta-ajassa mitataan aika, mikä menee vikavirtasuojan laukeamiseen.

3.4.1 Toiminta-ajan mittaaminen
Valitaan oikea symboli.



Painetaan TEST-painiketta



Asennusteesti antaa mittausarvon



3.4.2 Toimintavirran mittaaminen
Valitaan oikea symboli



Painetaan TEST-painiketta



Asennusteesti antaa mittausarvon



3.5 Arvojen merkitseminen mittauspäiväkirjaan
Vikavirran molemmille mittauksille löytyy omat kohdat mittauspäiväkirjan vikavirta kohdasta. Arvot kirjataan kirjoittamalla niille vastaukset noudatella. Huomautus-kenttään voi kirjoittaa huomautuksia tai muita kommentteja mittaukseen liittyen.

Mittausnumero	Mittausaika	Mittausarvo	Mittausaika	Mittausarvo	Mittausaika	Mittausarvo

4 Laakerivirrät

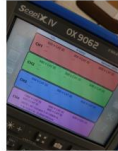
4.1 Mittari
Laakerivirrat mitataan METRIX OX 9062 manuaalisella oskilloskoopilla. Oskilloskoopin kuuluu oita muuttava METRIX:n lukussa kaikkine lisäosineen.



4.2 Mittapää
Mittapäästä käytetään H00072 virtasilmukkaa.



4.3 Valmistelut
H00072 kiinnitetään oskilloskoopin CH4 kanavaan, jolloin oskilloskooppi tunnistaa mittapään automaattisesti ja asettaa sen oikeat arvot oskilloskooppiin.



Ennen laakerivirtojen mittausten aloitusta on suositeltavaa muuttaa mittapään skaalausta oskilloskoopissa pienemmäksi. Skaalausta voidaan pienentää painamalla CH4-kuohaa näytöltä, silloin kun mittapää on kytketty.



Kun siltä on painettu aukkaa näytön alaläuhvalikko, jossa voidaan muuttaa anturikerrointa, laistan leveyttä yms.



Anturikerrointa painaessa tulee valikko, josta voidaan muuttaa kerrointa.



Laittamalla esimerkiksi 1e+0 saadaan anturi kerroin tpoitetta 1.000, joka soveltuu paremmin laakerivirtojen tarkasteluun.



Anturikerrointa oltessa 1.000 saadaan oskilloskoopin mittausalue seuravään, joka soveltuu parhaiten laakerivirtojen mittaamiseen kyseisellä oskilloskoopilla.

4.4 Laakerivirtojen mittaaminen moottorista

Virtamittapää kiinnitetään sähkömoottorin akselin ympärille siten, että se on mahdollisimman lähellä moottorin yläpää akselia. Virtausmittaukseen voi myös liittää akselin ympärille kaksi kerroin, kunhan akseli maahan on eristetty pyörimään turvallisesti virtausmittauksen keskeksi.



Mittaus suoritetaan sähkömoottorin on oltava täydellä kuormalla, käyttötilanteen kanssa, jotta mahdollisimman realistiset tulokset ovat saatavilla.



Laakerivirrat näkyvät skillaanä pölkkeinä oskilloskoopin käyrässä.



Oskilloskoopin antamat arvot voidaan saada näkyviin painaessa käyriä. Tästä voidaan ottaa sitten mahdollisesti tarvittavat tiedot mittaussivukirjaan.

4.5 Arvojen merkitseminen mittaussivukirjaan

Mittaussivukirjassa on kohdat heijalle eri moottoreille, josta sitten käytetään niin monta kohtaa, kuin on tarvetta. Merkitä tehään yksinkertaisesti kirjittamalla ne tarkoitettuihin kohtiin. Tehdissä (T) ja Huppuvo (H) on saatavilla oskilloskoopin käyrän mittaustuloksista. Huomautus kohtaan voi kirjoittaa mahdollista lisätietoja mittauksesta.

Moottori	T	H
Moottori 1					
Moottori 2					
Moottori 3					
Moottori 4					
Moottori 5					

5 Lämpökamera

5.1 Lämpökamera
Lämpökuvaukseen käytetään FLIR TG267 lämpökameraa. Lämpökameran kuuluisi olla siihen tarkoitettu kamerakäsi.

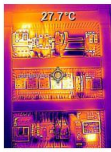


5.2 Valmistelut
Ennen kuvan ottoa on varmistettava kuvattavan kohteen tilanne. Mikäli siltä on kuvauksen estäviä esteitä edessä, tulee ne poistaa ennen kuvaamista. Esimerkiksi keskuksen luukut ja ovet. Laitteen on oltava kuormalla ennen lämpökuvan ottamista.

5.3 Kuvan ottaminen
Käynnistä kamera painamalla power-nappia



Keskitä kamera kuvaukseen kohteeseen



Paina kamerasi liipainimesta ottaaksesi kuvan



Säirä kuva kamerasta tietokoneeseen USB-C kaapilla.

5.4 Kuvan laittaminen mittauspäiväkirjaan
Kuvaa ei saa suoraan laitetua mittauspäiväkirjaan, joten se lähetetään mittauksen työkortin dokumentteihin.

Lämpötila: Esä lämpö: Huoneilma: **Valitse kohtaan**
 0-lämpö: Huoneilma:

Mene työkortin dokumentteihin

Tönneryökö:

Tallenna **Poista** **Paruuta**

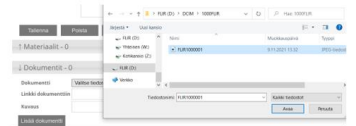
Materiaalit - 0

1 Dokumentit - 0

Paina **Valitse tiedosto kohtaan**

1 Dokumentit - 0
 Dokumentit: **Valitse tiedosto**
 Liikää dokumentteja:
 Kuvaa:
Lisää dokumentti

Valitse tiedote kuva tiedotista tupla klikkaamalla tai klikkaamalla kerron ja painamalla AVAA nappia



Kuvaa kohtaan voi kirjoittaa esim. Pumppamon nimen, lämpökuvaa ja pvm.

1 Dokumentit - 0

Dokumentit: **Valitse tiedosto** **Valitse**

Liikää dokumentteja:

Kuvaa: **Kuvaa lämpökuvaa 9.11.2023**

Lisää dokumentti

1 Dokumentit - 0

Dokumentit: **Valitse tiedosto** **Valitse**

Liikää dokumentteja:

Kuvaa: **Kuvaa lämpökuvaa 9.11.2023**

Lisää dokumentti

Jä nyt kuvan on työkortin dokumentteissa