

**OIKOSULKUMOOTTORIN KUNNOSSAPITO JA
KUNNONVALVONTA**

Ylimartimo Miika

Opinnäytetyö
Tekniikan ala
Sähkövoimatekniikka
Insinööri (AMK)

2016

Tekniikan ja liikenteen osaamisala
Tekniikan koulutusala
Sähkötekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Miika Ylimartimo	Vuosi	2016
Ohjaaja	Ins. (AMK) Aila Petäjäjärvi		
Toimeksiantaja	Lapin ammattikorkeakoulu		
Työn nimi	Oikosulkumoottorin kunnossapito ja kunnonvalvonta.		
Sivu- ja liitesivumäärä	68		

Opinnäytetyön aiheena oli oikosulkumoottorin kunnossapito ja kunnonvalvonta. Tavoitteena oli rakentaa suora moottorilähtö, joka sisältää vikaantumismekanismien. Sähkömoottoria voitiin näin ollen tarkkailla eri kunnonvalvontamenetelmillä täydessä toimintakunnossa sekä viallisena. Moottorilähtö rakennettiin Lapin ammattikorkeakoululle ja sen on tarkoitus toimia opetusvälineenä sähkövoimatekniikan laboraatioissa.

Opinnäytetyössä käsiteltiin oikosulkumoottoria ja sen toimintaan liittyvää teoriaa sekä oikosulkumoottorin kunnossapitoa ja kunnonvalvontaa. Kunnossapidossa esiteltiin eri kunnossapitostrategiat sekä niiden valintaan liittyvät tekijät. Kunnonvalvonnassa puolestaan perehdyttiin oikosulkumoottorin valvonnassa käytettyihin välineisiin ja menetelmiin.

Opinnäytetyössä kuvattiin myös suoran moottorilähdön rakennusta ja siihen liittyviä komponentteja ja laitteita. Moottorilähtöön rakennettiin vikamekanismi, jonka laukaisu aiheutti moottorille käynninaikaisia ongelmia, joita voitiin tutkia lämpökuvauksella sekä sähkönlaatumittauksella. Tämän lisäksi tutustuttiin etäkäytettävään värähtelymittaukseen ja laadittiin käyttöohjeet värähtelymittauksissa käytetyille sovelluksille tulosten analysointia varten. Käyttöohjeet tulevat toimimaan opetusvälineenä tulevilla kursseilla.

Valituilla kunnonvalvontamenetelmillä pystyttiin havaitsemaan viallinen oikosulkumoottori ja varmistamaan, että mittaustulokset olivat teorian mukaiset. Värähtelymittauksen käyttöohjeet ovat selkeät, joten ne mahdollistavat etäkäytön kokemattomalle käyttäjälle.

Industry and Natural Resources
Electrical Engineering
B. Eng.

Author	Miika Ylimartimo	Year	2016
Supervisor	Aila Petäjäjärvi B.Eng.		
Commissioned by	Lapland University of Applied Sciences		
Subject of thesis	Maintenance and Condition Monitoring of Induction Motor		
Number of pages	68		

The subject of the thesis was the maintenance and condition monitoring of an induction motor. The objective was to build a direct motor output which included a failure mechanism. The induction motor could thus be observed via different condition monitoring methods while fully operational or faulty. The motor output was built for Lapland University of Applied Sciences and it is intended to serve as a teaching aid for electrical power engineering laboratories.

The thesis deals with the basics of the induction motor, the theory of its operation as well as maintenance and condition monitoring of the induction motor. The maintenance focuses on different maintenance strategies and associated factors in their selection. Condition monitoring focuses on the methods and instruments used in supervising the induction motor.

The thesis also describes the building of the direct motor output and its components and equipment. A failure mechanism was built on motor output which, when triggered, would cause problems while the motor is running. In addition, a remote controlled vibration monitoring unit was familiarized with, and the instruction manual was made for future courses for teaching aid.

With the selected condition monitoring methods, it was possible to detect a defective induction motor. The measurements were also in line with the theory. The instruction manual was clear and allowed an easy remote access for an inexperienced user.

Key words

induction motor, maintenance, condition monitoring

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	OIKOSULKUMOOTTORI	9
2.1	Oikosulkumoottorin teoriaa	9
2.2	Rakenne	12
2.3	Staattori ja staattorikäänitys	12
2.4	Roottori ja roottorikäänitys	13
3	KUNNOSSAPITO	14
3.1	Kunnossapitolajit	14
3.2	Kunnossapitostrategian valinta	15
4	KUNNONVALVONTA	17
4.1	Kunnonvalvonnan suunnittelu	17
4.2	Kunnonvalvonnan toteutus	17
5	KUNNONVALVONTAMENETELMÄT	18
5.1	Staattorivirran signaalianalyysi	18
5.2	Jännite- ja virtaepäsymmetrian mittaus	20
5.3	Magneettivuomittaus	21
5.4	Lämpökuvaus	22
5.5	Muita kunnonvalvonnan menetelmiä	22
6	VÄRÄHTELYMITTAUS	24
6.1	Värähtelymittauksen teoriaa	24
6.2	Värähtelymittausten tulkinta	25
6.3	Värähtelymittauksen anturit	27
6.4	Siirtymäanturit	27
6.5	Nopeusanturit	28
6.6	Kiihtyvyyssanturit	28
6.7	Mittalaitteet ja -järjestelmät	29
7	VALVONTAMENETELMÄT	30
7.1	Tunnuslukuvalvonta	30
7.2	Kokonaistasovalvonta	30
7.3	Spektrianalyysi ja -valvonta	30

7.4	Verhokäyrä- ja PeakVue-valvonta	31
7.5	Iskusysäysmenetelmä.....	31
7.6	Muut menetelmät	31
8	SÄHKÖMOOTTORIEN VIAT JA NIIDEN TUNNISTAMINEN	32
8.1	Moottorin jumitilanteet.....	32
8.2	Staattorikäämityksen vikaantuminen	33
8.3	Virransyötön aiheuttamat ongelmat	34
8.4	Roottorikäämityksen viat.....	35
8.5	Vierintälaakerien viat.....	36
8.6	Liukulaakerien viat	37
8.7	Ilmavälin epäkeskisyys	37
9	MOOTTORILÄHTÖ	39
9.1	Sähkömoottori.....	40
9.2	Kytkinvaroke	41
9.3	Kontaktori ja lämpörele	41
9.4	Johdonsuojakatkaisija.....	42
9.5	Releet	43
9.6	Logiikka.....	44
9.7	Vikaantumismekanismi	45
9.8	Moottorilähdön rakennus ja toiminta	45
10	LÄMPÖKUVAUS	47
11	SÄHKÖNLAATUMITTAUS	52
12	VÄRÄHTELYMITTAUKSET JA NIIDEN TULKINTA	56
12.1	Mittauslaitteisto.....	56
12.2	Mittaukset	57
13	POHDINTA	65
	LÄHTEET	66
	LIITTEET	68

ALKUSANAT

Haluan kiittää Jouko Alanivaa sekä Aila Petäjäjärveä saamastani tuesta ja neuvoista opinnäytetyön aikana.

Kemissä 1.11.2016

Miika Ylimartimo

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

SPM	Shock Pulse Method
PeakVue	Purskemaisen signaalin analysointimenetelmä
Fourier- muunnos	Signaalinkäsittelyssä käytettävä intergraalimuunnos
Kepstri	logaritmisen tehospektrin Fourier- muunnoksen neliö
dBm	Decibel maximum value, iskun maksimiarvo
dBc	Decibel carpet value, iskun mattoarvo
HDc	High Definition carpet
HDm	High Definition maximum
BPFO	Ball Pass Frequency Outer race
BPFI	Ball Pass Frequency Inner race
BPFIM	Ball Pass Frequency Modulation, Inner race
PQA	Power Quality Analyzer

1 JOHDANTO

Oikosulkumoottoreilla on suuri asema nykypäivän teollisuudessa. Koska oikosulkumoottoreita käytetään paljon, ovat niiden kunnossapito ja kunnonvalvonta kehittyneet lähivuosina. Tämän vuoksi Lapin ammattikorkeakoululle rakennetaan moottorilähtö, jonka avulla voidaan havainnollistaa oikosulkumoottorin eri kunnonvalvontamenetelmiä. Moottorilähtö tulee toimimaan opetusvälineenä sähkövoimalaboratorioiden kursseilla.

Opinnäytetyön tavoitteena on rakentaa suora moottorilähtö, johon lisätään laukaistava vikamekanismi. Vikamekanismin avulla moottoria voidaan tutkia käyttäen lämpökuvasta sekä sähkönlaatumittauksia. Tavoitteena on myös tutustua värähtelymittauksiin ja laatia käyttöohjeet etäkäytettävälle värähtelymittalaitteistolle.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa käydään läpi oikosulkumoottorin rakennetta sekä toimintaperiaatetta. Tämän lisäksi tutustutaan eri kunnossapitostrategioihin ja niiden valintoihin, kuin myös kunnonvalvontaan ja siinä käytettäviin menetelmiin sekä välineisiin. Käytännön osuudessa tutustutaan suoran moottorilähdön komponentteihin ja niiden valintaan sekä käydään läpi moottorilähdön rakennusta ja vikamekanismia. Tämän jälkeen siirrytään lämpökuvaukseen sekä sähkönlaatumittauksiin ja niiden tulosten arviointiin. Lopuksi tutustutaan värähtelymittalaitteistoon sekä laitteiston antamiin mittaustuloksiin ja niiden analysointiin.

2 OIKOSULKUMOOTTORI

Oikosulkumoottori on sähkömoottori, jonka roottori pyörii eri nopeudella kuin staattorin magneettikenttä. Oikosulkumoottori on saanut nimityksensä oikosuljetusta staattorikäädämyksestä. Oikosulkumoottori on yksinkertaisen rakenteensa ansiosta erittäin suosittu moottorityyppi teollisuudessa. (Korpinen 1998, 7.) Oikosulkumoottoreita käytetään teollisuudessa muun muassa kuljettimissa, tuulettimissa, koneissa, nostureissa sekä monessa muussa yhteydessä.

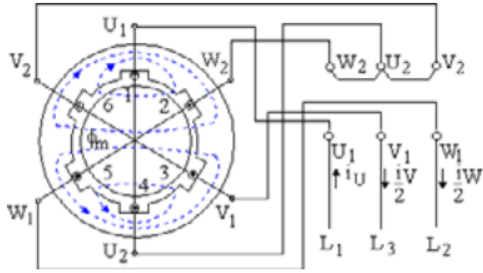
Teollisuus kulutti noin 47 % kaikesta Suomessa käytetystä sähköstä vuonna 2015. Tästä, 38,9 terawattitunnista, noin 70 % päättyi erilaisiin sähkömoottorikäyttöihin. (Energieollisuus 2015.)

Oikosulkumoottorien suosion vuoksi suurin osa kunnonvalvonnan mittajista joutuu työskentelemään sähkömoottorien kanssa. Kunnonvalvonnan ensimmäinen tavoite onkin erottaa tavalliseen käyttöön liittyvät ilmiöt erilaisista vioista ja vanhenemisista johtuvista ilmiöistä. (Kokko 2009, 369.)

Kunnonvalvojan täytyy tunnistaa erilaiset vikatilanteet ja arvioida vikatilanteiden vakavuus laitteen kestävyuden kannalta. Käytössä on monia eri vikatilanteisiin soveltuvia mittaus- ja valvontamenetelmiä tai muita jatkotoimenpiteitä vikatyypin tarkempaan määrittämiseen. (Kokko 2009, 369.)

2.1 Oikosulkumoottorin teoriaa

Kolmivaiheisessa oikosulkumoottorissa toiminta perustuu pyörivään magneettikenttään, joka saavutetaan symmetrisellä kolmivaihekkäädämyksellä (Kuvio 1) ja siinä vaikuttavalla symmetrisellä kolmivaiheisella vaihtovirralla.



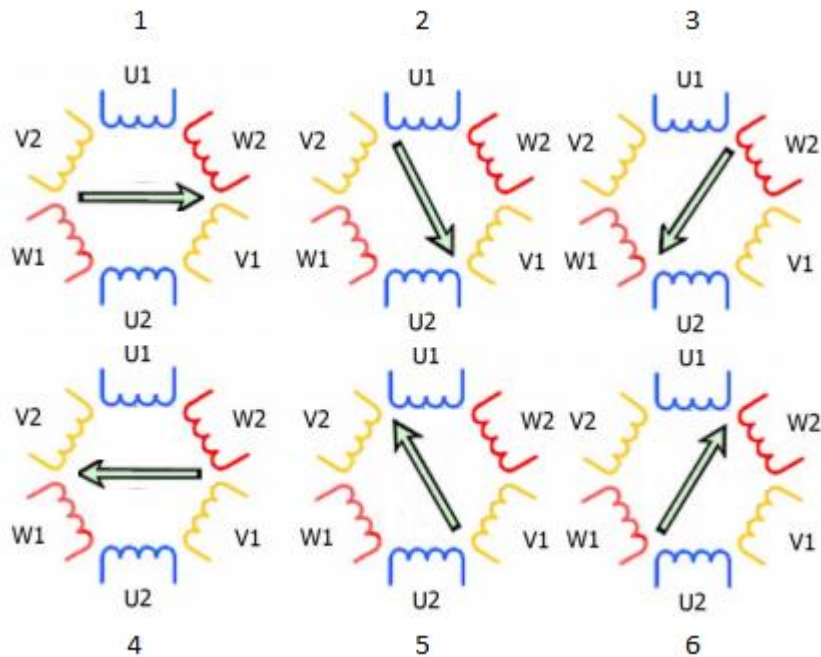
Kuvio 1. Kolmivaiheinen käämitys (Korpinen 1998, 5).

Kolmivaiheinen urakäämitys sijaitsee oikosulkumoottorin staattorissa. Kun käämitystä syötetään kolmivaiheisella vaihtovirralla (Kuvio 2), saa se aikaan pyörivän magneettikentän. Symmetrisessä kolmivaihevirrassa jokaisen vaiheen välinen ero on 120° , jolloin jokaisen vaiheen virran huippuarvo on eri ajankohtana ja saa näin ollen koneen sisällä olevan kentän liikkeeseen. (Korpinen 1998, 5.)



Kuvio 2. Kolmivaihejännite (Korpinen 1998, 5).

Magneettikentän kenttäviivat leikkaavat pyöriessään roottorikäämityksen sauvoja, jolloin roottoriin indusoituu virta. Kun moottorin vääntömomentti on suurempi kuin roottoria jarruttavan kuorman vääntömomentti, aloittaa moottori pyörimisen. Roottori pyörii aina samaan suuntaan ja hitaammin kuin magneettikenttä. Roottorin nopeuden kasvaessa pienenee roottorisauvojen ja kentän välinen nopeusero, mikä johtaa roottorijännitteen ja -virran alenemiseen sekä taajuuden pienenemiseen. Alla olevasta kuvasarjasta (Kuvio 3) voidaan havainnoida, miten kenttä pyörii, kun eri ajanhetkille osuu vaiheiden U, V sekä W virran huippuarvo. (Korpinen 1998, 6, 9.)



Kuvio 3. Pyörivä magneettikenttä eri ajanhetkillä (Salenius 2012, 5).

Oikosulkumoottorin pyörimisnopeus riippuu syöttävän verkon taajuudesta ja moottorin napapariluvusta. Teoreettinen tahtinopeus n_s voidaan laskea kaavasta (Kaava 1)

$$n_s = 60 * \frac{f}{p} \quad (1)$$

missä

n_s	on	teoreettinen tahtinopeus
60	on	sekunteja minuutissa
f	on	taajuus
p	on	napapariluku

Koska roottori pyörii staattorin magneettikenttää hitaammin, on todellinen pyörimisnopeus eri kuin teoreettinen tahtinopeus. Tämä ilmaistaan yleensä jättämänä. Jättämä s voidaan laskea kaavasta (Kaava 2)

$$s = \frac{(n_s - n)}{n_s} * 100\% \quad (2)$$

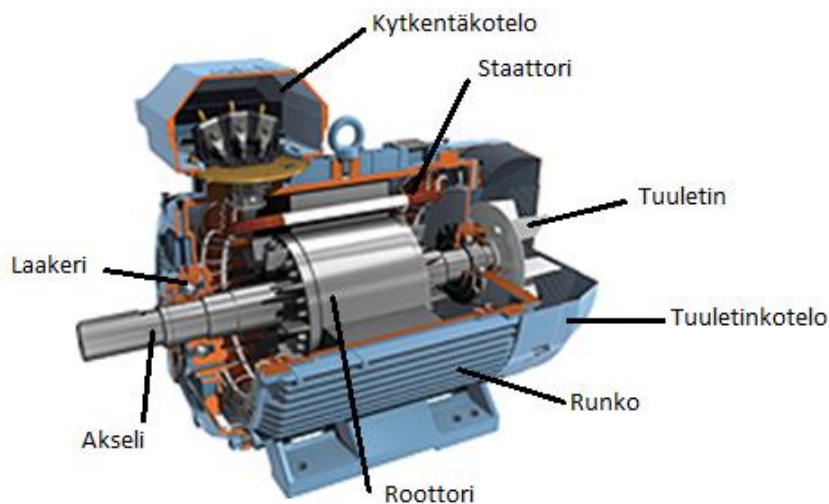
missä

s	on	jättämä
n_s	on	teoreettinen tahtinopeus
n	on	pyörimisnopeus

Pienten ja keskisuurten moottorien jättämä on yleensä luokkaa 5- 15 %, riippuen kuormituksista ja suuremmilla moottoreilla se on noin 0,8- 2 %. (Korpinen 1998, 10.)

2.2 Rakenne

Kaikista normaalirakenteisista oikosulkumoottoreista voidaan erottaa seuraavat perusosat (Kuva 1): roottori akseleineen, staattori, laakerikilvet sekä laakerit. Roottori on laakereiden varassa staattoriaukossa, ja roottorin ja staattorin väliin jää ilmarako, jotta roottori voi pyöriä vapaasti. Laakerit on kiinnitetty laakerikilpiin, jotka kannattavat roottoria. Laakerit voivat olla joko rulla-, kuula- tai liukulaakereita. Laakerikilvet on kiinnitetty staattoriin, joka muodostaa koneen rungon. Roottoriin sekä staattoriin on sijoitettu käämitykset. Yksinkertaisen rakenteensa ansiosta käytännössä ainoat kuluvat osat ovat oikosulkumoottorin laakerit. (Korpinen 1998, 1, 9.)

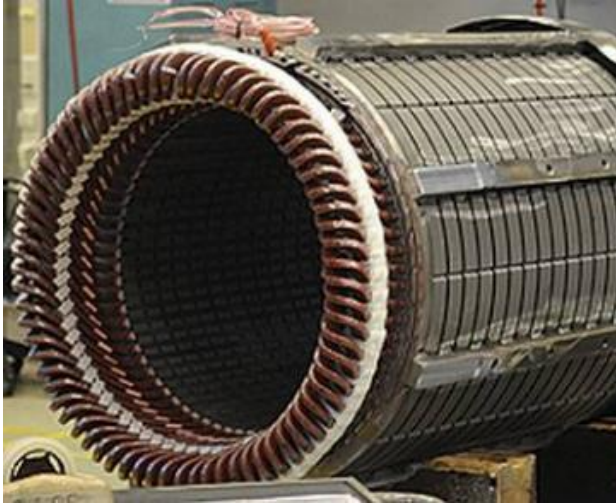


Kuva 1. Oikosulkumoottorin rakenne (Kortelainen, A. 2009).

2.3 Staattori ja staattorikäänitys

Staattori valmistetaan yleensä eristetyistä teräslamellilevyistä. Levyt niputetaan ja sijoitetaan staattorirunkoon. Käämitys staattorille tehdään kuparilangasta, josta kierretään useita johdinkierroksia vyyhdiksi. Vyyhdet sijoitetaan staattorin uriin.

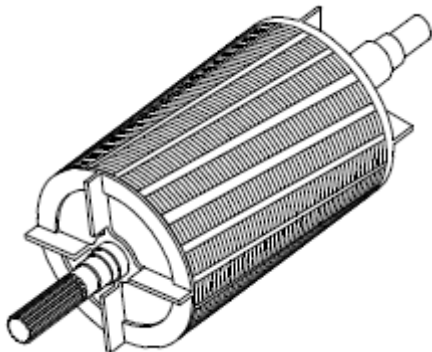
Vyyhtien päät kytketään vaihejohtimille symmetrisesti ja vaihejohtimet vietään kytKentäkoteloon. Vyyhdin päät sidotaan yhteen ja koko paketti liimataan tukevasti yhteen, ettei käämitys pääse liikkumaan kuvan (Kuva 2.) mukaisesti. (Salenius 2012, 8.)



Kuva 2. Staattori (Raunio, H 2012.).

2.4 Roottori ja roottorikäänitys

Roottorin runko on tehty moottorin akselin ympärille. Roottori rakennetaan kasatuista teräslamellilevyistä. Oikosulkumoottorin roottorin käämitys on häkkikäänitys. Häkkikäänityksessä roottorin uriin on sijoitettu roottorisauvat ja sauvat on oikosuljettu kummastakin päästä oikosulkurenkailla (Kuva 3). Roottorisauvat tehdään kuparisauvoista. (Salenius 2012, 8.)

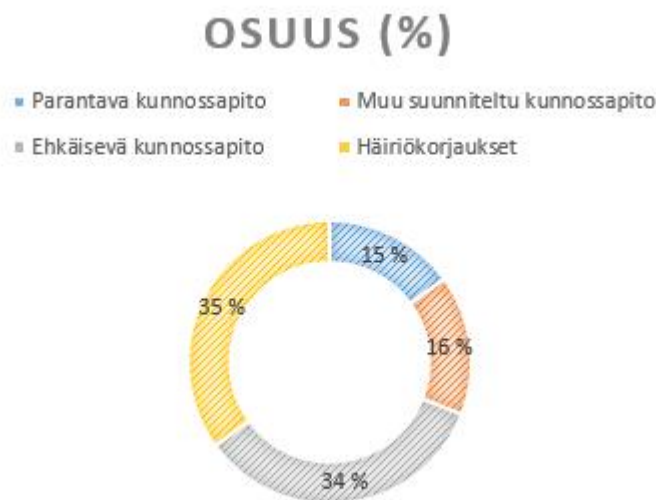


Kuva 3. Roottori (The Department of Energy Fundamentals Handbook 2007.).

3 KUNNOSSAPITO

Kunnossapito on hyvin laaja käsite. Standardissa PSK 6201 se määritellään seuraavasti: ”Kunnossapito on kaikkien niiden teknisten, hallinnollisten ja johtamiseen liittyvien toimenpiteiden kokonaisuus, joiden tarkoituksena on säilyttää kohde tilassa tai palauttaa se tilaan, jossa se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon sen koko elinjakson aikana.” (Mikkonen 2009, 26.)

Kunnossapitolajit voidaan jakaa eri lajeihin tai osa- alueisiin. Riippuen lähteestä, jaetaan lajit 2- 4 eri ryhmään. PSK jakaa nämä kahteen eri lajiin, suunniteltuun kunnossapitoon ja häiriökorjauksiin. Suunniteltu kunnossapito voidaan jakaa parantavaan kunnossapitoon, ehkäisevään kunnossapitoon sekä kunnostamiseen. Kunnossapitolajien kustannusten jakautumisesta Suomen teollisuudessa vuonna 2007 oli seuraava (Kuvio 4). (Mikkonen 2009, 41.)



Kuvio 4. Kustannusten jakautuminen kunnossapitolajeittain (Mikkonen 2009. 41).

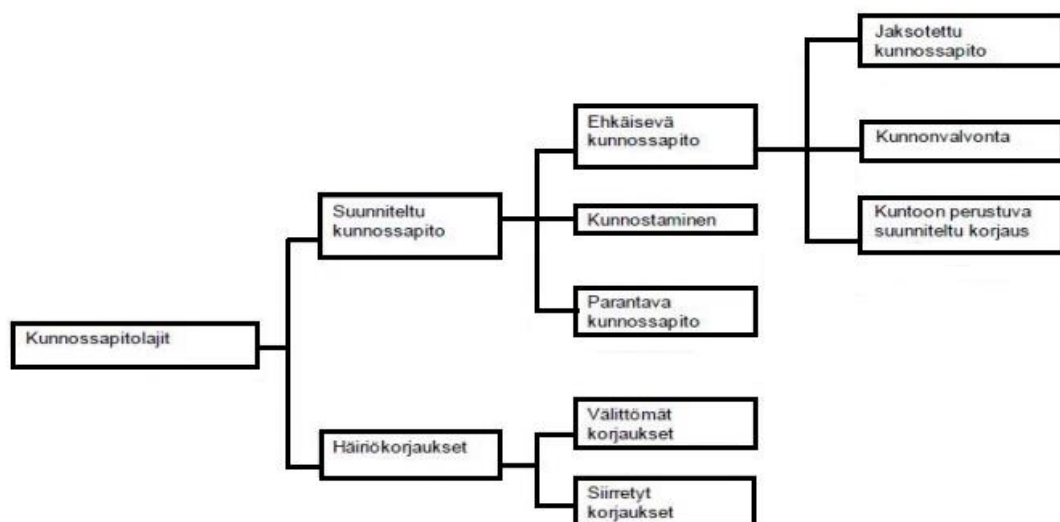
3.1 Kunnossapitolajit

Parantavalla kunnossapidolla tarkoitetaan kunnossapitoa, jossa kohteeseen vaihdetaan uusia osia vaikuttamatta laitteen suorituskykyyn, suunnitellaan ja korjataan laitetta parantamalla sen luotettavuutta vaikuttamatta sen suorituskykyyn tai modernisoidaan laitetta (Mikkonen 2009, 41, 97).

Ehkäisevällä kunnossapidolla tarkoitetaan kunnossapitoa, jota suoritetaan ennen laitteen vikaantumista ja näin ollen ehkäistään se. Ehkäisevään kunnossapitoon kuuluvat määräaikaiset toimenpiteet, kunnonvalvonta sekä kuntoon perustuva suunniteltu korjaus. (Mikkonen 2009, 41.)

Kunnostamisella tarkoitetaan kulumisen tai vaurioitumisen myötä käytöstä pois otetun laitteen käyttökuntoon palauttamista (Mikkonen 2009, 97).

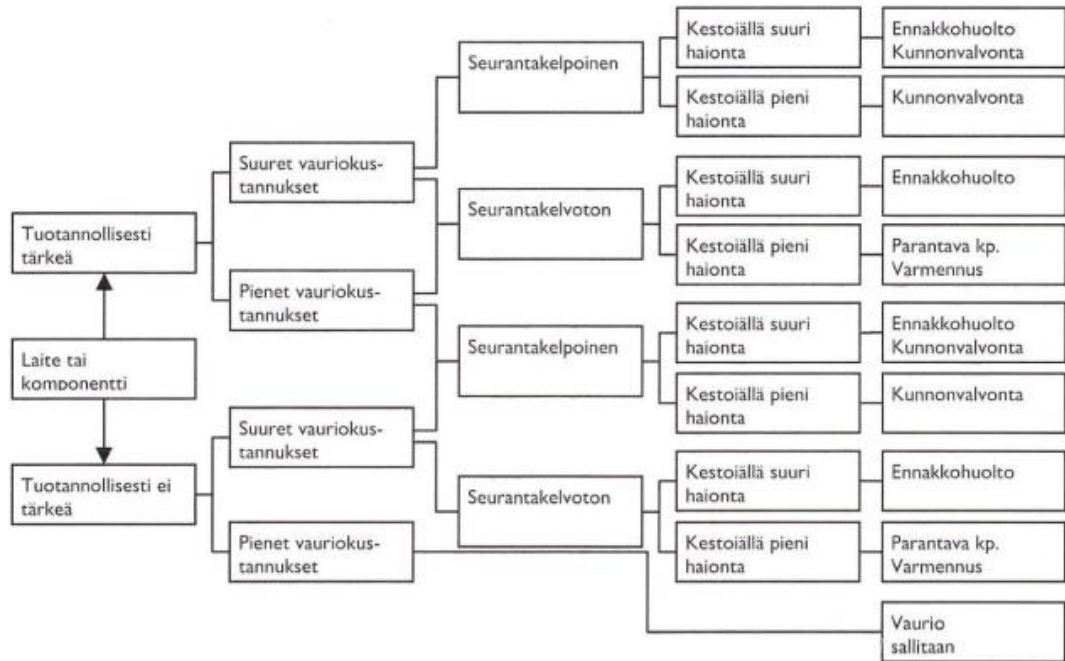
Häiriökorjauksilla tarkoitetaan kaikkia suunnittelemattomia korjauksia vaurioiden ja vikojen takia. Nämä voidaan jakaa siirrettyihin ja välittömiin korjauksiin riippuen vian vakavuudesta (Kuvio 5). (Mikkonen 2009, 41, 96–97.) Muu suunniteltu kunnossapito tarkoittaa esimerkiksi laitteen kunnostamista varaosiksi.



Kuvio 5. Kunnossapitolajit (Mikkonen 2009. 123.)

3.2 Kunnossapitostrategian valinta

Kunnossapitostrategialla tarkoitetaan sitä, millainen kunnossapidon taso ja toimintatapa kyseiselle laitteelle suunnitellaan. Kunnossapitostrategiaan vaikuttavat taloudelliset, tuotannolliset sekä tekniset näkökulmat. Näiden lisäksi turvallisuus- sekä ympäristöasiat on syytä ottaa huomioon. Kunnossapitostrategian valintaan on valmistettu seuraava kaavio (Kuvio 6). (Mikkonen 2009, 123.)



Kuvio 6. Kunnossapitostrategian valintakaavio. (Mikkonen, 2009. 123.)

4 KUNNONVALVONTA

Kunnonvalvonnalla on suuri merkitys laitteen käyttövarmuuteen ja toimivuuden varmistamisessa. Tämän lisäksi se parantaa tuotantolaitoksen kannattavuutta. Kannattavuus ja kehittynyt tekniikka ovat mahdollistaneet sen, että kunnonvalvonta on yleistynyt teollisuudessa.

Kunnonvalvonta vaatii, että koneiden ja laitteiden kuntoa valvotaan useilla eri tekniikoilla, kuten värähtelymittauksilla, visuaalisilla menetelmillä tai sähköteknisillä kunnonvalvontamenetelmillä. Koneen vikaantuvat komponentit ja todennäköisimmät vikaantumismekanismit on hyvä tietää ennen kunnonvalvonnan suunnittelua, sillä ne määrittävät kunnonvalvontatekniikat ja -menetelmät kyseiselle koneelle. (Mikkonen & Kautto 2009, 162.)

4.1 Kunnonvalvonnan suunnittelu

Kunnonvalvonnan suunnittelussa määritellään koneen kunnonvalvonnan taso, eli sen kriittisyys ja kunnonvalvonnan tarve. Mikäli kone on kriittinen ja vaatii kunnonvalvontaa, täytyy sille määritellä soveltuvat valvontamenetelmät ja arvioida niiden toteutettavuus. Seuraavaksi määritellään kunnonvalvonnan kannattavuus taloudellisesti ja laaditaan lopullinen kunnonvalvontasuunnitelma. Kunnonvalvontasuunnitelmassa määritellään valvontatekniikat sekä -menetelmät, käytettävät mittausjärjestelmät ja niiden raja-arvot sekä mittausvälit. Tämän lisäksi suunnitelmaan määritetään mittausten dokumentointi, raportointi ja seuranta. (Mikkonen & Kautto 2009, 162–163.)

4.2 Kunnonvalvonnan toteutus

Kun kunnonvalvonnan suunnittelu on tehty, on kunnonvalvonnan toteutuksen vuoro. Kunnonvalvonnan toteutukseen kuuluvat mittaus ja mittaustulosten tarkastelu. Mittaustuloksista voidaan tunnistaa hälytysrajat ylittäneen koneen oireet ja diagnosoida vian vakavuusaste, ennustaa sen kehittyminen ja suunnitella korjaustoimenpiteet, käyttöturvallisuus ja sopiva ajankohta huomioon ottaen. Parantavan kunnossapidon jälkeen tehdään dokumentointi sekä raportointi asiasta. (Leinonen 2009, 167.)

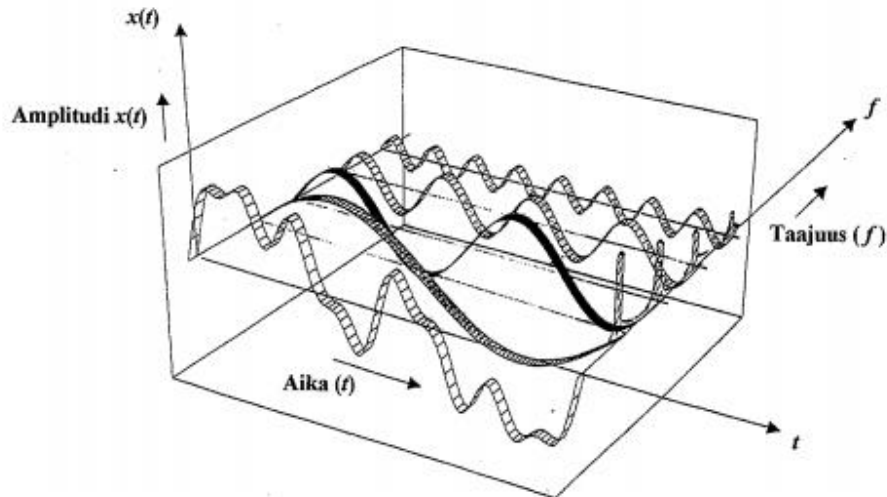
5 KUNNONVALVONTAMENETELMÄT

Sähkömoottoreilla on useita käynninaikaisia kunnonvalvontamenetelmiä, joiden avulla vikaantuminen tai kunnan heikentyminen voidaan huomata ajoissa.

5.1 Staattorivirran signaalianalyysi

Staattorivirta muodostuu syöttövirran perustaajuudesta, harmonisista taajuuksista sekä erilaisista muutos- ja vikatilanteiden aiheuttamista lisäkomponenteista. Tämän lisäksi moottorin sisäiset muutokset vaikuttavat roottorin virtoihin, jotka vaikuttavat ilmavälin kautta staattorikäämityksen virtoihin. Tämän takia staattorivirran mittausta käytetään kunnonvalvontamenetelmänä sähkömoottoreille. Kunnonvalvontaa varten on olemassa niin kannettavia kuin kiinteitä mittauslaitteita staattorivirran signaalianalyysille. (Kokko, 2009. 386.)

Mittaustulosten analysointia varten mittaussignaali muutetaan taajuustasoon. Kun signaalia tarkastellaan taajuustasossa, saadaan selville signaalin sisältämät värähtelyn eri komponentit. Menetelmää, jolla taajuussignaali saadaan selville, kutsutaan Fourier- muunnokseksi. Fourier- muunnoksen idea on, että riittävän säännöllinen funktio voidaan esittää sinimuotoisen funktion integraalina, josta voidaan laskea komponenttien amplitudi sekä vaihe. Aikatasosignaaliissa kaikki jatkuvat jaksolliset signaalit voidaan esittää sinimuotoisten signaalien avulla. Fourier- muunnoksessa nämä sinimuotoiset signaalit saadaan esiin summasignaalista. Eli, kun signaalia katsotaan aikatasolla, nähdään vain summasignaali ja kun Fourier- muunnosta käytetään aikatasosignaaliin, voidaan samaa signaalia tarkastella taajuusakselilla ja siitä voidaan erottaa summasignaalin sisältämät komponentit (Kuvio 7). (Miettinen & Jantunen 2009, 190.)



Kuvio 7. Fourier- muunnos.(Miettinen & Jantunen 2009, 190)

Ennen mittausta valitaan taajuusalue sekä spektriviivojen määrä. Usein mittaukset tehdään kahdella taajuusalueella. Ensimmäinen taajuusalue on matalalla, 0- 200 Hz ja toinen huomattavasti korkeammalla, esimerkiksi 1000 Hz. Taajuusalueen määrittämisellä voidaan valita, millaista vikaa halutaan tutkia. Esimerkiksi roottorinsauvan vikaantumisen voidaan tunnistaa syöttötaajuuden, Suomessa 50 Hz, ympärillä olevista sivunauhoista ja niiden harmonisista. Spektriviivoilla määritetään mittauksen tarkkuuden resoluutio. Yleisesti mittalaite esittää mittaustulokset graafisessa muodossa, mikä helpottaa analysointia. Jotta mittaustulokset olisivat vertailukelpoisia, on hyvä tietää epätahtikoneen kierrosnopeus, josta voidaan määrittää jättämän arvo. Luotettavan mittaustuloksen saamiseksi staattorivirtamittauksella on koneen pyörimisnopeuden ja staattorin perustaajuuden oltava vakio sekä koneen kuormitettu siinä määrin, että sivunauhat voidaan erottaa perustaajuudesta. (Kokko 2009, 387.)

Virtasignaalin analyysi on suositeltava tapa esimerkiksi roottorin sauvavaurion mittaukseen ja sen kunnonvalvontaan. Tämä johtuu siitä, että virtamittaus on herkempi kuin värähtelymittaus ja mahdollinen vika voidaan havaita aiemmin. Moottorin pulssimainen kuormitus sekä moottorin rakenne voivat aiheuttaa häiriöitä mittauksiin ja näin ollen onkin suositeltavaa varmistaa mittaustulokset värähtelymittauksella. (Kokko 2009, 388, 390.)

Staattorivirran signaalianalyysia käytetään myös moottorin ilmavälin epäkeskisyyden sekä laakerivikojen tunnistukseen tilanteissa, missä värähtelymittaus ei ole mahdollista. Epäkeskisyyden mittaaminen vaatii kuitenkin vertailtavia mittaustuloksia ajankohdalta, jolloin moottori on ollut täysin toiminnallinen tai vastaavassa käytössä olleisiin samanlaisiin moottoreihin. Tämän lisäksi mittaustuloksissa tulee ottaa huomioon moottorin rakenne, joka voi vaikuttaa suuresti epäkeskisyyden muutokseen. Laakerien kunnonvalvonnassa täytyy muistaa, etteivät kaikki laakerivioista aiheutuvat värähtelyt näy staattorivirran signaalianalyysissa. (Kokko 2009, 392.)

5.2 Jännite- ja virtaepäsymmetrian mittaaminen

Kolmivaiheisen syötön tai käämityksen epäsymmetria voi aiheuttaa sähkömoottorin virran epäsymmetrian. Yleisesti virran epäsymmetria johtuu syöttöjännitteen epäsymmetriasta, jonka syitä voivat olla muun muassa löystyneet koskettimet kontaktorilla tai johdonsuojakatkaisijalla. Yhden vaihejohtimen virtapiiri voi myös pahimmillaan katketa aiheuttaen moottorin pyörimisen kahdella vaiheella. Koska oikosulkumoottori on hyvin herkkä jännite-epäsymmetrialle, voi pienikin jännite-epäsymmetria aiheuttaa suuren virtaepäsymmetrian. Virtaepäsymmetria aiheuttaa lisähäviöitä, jotka aiheuttavat moottorin ylimääräistä lämpenemistä. Jännite-epäsymmetria puolestaan aiheuttaa moottorin hyötysuhteen alenemista ja näin ollen nostaa energiankulutusta. Tämän lisäksi jännite-epäsymmetria aiheuttaa muutoksia moottorin käynnistysmomenttiin. Käynnistysmomentti voi tilanteesta riippuen joko kasvaa tai pienentyä. Pienentyessään käynnistysmomentti aiheuttaa moottorin käynnistysajan pidentymisen ja moottorin ylimääräisen lämpenemisen. Pienentyessään liikaa ei moottorin käynnistysmomentti enää riitä moottorin käynnistämiseen ja käämitykset kuumenevat tai mahdollisesti palavat riippuen moottorin käynnistysvirrasta. (Kokko 2009, 397.)

Moottorin jännite-epäsymmetriaa mitataan jännitteiden tehollisarvoista. Jotta voidaan havaita kaikki löystyneet liitokset virtapiirissä, tulisi mittaaminen tehdä moottorin liitännänavoista. Turvallisuussyistä tämä ei kuitenkaan aina ole mahdollista, joten mittaaminen on mahdollista suorittaa myös turvakytkimeltä tai

syötön lähdöstä. Mikäli mittaus tehdään syötön lähdöstä, on syytä huomioida mittauspaikka, jotta mahdolliset sulakkeiden ja kontaktorien löystyneet liitokset voidaan havaita. (Kokko 2009, 398.)

Moottorin virtaepäsymmetriaa mitataan vaihevirtojen tehollisarvoista. Mittauksessa voidaan käyttää pihtivirtamittaria, mikäli syötölle ei ole vaihevirtojen mittausta tai sitä ei ole kytketty automaatioon. (Kokko 2009, 398.)

Jännite- ja virtaepäsymmetrian mittaukseen on olemassa omia kaupallisia laitteita tai ne voidaan tehdä yleismittarilla. Kaupallisen laitteen etuja ovat turvallisuus ja luotettavuus, sekä yleisesti mittalaite esittää arvot graafisesti. Tämän lisäksi monelle mittalaitteelle on olemassa valmistajan oma ohjelma, jonka avulla tulokset voidaan siirtää, tallentaa ja tarkastella myöhemmin tietokoneelta. (Kokko 2009, 398.)

5.3 Magneettivuomittaus

Sähkömoottorilta voidaan mitata sekä staattorin aksiaalinen magneettivuo että roottorinapojen magneettivuo. Aksiaalisella magneettivuon mittauksella voidaan mitata roottorin kunto. Mittaus tehdään yleensä moottorin N- päästä siihen tarkoitetulla mittausanalyysointilaiteella. Mittauksella voidaan tunnistaa esimerkiksi roottorin sauvavaurio, roottorin päätyrenkaan katkeaminen tai staattorikäänityksen kierrossulkuvika. Nämä viat voidaan tunnistaa mittauksissa staattorivirran kasvusta sekä aksiaalisen magneettivuon taajuudesta. Roottorinapojen magneettivuon mittauksella voidaan mitata ilmavälin kautta roottorisauvojen käämisauvojen aiheuttamaa magneettivuota. Mittauksessa staattorin ja roottorin väliseen ilmaväliin asennetaan mittakela, johon roottorin napa indusoi pyöriessään jännitteen, jota mitataan erikoisanalyysointilaiteella tai nopealla oskilloskoopilla. Mittauksen avulla pystytään tarkasti mittaamaan, missä käämisauvassa mahdollinen kierrossulku sijaitsee. (Kokko 2009, 399–400, 415–416.)

5.4 Lämpökuvaus

Lämpösäteily on sähkömagneettista säteilyä. Sen aallonpituus on pidempi kuin näkyvällä valolla ja kaikki kappaleet säteilevät sitä. Säteilyn aallonpituus riippuu kappaleen lämpötilasta. Kaikki lämpösäteily on infrapunasäteilyä. Kappaleen pintamateriaali määrittää, kuinka paljon kappaleesta tulevasta säteilystä on sen itsensä lähettämää eli emittoimaa ja kuinka paljon se heijastaa ympäristönsä energiaa. Esimerkiksi metalliset paljaat pinnat heijastavat enemmän ympäristönsä energiaa kuin lähettävät itse ja näin ollen niitä on vaikeaa mitata matalissa lämpötiloissa. Emittoimista määritellään emissiivisyysluvulla, joka määrittelee kuinka paljon kappale säteilee ja heijastaa lämpöä. Mitä suurempi emissiivisyysluku on, sitä vähemmän se heijastaa ympäristöään ja lähettää omaa lämpötilaansa. Esimerkiksi kiillotetun teräksen emissiivisyysluku on 100 °C lämpötilassa 0,07, kun taas valkoisen lakan luku on 0,92. (Miettinen, Leinonen, Riutta, Heinonen & Kokko 2009, 443–444.)

Lämpökamera on lämpösäteilyn vastaanotin. Se mittaa kuvauskohteen pinnasta lähtevää lämpösäteilyä. Lämpökamerassa on ilmaisimatriisi, joka muuttaa lämpösäteilyn voimakkuuden lämpötilatiedoksi, josta se muodostaa digitaalisen lämpökuvan reaaliajassa. Lämpökameran etu on, että sillä voidaan kuvata suuren alueen lämpötilatiedot nopeasti kerralla. Lämpökameran käytön tarkkuus riippuu hyvin paljon kuvattavan kappaleen emissiivisyyskertoimesta ja se onkin syytä kalibroida kunnolla ennen käyttöä. Lämpökameraa voidaan käyttää moottorin laakerivian tunnistukseen ja yleisen moottorilämmön tarkkailuun. (Miettinen ym. 2009, 445.)

5.5 Muita kunnonvalvonnan menetelmiä

Muita kunnonvalvonnan menetelmiä ovat esimerkiksi aistinvaraiset menetelmät sekä voiteluaineanalyysit. Aistinvaraisilla menetelmillä tarkoitetaan ihmisen aistien avulla tehtyä kunnonvalvontaa. Näitä ovat esimerkiksi moottorin käynnin kuuntelu tai moottorin tärinän ja lämpötilan tunnustelu. Näitä menetelmiä voidaan käyttää täydentämään olemassa olevaa kunnonvalvontaa tai käyttää pelkästään ei- kriittisten laitteiden valvontaan. Aistinvaraisilla menetelmillä kunnonvalvontaa suorittaessa suorittajan on syytä tuntea moottorin toiminta, vikaantumisasiä

sekä tulkita havaintojen ja oireiden muutokset. Yleensä nämä taidot karttuvat kokemuksen myötä. (Miettinen ym. 2009, 418.)

Voiteluaineanalyysien avulla saadaan tietoa osien kulumisesta, voitelun tehokkuudesta, prosessin toiminnasta sekä voiteluaineen kunnosta. Analyysit tehdään ottamalla näytteet voitelu- ja hydraulioöljystä sekä voitelurasvasta. Voiteluaineelle tehdään eri analyysejä, riippuen siitä, mitä halutaan tutkia. Perusanalyyseillä tutkitaan voiteluaineen kuntoa, hiukkanalyyseillä voiteluaineen puhtautta ja epäpuhtaushiukkasten kokoa, sekä kulumametallianalyyseillä voiteluaineessa olevien metallipitoisuuksien muutoksia. (Miettinen ym. 2009, 428–429.)

6 VÄRÄHTELYMITTAUS

Värähtelymittauksia käytetään moottorien ja muiden pyörivien koneiden kunnonvalvonnassa. Värähtelymittausten suunnittelu ja mittausasetusten määrittely on haastavaa ja vaatii paljon eri tekijöiden huomioonottamista. Värähtelymittausten pohjaksi on ymmärrettävä laitteen toimintaperiaate, sen vikaantumismekanismit sekä teollisuudessa prosessi, jossa valvottava laite on osallisena. Ennen värähtelymittauksen käyttämistä kunnonvalvonnassa on hyvä tietää, kuinka usein mittaukset tulee tehdä, millaisia vikoja laitteeseen voi tulla, millainen ympäristö laitteella on sekä millainen mittauslaitteisto kyseiselle laitteelle sopii. Jotta värähtelymittaaja voi suunnitella ja tulkita mittaustuloksia, on hänen ymmärrettävä mittaamisen ja signaalinkäsittelyn perusteet käytännön mittauksiin. (Mikkonen, Miettinen & Jantunen 2009, 223–224.)

6.1 Värähtelymittauksen teoriaa

Kaikki pyörivät koneet värähtelevät käydessään dynaamisten voimien johdosta. Näitä voimia kutsutaan herätteiksi (Kuva 4) ja ne voivat johtua koneen normaalista toiminnasta, vikaantumisista sekä valmistuksen tai asennuksen epätarkkuuksista. Yleisesti herätteen aiheuttaa koneen liikkuva osa, sähkömoottorin tapauksessa se on yleensä roottori. Värähtelymittaus perustuukin herätteen ja etenkin sen muutoksen selvitykseen. Värähtelymittauksesta puhuessa on hyvä tietää mittauksiin liittyvää termistöä. Herätteen lisäksi värähtelymittauksen keskeisiä termejä ovat ominaistaajuus, resonanssi sekä kriittinen nopeus. Ominaistaajuudesta puhuttaessa tarkoitetaan laitteelle ominaista taajuutta, joilla herätteet syntyvät. Ominaistaajuudella tapahtuvat värähtelyt ovatkin yksi suurimmista ongelman aiheuttajista rakenteellisissa värähtelyongelmissa. Resonanssilla tarkoitetaan tilaa, jossa herätetaajuus ja ominaistaajuus ovat lähellä toisiaan ja aiheuttavat voimakasta värähtelyä. Kriittisestä nopeudesta puhuttaessa tarkoitetaan herätteen taajuutta, joka on sama kuin laitteen pyörimisnopeus. (Mikkonen ym. 2009, 224–226.)

Moottoreiden mekaaniset herätteet:

- Kytkimen linjausvirheet
- Epätasapaino
- Laakerit ja voitelu
- Välykset
- Epätavallinen kuormitus

Rakenteelliset värähtelyominaisuudet, kuten

- Resonanssit petirakenteessa
- Moottorin komponenttien ominaistaajuudet
- Vaimennus
- Vieressä olevat koneet

Moottorilähtöiset herätteet:

- Syöttötaajuus ja sen kerrannaiset (huomaa, että on oltava tasan syöttötaajuus)
- Jättämätaajuus
- Roottorisauvojen ohitustaajuus
- Sähköpurkaukset (ei yleensä havaittavissa värähtelymittauksissa)

Moottorin ulkopuoliset herätteet

- Vaihe- epäsymmetriaan liittyvät herätteet
- Virtapulssit ja jännitevaihtelut
- Taajuusmuuttaja tai muu syöttölaite
- Magnetointi (tahtikoneella)
- Muut prosessisähköistyksen ongelmat

Sähkömekaaniset herätteet

- Pyörimistaajuus
- Ilmavälin epäkeskeisyys
- Roottorin ja staattorin "soikeus" ja mittavirheet
- Staattoripaketin löysyys
- Roottorisauvojen aiheuttamat värähtelyt
- Paikallisen lämpenemisen aiheuttamat värähtelyt

Kuva 4. Sähkömoottorin herätteet (Mikkonen, Miettinen & Jantunen 2009, 327).

Yleisesti kunnonvalvonnassa käytetään mittaussuureena värähtelynopeutta, sillä sen vaste on sopivin niillä taajuuksilla, joista ollaan yleisesti kiinnostuneimpia. Muita mittaussuureita ovat kiihtyvyys sekä siirtymä. Kiihtyvyydestä puhuttaessa tarkoitetaan nopeuden muutosnopeutta ja siirtymällä tarkoitetaan paikan muutosnopeutta. Yleisesti värähtelynopeutta käytetään taajuusalueella kymmenestä Hertsistä aina noin tuhanteen Hertsiiin asti. Tätä matalammilla taajuusalueilla käytetään siirtymää ja korkeammilla taajuuksilla käytetään kiihtyvyyttä mittaussuureena. (Mikkonen ym. 2009, 228.)

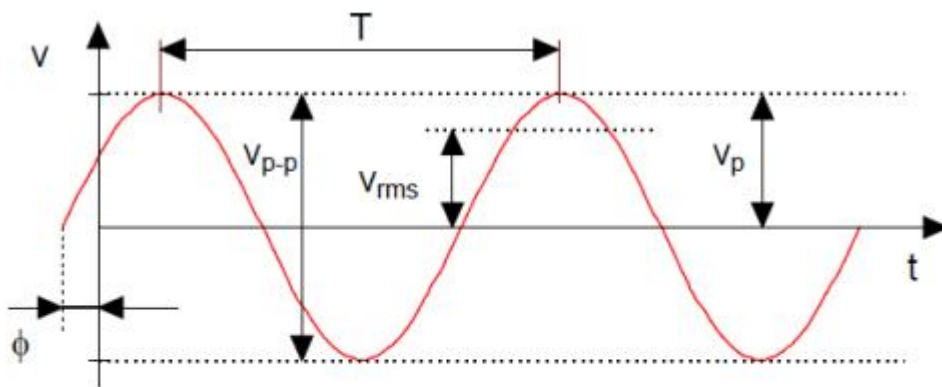
6.2 Värähtelymittausten tulkinta

Jotta mittauksen tuloksia voidaan tulkita, täytyy mittajaan tuntea seuraavat suureet (Taulukko 1).

Taulukko 1. Värähtelysuureet ja mittayksiköt (Mikkonen ym. 2009, 230).

Suure	Mittayksikkö	SI-mittayksikkö
siirtymä s	μm	m
nopeus v	mm/s	m/s
kiikhtyvvyys a	$\text{m/s}^2, g$	m/s^2
taajuus f	Hz	Hz
pyörimisnopeus n	1/min, rpm, 1/s	1/s
vaihekulma ϕ	$^\circ$	rad
jaksonaika T	ms	s

Näiden suureiden ja mittayksiköiden lisäksi mittaajan tulee ymmärtää seuraavat mittausparametrit (Kuvio 8).

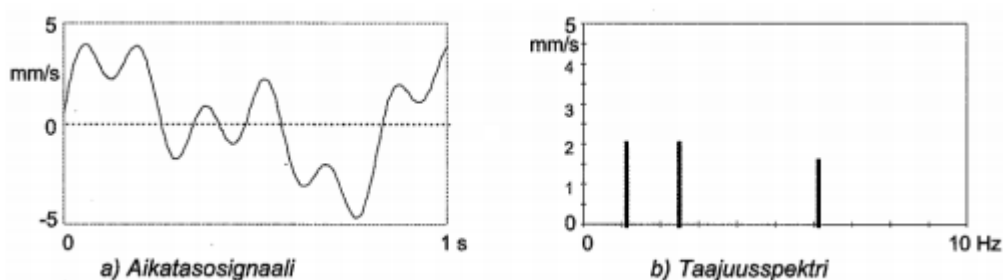


- T = värähdysaika eli jakso
- V_{p-p} = nopeuden huipusta-huippuun arvo
- V_p = nopeuden huippuarvo
- V_{rms} = nopeuden tehollisarvo
- ϕ = vaihekulma

Kuvio 8. Värähtelymittauksen parametrit (Mikkonen ym. 2009, 231).

Nopeuden huippuarvolla tarkoitetaan suurimman huipun korkeutta verrattuna nollassa aikatasosignaalin. Huipusta-huippuun kertoo pienimmän ja suurimman arvon erotuksen ja on noin kaksinkertainen huippuarvosta. Tehollisarvo on yhteydessä värähtelyn sisältämään energiaan ja voidaan laskea jakamalla sinimuotoisen käyrän huippuarvo $\sqrt{2}$. Vaihekulma osoittaa jakson kohdan, mihin värähtely on edennyt vertailukohdasta. (Mikkonen ym. 2009, 231.)

Aiemmassa esimerkissä värähtelyä kuvattiin aikatasossa, mutta käytännön analyyseissa värähtely esitetään yleisesti taajuustasossa. Taajuustasossa värähtely esitetään pelkästään positiivisella puolella ja se sisältää enemmän kuin yhden värähtelykomponentin (Kuvio 9). Analyysissa aikataso muutetaan taajuustasoon FFT eli Fast Fourier Transform- muunnoksella, joka on aiemmin opinnäytetyössä esitetyn Fourier- muunnoksen sovellus. Taajuustasossa tehdystä esityksestä käytetään nimitystä taajuusspektri. (Mikkonen ym. 2009, 232.)



Kuvio 9. Useasta taajuudesta koostuva aikatasosignaali ja sen esitys taajuustasossa (Mikkonen ym. 2009, 233).

6.3 Värähtelymittauksen anturit

Värähtelymittauksessa käytettäviä antureita voidaan pitää mittaustaitteiston ehkä tärkeimpänä osana, sillä niiden tehtävä on muuttaa kohteen värähtely sähköiseen muotoon. Antureiden kiinnitys vaikuttaa suuresti niiden mittaustuloksiin ja sen kiinnittämisessä onkin syytä huomioida, ettei kiinnitys rajoita taajuus- ja amplitudialuetta, anturin massa ei kuormita mitattavaa kohdetta eikä mittauspistettä valita virheellisesti. Yleensä anturit kiinnitetään ruuvikiinnityksellä, liimauksella tai magneetilla. Värähtelymittauksissa käytettävät anturit voidaan jakaa periaatteessa kolmeen eri ryhmään: kiihtyvyys, nopeus- sekä siirtymäantureihin. (Mikkonen ym. 2009, 234, 244–246.)

6.4 Siirtymäanturit

Siirtymäanturit mittaavat kohteen etäisyyttä suhteessa anturiin. Niitä käytetään yleensä akselin aseman ja värähtelyn ilmaisemiseen. Pyörrevirta-anturi on yleisin esimerkki siirtymäanturista. Siirtymäanturin toimintaperiaate perustuu anturin

kärjessä olevan kelan ja mittauskohteen etäisyyden muutokseen. Muutoksen tapahtuessa muuttuu anturin induktanssi ja samalla ulostulojännite, joka on suoraan verrannollinen etäisyyden muutokseen. Yleisin kohde pyörrevirta-antureille on liukulaakereiden kunnonvalvonta. Mittauksessa mitataan akselin ja laakerin suhteellista liikettä. Rajoittavia tekijöitä pyörrevirta-antureille ovat suppea taajuusalue (n. 0- 200 Hz), pieni dynamiikka ja hankala kiinnitys. Anturi tarvitsee esivahvistimen toimiakseen. (Mikkonen ym. 2009, 235.)

6.5 Nopeusanturit

Nopeusanturin toiminta perustuu magneetin liikkeeseen kelan sisällä. Magneetin liikkeestä voidaan mitata indusoitunut jännite, joka on verrannollinen liikkeen nopeuteen. Nopeusanturi on toimintaperiaatteensa vuoksi suurikokoinen eikä kovin pitkäikäinen. Tämän lisäksi se on herkkä magneettikentille ja suuntaamiselle, jotka aiheuttavat virhetuloksia. Markkinoilta löytyy myös pietsosähköisiä nopeusantureita, joiden toiminta perustuu kiihtyvyyssanturin toimintaan. Niiden sisällä on integraattori, joka muuttaa kiihtyvyyssignaalin nopeussignaalksi. Tällaiset anturit tarvitsevat vakiovirtasyötön toimiakseen. (Mikkonen ym. 2009, 237.)

6.6 Kiihtyvyyssanturit

Yleisin kiihtyvyyssanturi on pietsosähköinen kiihtyvyyssanturi. Anturin toiminta perustuu rungon ja rungon sisällä olevan seismisen massan välissä olevaan pietsoelementin toimintaan. Kun anturi on kiinnitetty kohteeseen ja liikkuu, puristaa seisminen massa keskipakovoimallaan pietsoelementtiä, johon syntyy voimaan verrannollinen varaus. Tämä varaus johdetaan ulostuloliittimeen kiihtyvyyttä vastaavana sähköisenä signaalina. Riippuen anturista, voidaan pietsoelementissä syntyvä varaus johtaa suoraan ulostuloliittimelle ja siitä esivahvistimelle tai anturin sisällä sijaitsevalle esivahvistimelle. Kiihtyvyyssanturit ovat yleisin värähtelymittausanturi, sillä se on pienikokoinen eikä siinä ole liikkuvia tai kuluvia osia. Tämän lisäksi anturi toimii laajalla taajuusalueella ja on helppo asentaa. Anturia valitessa on syytä ottaa huomioon sen nimellisherkyys, ympäristön lämpötila sekä pohjakiinnitys. (Mikkonen ym. 2009, 237–241.)

6.7 Mittalaitteet ja -järjestelmät

Värähtelymittaukselle on olemassa erilaisia mittalaitteita. Ne voivat olla kannettavia, puolikiinteitä tai kiinteitä. Kannettavat mittalaitteet ovat yleensä reittimittauksia varten ja mittaukset tehdään aikataulutetusti. Koska anturit eivät ole kiinteästi asennetut, eivät mittaustulokset ole niin tarkat. Kannettavaa mittalaitetta voidaan myös käyttää täydentämään kiinteän järjestelmän tietoja. Puolikiinteässä järjestelmässä anturit ovat kiinteästi asennetut, mutta mittaukset tehdään kannettavalla mittalaitteella. Tässä tapauksessa mittaussvälit ovat hieman pidempiä eikä alkavia vikoja välttämättä huomata ajoissa. Mittaustulokset ovat kuitenkin tarkempia kiinteästi asennetuilla antureilla. Kiinteää järjestelmää käytetään, kun mittaustiheyden tarve on suuri tai jatkuva. Yleensä tämä tarkoittaa tuotannollisesti tärkeää laitetta. Kiinteät mittalaitteet ovat yleensä omatoimisia eikä niitä tarvitse juuri käsitellä manuaalisesti. (Mikkonen ym. 2009, 259–263.)

7 VALVONTAMENETELMÄT

7.1 Tunnuslukuvalvonta

Värähtelymittauksen signaalista voidaan määrittää tietynlaisia tunnuslukuja, joita voidaan seurata. Tunnuslukuja kerätään, jotta voidaan muodostaa trendi ja arvioida mahdolliset vikaantumis-, huolto- tai korjausajankohdat. Jotta tunnusluvut voidaan määrittää, täytyy suunnittelijan tuntea prosessi ja laitteen toiminta. Yleensä laitteelle määritellään tyypilliset viat ja vikatyypille tyypilliset tunnusluvut, joita voidaan seurata. Tunnuslukuja voivat olla esimerkiksi pyörimistaajuudella tapahtuvan värähtelyn voimakkuus, aikatasosignaalista laskettu tehollisarvo, akselin asema tai värähtelyn voimakkuus sähköverkon taajuudella. (Mikkonen, Jantunen, Miettinen, Leinonen, Kautto & Lumme 2009, 281–284.)

7.2 Kokonaistasovalvonta

Värähtelykiihtyvyyden, -nopeuden sekä -siirtymän tehollis- ja huippuarvoja kutsutaan kokonaistasoksi. Kokonaistasovalvonnassa seurataan näitä suureita ja määritellään niille trendit, joiden perusteella päätetään mahdollisista jatkotoimista. Yleisimmin kokonaistasovalvonnalla voidaan seurata epätasapainoa sekä linjaus- ja resonanssiongelmia, jotka näkyvät kokonaistasotrendissä. (Mikkonen ym. 2009, 284.)

7.3 Spektrianalyysi ja –valvonta

Spektrianalyysi on tavallisin vianmäärityksen menetelmä. Amplitudispektri muodostetaan FFT-laskennalla, josta kerrottiin aiemmin. Amplitudispektrissä esitetään värähtelyn voimakkuus eri taajuuksilla ja sitä käytetään hyväksi kunnan arvioinnissa. Spektrianalyysin tulkinta vaatii kokemusta, sillä spektrissä näkyvät myös normaalista toiminnasta ja pienestä valmistusepätarkkuudesta johtuvat värähtelyt pyörimistaajuudella. (Mikkonen ym. 2009, 284.)

7.4 Verhokäyrä- ja PeakVue-valvonta

Verhokäyrä- ja PeakVue-tekniikkaa käytetään, kun perinteiset tekniikat eivät riitä. Tällainen tilanne voi syntyä esimerkiksi, kun vierintälaakereilla on alkava vika, joka on värähtelyvoimakkuudeltaan niin heikko, että se peittyy tavallisen värähtelyn alle. Verhokäyrä- ja PeakVue-tekniikalla seurataan herätteen iskumaisuutta ja taajuuden avulla voidaan vika paikallistaa kuten tavallisessa spektrianalyysissä. Menetelmää käytetäänkin yleisimmin vierintälaakerien kunnonvalvonnassa. (Mikkonen ym. 2009, 286.)

7.5 Iskusysäysmenetelmä

Iskusysäysmenetelmä on kehitetty vierintälaakerien valvontaan. Menetelmässä mitataan korkeataajuisia värähtelyä, joka aiheutuu kohteeseen kohdistuneista iskumaisista herätteistä. Menetelmässä käytetään iskusysäysanturia, jonka ominaistaajuus on 32 kHz. Kun laakerin vierintäelin osuu vauriokohtaan vastinpinnassa, herättää se anturin värähtelyn ominaistaajuudellaan. Mittaussignaalista lasketaan huippu-arvo dbm sekä mattoarvo dbc. Mattoarvoa käytetään esimerkiksi laakerin voitelutilan valvonnassa. Eri viat aiheuttavat erilaiset iskusysäyskuvionsa signaaliin ja nämä kuviot on hyvä tietää ennen mittauksien tekoa. Toisiaan hankaavat osat aiheuttavat selkeämmät kuviot kuin toisiinsa iskevien osien kuviot. Yksi harvoista iskusysäysmenetelmän käyttäjistä on SPM, jonka laitteistoa käytettiin opinnäytetyön mittauksissa. (Mikkonen, Miettinen & Jantunen 2009, 249.)

7.6 Muut menetelmät

Muita valvontamenetelmiä ovat esimerkiksi aikataso-, vektori- sekä profiilivalvonta, kepstrivalvonta sekä korkeataajuiset valvontamenetelmät (Mikkonen ym. 2009, 287–289).

8 SÄHKÖMOOTTORIEN VIAT JA NIIDEN TUNNISTAMINEN

Sähkömoottoreilla on hyvin paljon erilaisia vikaantumismekanismeja ja niiden tunnistaminen onkin kunnonvalvonnan kannalta erityisen tärkeää. Tämän lisäksi on syytä tuntea erilaisia valvontamenetelmiä, jotka mahdollistavat vikaantumisen tunnistamisen ja mieluummin kunnon heikkenemisen tunnistamisen jo ennen vikaantumista. (Kokko 2009, 370.)

8.1 Moottorin jumitilanteet

Moottorin käynnistys epäonnistuu, mikäli moottorin akselille kytketty mekaaninen kuorma on moottorin käynnistysmomenttia suurempi. Näin syntyy jumitilanne, jossa staattori- ja roottorikäämitykselle kulkee jatkuvasti suuri käynnistysvirta, joka kuumentaa käämityksiä sekä koneen rakenteita nopeasti. Koska seisovalla koneella jäähdytys on heikoimmillaan, on moottorin käynnistäminen keskeytettävä mahdollisimman nopeasti. Ennen uutta käynnistysyritystä, on syytä odottaa moottorin jäähtymistä, mikäli se on ehtinyt kuumentua. (Kokko 2009, 370.)

Moottorin käynnistyksenaikaista jumitilannetta valvotaan yleensä lämpöreleillä ja ylivirtareleillä jatkuvatoimisesti. Suuremmilla moottoreilla käytetään yleensä relesuojausta, joka tunnistaa käynnistyksen epäonnistumisen jumitilanteessa ja erottaa moottorin nopeasti ennen ylikuumenemista. (Kokko 2009, 370.)

Moottorin jumitilanne voi myös syntyä käynnin aikana, mikäli akselille kytketty kuorma kasvaa suuremmaksi kuin moottorin vääntömomentti. Koska moottorin käämitys on jo valmiiksi lämmennyt kuormitusvirran vuoksi, ylikuumenee moottori hyvin nopeasti käynnin aikaisessa jumitilanteessa. Tämän vuoksi erotus on syytä tehdä mahdollisimman nopeasti. (Kokko 2009, 370.)

Ylikuumenemisesta voi seurata useita haittoja. Staattorikäämityksen ylikuumeneminen aiheuttaa käämilangan pinnalla olevan eristeen ja kuparijohtimen välisen rajapinnan heikkenemisen, mikä irrottaa eristeen ja johdinkuparin toisistaan ajan kuluessa. Tästä voi syntyä kierrossulku eli kierrosten välinen oikosulku staattorikäämitykseen. Tähän kohtaan indusoituu suuri virta, joka voi aiheuttaa moottorikäämityksen nopean palamisen. Yleisesti

voidaan olettaa palamisen tapahtuvan muutamasta minuutista aina muutamaan tuntiin kestäväenä ajankohtana. Palamisnopeus riippuu moottorin koosta sekä vikakohdan vakavuudesta. (Kokko 2009, 370.)

8.2 Staattorikäämityksen vikaantuminen

Staattorikäämitykselle voi ajan saatossa tapahtua paljon ja sille löytyykin useita vikatekijöitä. Vikaantumismahdollisuuksia ovat muun muassa käämityksen terminen vanheneminen, eristyksen kostuminen tai syövyttävien aineiden ja likaantumisen aiheuttamat eristyksen vaurioitumiset sekä käämityksen johtimien mekaaninen vaurioituminen. Tämän lisäksi staattorikäämityksen kiilauksen löystyminen tai irtoaminen on mahdollista. (Kokko 2009, 371–374.)

Staattorikäämityksen terminen vanheneminen johtuu yleensä jumi-tilanteen aikaisista liian suurista vaihevirroista tai moottorin pitkäaikaisesta ylikuormituksesta. Tämän lisäksi usein käynnistettävät tai suunnanvaihtoja tekevät moottorit ovat alttiina termiselle vanhenemiselle. Myös ali- sekä ylijännitteet aiheuttavat termistä vanhenemistä. Yleisesti terminen vanheneminen aiheuttaa staattorikäämityksen eristyspinnan värin muutoksen ja mahdollisen pistävän hajun ennen lopullista käämityksen palamista. Staattorin levypaketin kuumeneminen voi aiheuttaa eristyksen vikaantumisen levyjen välillä, joka aiheuttaa häviöitä ja ylikuumentamista ja voi johtaa eristyksen heikkenemiseen ja käämityksen palamiseen. (Kokko 2009, 371–372.)

Staattorikäämityksen eristyksen kostuminen voi johtua esimerkiksi ilmankosteuden aiheuttamasta pitkäaikaisesta kastepisteestä varastoinnin aikana, mikä saattaa aiheuttaa vettymisen käämityksen pinnalla ja eristyskyky romahtaa. Kostumisesta voi aiheutua maasulkuja, kierrossulkuja tai vaiheiden välisiä oikosulkuja. Nämä voivat johtaa käämityksen palamiseen myöhemmin. Eristyskyky varmistetaan usein eristysvastusmittauksella, etenkin pidemmän seisokin tai varastoinnin jälkeen. Mikäli eristysvastus on romahtanut, täytyy käämitys kuivata ennen käyttöönottoa. (Kokko 2009, 372.)

Kontaminoituminen eli syövyttävän aineen ja ympäristön aiheuttama likaantuminen voi myös johtaa staattorikäämityksen eristyksen heikkenemiseen tai vaurioitumiseen. Yleensä nämä voidaan välttää oikealla kotelointiratkaisulla

sekä riittävällä moottorin puhdistuksella. Eristysvastusmittauksella voidaan myös tarkistaa mahdollinen kontaminoituminen. (Kokko 2009, 373.)

Staattorikäämityksen mekaaninen vaurioituminen tapahtuu, kun käämitys murtuu mekaanisesti. Tästä syntyy paikallisia kuumia pisteistä, jotka voivat aiheuttaa käämikierrosten välisen kierrossulun, joka aiheuttaa käämityksen palamisen. Kuuma piste voidaan havaita lämpökuvauksen avulla, mikäli johtimia on mahdollista kuvata käynnin aikana. Vaurioitumisen seurauksena voi myös syntyä vaihevirtojen epäsymmetria, jos murtuneen vaiheen virta pienenee. Tämä aiheuttaa moottorin ylikuumentumisen ja mahdollisen käämityksen kunnon heikkenemisen. Tavallisesti yli 10 prosentin virtaepäsymmetria on jo haitallinen moottorille. (Kokko 2009, 373.)

Staattorikäämityksen kiilauksen löystyminen aiheutuu korkeasta värähtelystä ja aiheuttaa käämityksen eristysten vaurioitumista ura-alueella sekä uransuualueella. Kun käämitys pääsee liikkumaan, aiheuttaa se käämityksen liikkumista myös uran suulla. Tästä aiheutuu hankausta ja sähköisiä pintapurkauksia, jotka heikentävät eristystä. Urakiilauksen suora irtoaminen johtuu yleensä valmistusvirheestä. Urakiilauksen irrotessa pääsee käämitys liikkumaan käämiurassa tavallista enemmän ja aiheuttaa purkauksia käämipinnan ja käämiuran pohjan ja seinämien välissä. (Kokko 2009, 374.)

8.3 Virransyötön aiheuttamat ongelmat

Sähkömoottoreilla on monia erilaisia virransyötön aiheuttamia ongelmia, jotka on tärkeää tietää. Näitä voivat olla muun muassa vaihesyötön liitosten löystyminen tai katkeaminen, syöttöjännitteen tai syöttövirran epäsymmetria, jännitesyöksyaallot tai maasulku. (Kokko 2009, 374–377.)

Staattorikäämitystä syöttävä vaihe voi löystyä turvakytkimellä, moottorinsuojakytkimellä, moottorikaapelin syöttöpäässä tai liitântäkotelon liitoksessa. Tämä aiheuttaa vaiheiden välistä virtaepäsymmetriaa, joka aiheuttaa moottorin ylikuumentumista. Vaihe voi myös katketa esimerkiksi huonon liitoksen, viallisen sulakkeen tai avoimen kontaktorin johdosta. Vaihejohtimen liitoksen heikentyessä siirtyy osa sen virrasta tai katketessa koko virta muille vaiheille aiheuttaen moottorin ylikuumentumisen. Pienemmillä moottoreilla tätä valvotaan

yleensä lämpöreileillä ja suuremmilla moottoreilla taas virtaepäsyyntiasuojauksella. (Kokko 2009, 374–375.)

Koska kolmivaihemoottori on herkkä jännite-epäsyyntialle, voi jopa alle 1 prosentin epäsyyntia aiheuttaa ylikuumentumista. Tällainen ei tosin ole kovinkaan yleistä, sillä teollisuuden sähköverkkojen jännitesyyntia on yleensä hyvä. Yleensä vaihejännitteiden erot johtuvat epätasaisesta kuormituksesta tai suuriresistiivisestä liitoksesta. Tämä voi myös aiheuttaa staattorikämmityksen yhden vaiheen eristyksen termisen vaurioitumisen. On myös hyvä ottaa huomioon, että yhden prosentin jännite-epäsyyntia voi aiheuttaa jopa 10 prosentin virtaepäsyyntian. Virtaepäsyyntiaa voidaan mitata moottorin syöttökaapelista tai suuremmilla moottoreilla virtamuuntajien toisiopiiristä. Jännite-epäsyyntiaa voidaan mitata tarkoitukseen soveltuvilla laitteilla pienjännitteisen moottorin liittimistä. Kumpikin epäsyyntia voidaan havaita myös lämpötilamittauksilla, kuormitukset ja ympäristön lämpötilan huomioon ottaen. (Kokko 2009, 376.)

Jännitesyöksyaallot aiheutuvat usein tehoelektroniikasta, kapasitiivisista purkauksista ja salaman iskuista. Jännitesyöksyaallot voivat aiheuttaa staattorikämmityksen eristysvikoja, jotka puolestaan saattaa johtaa kierrossulkuun ja lopulta kämmityksen palamiseen. (Kokko 2009, 376.)

Maasulkutilanne syntyy, kun vaihe-eristyksen ja rungon välille syntyy vuotovirta. Tämä johtuu yleensä moottorin vaiheen eristyksen heikentymisestä ja voi tapahtua myös moottorin kaapelissa tai kytkentäkotelossa. Vikapaikka on sähköturvallisuussäädösten mukaan korjattava tietyn ajan kuluessa. Maasulku voi aiheuttaa kämmityksen palamisen, riippuen vikavirran suuruudesta. Vikavirran suuruus on riippuvainen maasulkukohdan impedanssista. Suurjännitemoottoreilla käytetään yleensä maasulkusuojausta, sillä maasulkuvika voi aiheuttaa kipinöintiä tai kämmipalon suurilla virroilla. (Kokko 2009, 376.)

8.4 Roottorikämmityksen viat

Käynnistysvirta aiheuttaa oikosulkumoottoreilla roottorin kämmityksen hetkellisen kuumentumisen. Jos käynnistysvirkettä tehdään usein ja käynnistysvirrat ovat suuria,

voi tämä aiheuttaa käämisauvan ja oikosulkurenkaan liitoksen heikkenemisen, murtumisen tai katkeamisen. Katkenneen sauvan virta siirtyy viereisille käämisauvoille aiheuttaen myös näiden hajoamisen. Oikosulkumoottorissa voi tästä huolimatta olla useita katkenneita sauvoja ja silti se voi toimia. Sauvojen katkeaminen kuitenkin vaikuttaa suoraan moottorin momenttiin ja ajan kuluessa moottorin käynnistysmomentti ei enää riitä ja syntyy aiemmin esitelty jumitilanne. Moottorin vääntömomentin pieneneminen aiheuttaa myös jättämän kasvua eli pyörimisnopeuden hidastumista. Tämän lisäksi katkenneet sauvat saavat moottorin värähtelytason kasvamaan, sillä roottorin momenttiin tulee edestakainen värähtelytaajuus. Myös metallinpalasia saattaa irrota roottorisauvan murtumakohdasta, koska ne raaputtavat ilmapälissä staattorin käämityksiä ja levypaketin pintaa. Yleensä roottorisauvan ja päätyrenkaan murtumiset voidaan tunnistaa staattorivirran signaalianalyysillä. Tämän lisäksi suuremmat vauriot voidaan huomata värähtelymittauksilla ja mahdollisesti lämpötilamittauksilla. (Kokko 2009, 383–384.)

8.5 Vierintälaakerien viat

Sähkömoottoreista käytetään kahden tyyppisiä laakereita, liukulaakereita ja vierintälaakereita. Kummallakin on omat tyypilliset laakerivikansa. Näiden lisäksi laakerivirrat aiheuttavat laakerivikoja. Laakerivikojen tyypillisimpiä syitä ovat lika, kosteus, ylikuormitus, voitelun puute ja valmistusprosessin jälkeen aiheutuneet vauriot. Koska jo ehjä laakeri aiheuttaa sille ominaisia värähtelyjä, voidaan vikaantunut laakeri havaita värähtelyn herätteiden voimakkuuden kasvusta ja värähtelytason muutoksesta. Laakerit saavuttavat tyypillisesti vain kymmenyksen niille ennustetusta eliniästä, joten niiden kunnonvalvonta on suuressa roolissa. Yleisesti laakereiden kunnonvalvontaa käytetään värähtelymittausta. Joissakin tapauksissa, missä värähtelymittaus ei ole mahdollista, käytetään staattorivirran signaalianalyysia. Värähtelymittaus on yleisesti ensisijainen menetelmä, koska laakerin vikataajuus vaikuttaa suoraan koneen värähtelyyn ja moduloituu siitä staattorivirtaan. Kaikki värähtely ei kuitenkaan aiheuta muutoksia staattorivirran signaalianalyysissa. (Mikkonen ym. 2009, 311; Kokko 2009, 395.)

Vierintälaakerien viat voidaan määrittellä kahteen luokkaan: pistemäiseen vaurioon tai yleiseen karkeuteen. Pistemäisessä vauriossa laakerissa sijaitsee

paikallinen vauriokohta, vaikka muu osa laakerista on jopa hyvässä kunnossa. Pistemäinen vaurio aiheuttaa ominaisen vikataajuuden koneen värähtelyssä. Yleisesti nämä paikat voidaan ennakoida ja ne riippuvat siitä, millä laakerin pinnalla ne ovat. Yleiset kunnonvalvontamenetelmät kohdistuvat neljään eri ominaisvikataajuuteen. Näitä ovat laakerin ulkokehän vikataajuus, sisäkehän vikataajuus, pidikkeen vikataajuus sekä vierintäelimen vikataajuus. Kun vikatyypinä on yleinen karkeus, on laakerin pinnan kunto heikentynyt suuremmalta alueelta ja tullut karkeaksi tai epätasaiseksi. Yleisesti tällainen vika syntyy voiteluaineen puutteesta, kontaminoitumisesta tai laakerivirroista ja se voi olla vaikea tunnistaa värähtelymittauksella tai staattorivirran signaalianalyysillä, sillä vikatyypillä ei esiinny ominaisia ominaisvikataajuuksia. (Kokko 2009, 394–395.)

8.6 Liukulaakerien viat

Liukulaakerien vikoja on vaikea havaita värähtelymittauksen kiihtyvyyssantureilla ja, yleinen kunnonvalvonnan käytäntö onkin asentaa kiinteästi kaksi siirtymäanturia 90° kulmaan toisistaan akselin aseman ja ratakäyrän mittaukseen. Liukulaakerin viat aiheuttavat yleensä öljykalvon pyörteilyä ja kasvaneita välyksiä myöhemmin. Lopulta voi myös seurata liukupintojen kosketus. Laakerin kuluminen aiheuttaa normaalisti pyörimistaajuuden monikertojen ja aliharmonisten komponenttien kasvua. Tämän lisäksi kuluminen voidaan havaita akselin asemasta. Öljykalvon pyörteily aiheuttaa akselin värähtelyn laakeriholkissa, kun akselin keskisyys laakeriholkissa ei ole riittävä hydrodynaamisen paineen muodostumiselle voiteluainekalvoon. (Mikkonen, Jantunen, Miettinen, Leinonen, Kautto & Lumme 2009, 316–317.)

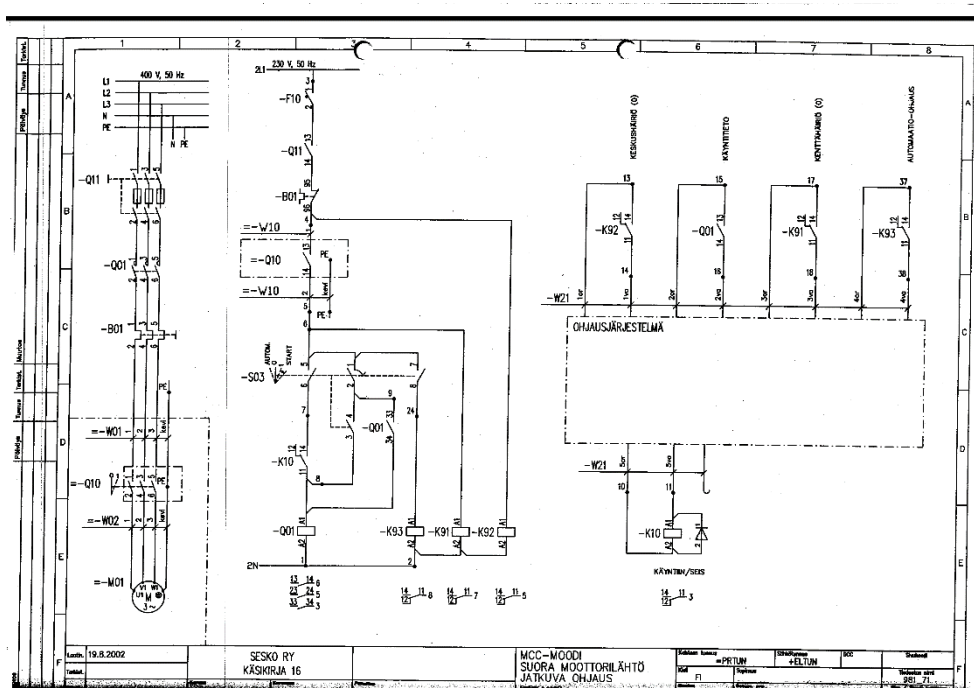
8.7 Ilmavälin epäkeskisyys

Yleisesti staattorin ja roottorin ilmavälin riittävän pieni epäkeskisyys varmistetaan suunnittelulla, standardeilla, asennuksella ja käyttöönottomittauksilla ja onkin epätavallista, että uudella sähkömoottorilla esiintyisi suurta epäkeskisyttä. Epäkeskisyys kuitenkin lisääntyy vuosia käytössä olleilla moottoreilla.

Epäkeskisyys voi aiheuttaa pahimmassa tapauksessa staattorin ja roottorin hankauksen, joka voi aiheuttaa käämitysten vaurioitumiseen. Ilmavälin epäkeskisyys voi olla joko staattista tai dynaamista. Staattisessa epäkeskisyudessa ilmaväli on kiinteä paikan suhteen ja dynaamisessa epäkeskisyudessa ilmaväli muuttuu roottorin pyörinnän mukaisesti. Ilmavälin epäkeskisyys voidaan tunnistaa värähtelymittauksilla sekä staattorivirran signaalianalyysillä. (Kokko 2009, 391.)

9 MOOTTORILÄHTÖ

Opinnäytetyössä rakennettiin normaali, SFS-16 mallipiirikaavion mukainen suora moottorilähtö (Kuvio 10). Koska moottorilähtö tulee opetuskäyttöön, oli tarkoituksena rakentaa visuaalisesti selvä ja yksinkertainen työ, jota käyttämällä on hyvä opettaa tulevia opiskelijoita. Koska opinnäytetyössä käydään läpi kunnossapitoa ja kunnonvalvontaa, tuli moottorilähtöön suunnitella myös vikamahdollisuus.



Kuvio 10. SFS-16 suoran moottorilähdön piirikaavio (SFS- 16 2003, 119).

Koska moottorikäyttö tulee opetuskäyttöön, päädyttiin perinteisen kasettilähdön sijasta sijoittamaan vaadittavat komponentit opetuslaudalle, josta ne ovat selkeästi nähtävissä. Kaikki tarvittavat komponentit löytyivät valmiiksi sähkökorjaamolta ja komponentit oli työharjoittelijoiden toimesta sijoitettu alustalle aiemmin (Kuva 5). Seuraavaksi tulikin tarkistaa komponenttien sopivuus työhön.



Kuva 5. Moottorilähtö projektin aloitusvaiheessa.

9.1 Sähkömoottori

Opinnäytetyöhön oli varattu valmiiksi työnkuvaan sopiva sähkömoottori. Moottori on ABB- kolmivaiheinen oikosulkumoottori. Sen nimellisteho 400 voltin kolmiokytkennällä on 5,5 kW ja pyörimisnopeus 1450 kierrosta minuutissa. Muut arvot löytyvät alhaalla olevasta kuvasta moottorin kilpiarvoista (Kuva 6).

ABB Motors						
3- Motor M2AA 132 S			Cl. F	IP 55	IEC 34-1 (1989)	
3G AA 132 001-ADA						
No.						
V	Hz	min ⁻¹	kW	A	cos φ	
380-420 Δ	50	1450	5,5	11,5	0,83	
660-690 Y	50	1450	5,5	6,6	0,83	
440-480 Δ	60	1740	6,4	11,4	0,86	
6208 2Z/C3		6206 2Z/C3		40 kg		

Kuva 6. Moottorin kilpiarvot.

9.2 Kytkinvaroke

Kytkinvaroke on laite, jossa on yhdistetty kuormakytkin sekä kahvasulakkeille tarkoitettu varokealusta. Kytkinvarokkeita käytetään suuritehoisten moottorilähtöjen ja muiden kuormitusten erottamiseen verkosta. Kytkinvarokkeita käytetään tämän lisäksi myös oikosulkusuojana sekä alakeskuslähtöjen kojeena. Yleisesti keskuksissa kytkinvaroke kiinnitetään kennon pohjaan ja väännin kennon kanteen. Kytkimen ollessa kiinni väännin lukitsee kannen eikä sitä saa auki kuin työkalun avulla. Kun kytkin väännetään auki, se erottaa sulakkeen ja kummatkin koskettimet sekä liittimet tulevat jännitteettömäksi. (Mäkinen & Kallio 2004.)

Kytkinvarokkeeksi valittiin ABB OS-sarjan kytkinvaroke, jossa ohjausmekanismi sijaitsee kytkinvarokkeen päädyssä ja johon käyvät DIN-tyypin sulakkeet. Sulakkeiksi valittiin 16 A kahvasulakkeet. AM-tyypin sulakkeet eivät reagoi tai reagoivat hitaasti pieniin ylivirtoihin. Ne toimivat vasta moninkertaisella nimellisvirran arvolla. Tällöin tarvitaan lämpörele huolehtimaan piirin ylikuormitussuojauksesta. (ABB 2011.)

9.3 Kontaktori ja lämpörele

Kontaktorit ovat sähkömekaanisia kytkimiä, jotka ovat toimintaperiaatteeltaan samanlaisia kuin releet. Kontaktoreilla ohjattavat jännitteet ja virrat ovat kuitenkin huomattavasti suurempia kuin releillä. Kontaktoreita käytetään moottorilähdön päävirtapiirin ohjauksessa, kun taas releitä käytetään ohjausvirtapiirin ohjaukseen. Moottorilähdöissä kontaktori yhdistetään monesti lämpöreleen kanssa ja ne muodostavat käynnistimen (Kuva 7). Opinnäytetyöhön valittiin ABB AF26 kontaktori. Kontaktoriin lisättiin myös 2 apukosketinta ohjaamaan 24 voltin releen apukosketinta sekä käsiajoa.

Lämpöreleet eli ylikuormitusreleet toimivat moottorilähdön ylikuormitussuojana. Lämpörele kiinnitetään kontaktoriin ja releen avautuvan ohjauskoskettimen (95-96) kautta viedään ohjausjännite kontaktorin kelaan (A1-A2). Lämpöreleitä valmistetaan mekaanisena sekä elektronisena. Mekaanisen lämpöreleen

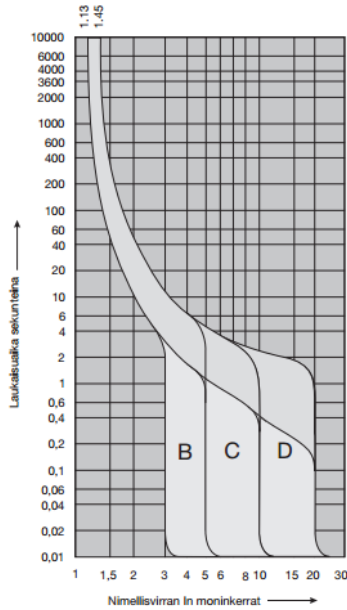
toiminta perustuu bi-metalliliuskaan, joka lämpenee moottorin ottaman virran avulla. Opinnäytetyössä käytettävä ABB TF42 on mekaaninen lämpörele. (ABB 2015.)



Kuva 7. ABB AF26 kontaktori sekä TF42 lämpörele.

9.4 Johdonsuojakatkaisija

Ohjausvirtapiirin suojaukseen käytetään johdonsuojakatkaisijaa. Johdonsuojakatkaisijoilla on kaksi erilaista laukaisumekanismia. Oikosulkusuojana toimii magneettinen pikalaukaisin ja ylikuormitusta varten hidastettu terminen laukaisin. Johdonsuojakatkaisijoilla on eri laukaisukäyriä (Kuvio 11), joiden mukaan valitaan johdonsuojakatkaisijan luokka. (ABB 2005.)



Kuvio 11. Johdonsuojakatkaisijoiden laukaisukäyrät (UTU 2011, 1.).

Opinnäytetyöhön valittiin laukaisukäyrien perusteella ABB S201- C4 johdonsuojakatkaisija. Johdonsuojakatkaisija on 1- napainen, C- käyrän katkaisija, jonka nimellisjännite on 230 voltia, nimellisvirta 4 ampeeria ja sen nimelliskatkaisukyky on 6 kA. (UTU 2011, 1.)

9.5 Releet

Ohjausvirtapiiriin tarvitaan releitä ilmaisemaan sen toimintoja. Opinnäytetyöhön valittiin Omronin 230 voltin AC-releitä kolme kappaletta sekä yksi 24 voltin DC-rele (Kuva 8). 230 voltin releet kertovat keskus- ja kenttähäiriöstä, sekä automaation kytkemisestä. 24 voltin ohjausrele ilmaisee, että moottori käy. Releisiin asennettiin myös apukoskettimet, joiden kautta saadaan tieto logiikalle. Rele K92 ja sen apukosketin toimivat keskushäiriön ilmoituksessa sekä ohjauksessa, rele K91 ja sen apukosketin puolestaan kenttähäiriön ilmoituksessa ja ohjauksessa. Relettä K93 käytetään ilmaisemaan, kun automaatio kytketään päälle.



Kuva 8. Releet, niiden apukoskettimet sekä johdonsuojakatkaisija kiinnitettynä kiskoon.

9.6 Logiikka

Työhön valittiin logiikaksi Mitsubishiin Alpha 2 logiikka (Kuva 9). Logiikka kytkettiin opetuslaudalle riviliittimiseen samalle kiskolle releiden ja johdonsuojakatkaisijan kanssa. Logiikan tuloihin kytkettiin releiden K91, K92, K93 sekä kontaktorin Q01 apukoskettimet sekä lähtöön ohjausrele K10. Logiikalle tehtiin moottorilähdön toiminnan mahdollistava ohjelma käyttäen Mitsubishiin Alpha programming -ohjelmistoa.



Kuva 9. Mitsubishi Alpha 2 logiikka.

9.7 Vikaantumismekanismi

Vikamekanismin määrittämisessä piti huomioida sen turvallisuus sekä käyttökelpoisuus. Ensimmäinen versio oli lisätä resistanssia yhdelle vaihejohtimelle, joka aiheuttaisi jännite- ja virtaepäsymmetriaa sekä ylikuumentumista, mitkä voitaisiin havaita sähkönlaatumittauksilla sekä lämpökuvauksella. Todettiin kuitenkin, että moottorille on hankala saada kuormaa ja tarvittiin uutta mekanismia. Päädyttiin sijoittamaan opetuslaudalle kytkin, jolla voi katkaista yhden vaiheen moottorille. Yksi vaihe vedettiin kytkinvarokkeelta kytkimelle ja siitä takaisin kontaktorille. Kun 0-1 kytkin avataan, poistaa se ensimmäisen vaiheen virtapiiristä, aiheuttaen moottorin lämpenemistä sekä jännite- ja virtaepäsymmetriaa.

9.8 Moottorilähdön rakennus ja toiminta

Moottorilähdön rakennus aloitettiin johdottamalla päävirtapiiri. Syöttökaapeli kuoritiin ja vaihejohtimet vedettiin kytkinvarokkeelle, nollajohdin ja suojamaa puolestaan riviliittimille. Kytkinvarokkeelta vaihejohtimet vedettiin kontaktorille, joka on yhdistetty lämpöreleeseen. Lämpöreleeltä vaihejohtimet vedettiin ns. mittauslaatikolle. Mittauslaatikko suunniteltiin mahdollistamaan helppo sähkönlaatumittarin käyttö ilman johtojen irrotusta mittaustilanteessa. Laatikoon on tehty liitännät jokaiseen vaiheliittimeen, johon mittauslaitteisto voidaan liittää. Myös suojamaa tuotiin riviliittimeltä mittauslaatikolle. Mittauslaatikolta vaihejohtimet vedettiin turvakytkimelle, joka oli kiinnitetty moottorin kytkentäkoteloon jo ennen opinnäytetyön aloitusta.

Ohjausvirtapiiri johdotettiin SFS-16 mallipiirikaavion mukaan (Kuva 5) Koska kyseessä on opetusväline, haluttiin kaikki riviliittimet numeraaliseen järjestykseen, jolloin 230 voltin sekä 24 voltin johdot ovat lähekkäin toisiaan, minkä johdosta suunniteltiin johdoille eristys.

Seuraavaksi opetuslaudalle suunniteltiin kosketussuojaus, jotta sitä olisi turvallista käyttää opetustilanteissa. Päädyttiin läpinäkyvään polymetyylimetakrylaattiin, eli pleksilasiin. Pleksilasi taivutettiin kuumentamalla koteloksi, mikä oli haastavaa varsinkin ilman aiempaa kokemusta asiasta.

Kotelon valmistuttua suunniteltiin kaikille kotelosta lähteville johdoille omat ulostulonsa ja kytkinvarokkeen kytkin kiinnitettiin koteloon. Tämän jälkeen kotelo ruuvattiin paikalleen. Kotelon ulkopuolelle lisättiin jälkikäteen riviliittimet logiikalle sekä vikaantumismekanismi. Kotelon sekä riviliittimet voi nähdä kuvasta pleksikotelon alapuolelta (Kuva 10).



Kuva 10. Valmis moottorilähtö.

Moottorilähtöä voi ohjata laudalla sijaitsevasta kytkimestä joko käsiohjauksella (1) tai automaattiohjauksella (A). Automaattiohjausta käytettäessä tulee logiikan riviliittimille johtaa jännite logiikalle sekä liittää mahdolliset käynnistys- ja pysäytysmekanismit. Logiikalta on myös vedetty ulos ohjelmointikaapeli, mikäli sille halutaan tehdä uusia ohjelmia. Käsiohjauksella moottorilähtö toimii suoraan kytkintä vääntämällä.

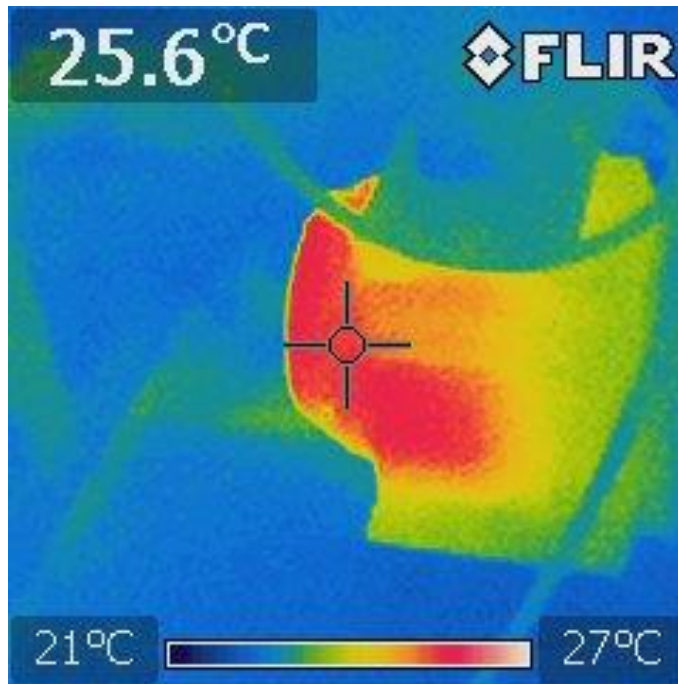
10 LÄMPÖKUVAUS

Lämpökuvaukset tehtiin käyttämällä Flir i7 lämpökameraa (Kuva 11). Flir i7 on elektroniikka-, teollisuus- ja rakennusteollisuudessa käytettävä kamera, joka on edullinen ja hyvä ratkaisu lämpökuvaukseen. Kamera painaa vain 365 grammaa, joten sen käyttäminen reittimittauksissa on helppoa. Kamera on roiskeenkestävä ja sen tarkkuusalue on ± 2 °C. Kameralla voi mitata lämpötiloja jopa 250 °C asti. Siinä on selkeä 2,8 tuuman värinäyttö ja mukaan tulevat miniSD muistikortti sekä Flir Tools ohjelma tiedon siirtoa ja analysointia varten. (Flir 2016.)



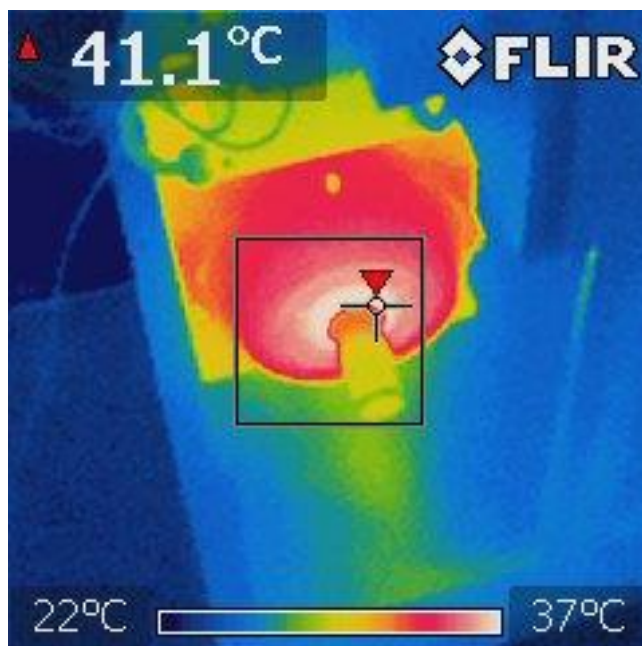
Kuva 11. Flir i7 lämpökamera (Flir 2016).

Mittaukset suoritettiin käyttämällä opinnäytetyössä rakennettua moottorilähtöä. Moottori kuvattiin kylmänä, jotta saataisiin vertailukohta myöhemmille kuvausvaiheille. Kuvauksissa mitattiin korkein lämpötila akselin läheisyydestä sekä rungosta. Moottori käynnistettiin ja lämpökuvattiin (Kuva 12).



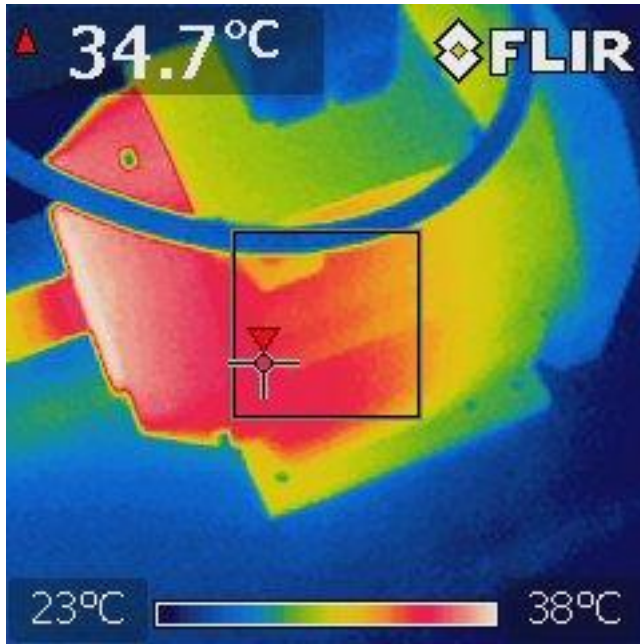
Kuva 12. Moottorin lämpötila kylmänä.

Moottorin annettiin käydä 30 minuuttia, jotta se saavuttaisi käyntilämpötilansa. tämän jälkeen moottorin lämpötilaa tarkkailtiin 10 minuuttia ja todettiin sen saavuttaneen käyntilämpötilansa. 40 minuutin käynnin jälkeen moottori lämpökuvattiin (Kuvat 13 & 14).



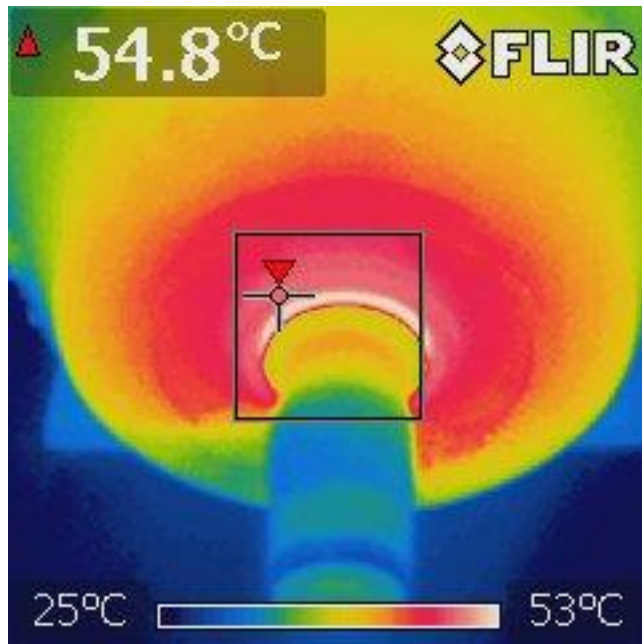
Kuva 13. Moottori on käynyt 40 minuuttia.

Kuten kuvasta (Kuva 13) nähdään, moottori lämpenee kuormattomana normaalisti, joskin laakerien lähetyvillä voidaan havaita korkeampia, muttei haitallisia lämpötiloja. Korkea lämpötila laakereilla johtuu todennäköisesti moottorin iästä ja laakerien kulumisesta. Voidaan myös huomata, että moottorin rungon lämpötila on noussut (Kuva 14).



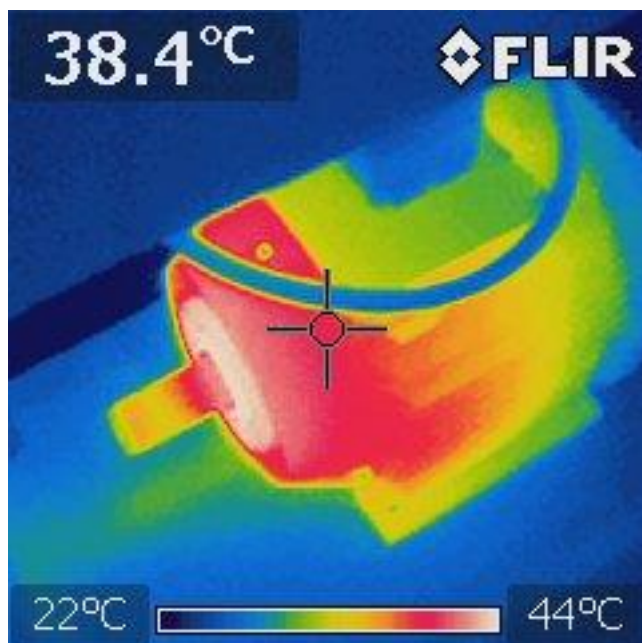
Kuva 14. Moottorin runko 40 minuutin käynnin jälkeen.

40 minuutin käynnin jälkeen vikaantumismekanismi päätettiin laukaista, eli moottorin annettiin käydä kahdella vaiheella. Moottorin annettiin käydä ensin 15 minuuttia, jonka jälkeen tehtiin kuvaukset (Kuvat 15 & 16) sekä tämän jälkeen 15 minuuttia lisää ja kuvattiin uusiksi (Kuva 17).



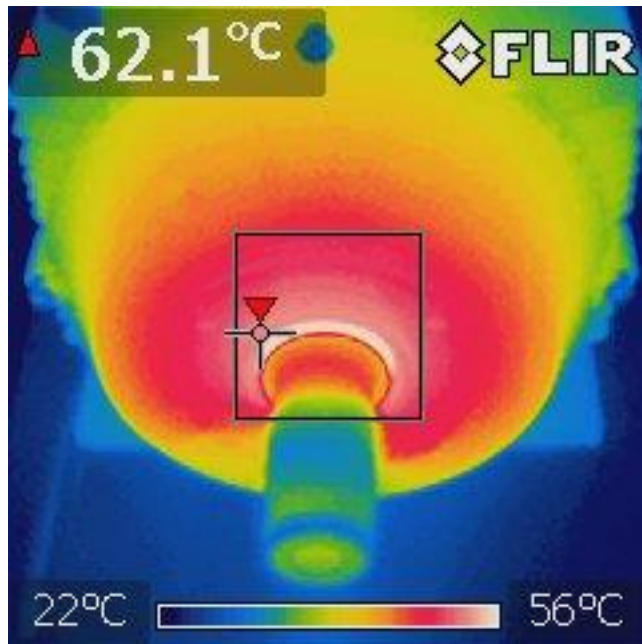
Kuva 15. Moottori on käynyt kahdella vaiheella 15 minuuttia.

Kuvasta (Kuva 15) voidaan todeta, että lämpötila akselin lähetyvillä on noussut huomattavasti, noin 13,7 °C.



Kuva 16. Moottorin runko samalla ajankohdalla.

Kuvasta (Kuva 16) voidaan havaita, että rungon lämpötilakin on noussut 3,7 °C siitä, mitä se oli normaalisti toimiessaan.



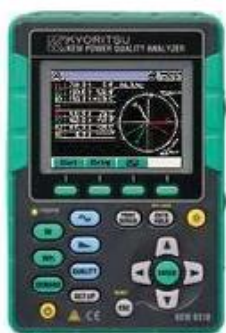
Kuva 17. Moottori on käynyt kahdella vaiheella 30 minuuttia.

30 minuutin käynnin jälkeen, kahdella vaiheella pyörineen moottorin lämpötila oli noussut 21 °C tavallisesta käyntilämpötilasta (Kuva 17).

Tuloksista voidaan päätellä, että kahdella vaiheella pyörivän moottorin pystyy selvästi erottamaan lämpökuvauksella kunnonvalvonnassa. Lämpökuvauksessa kuvataan moottorin pintalämpötilaa, joten ei voida tarkasti päätellä moottorin sisällä vallitsevia lämpötiloja. Tästä syystä pelkkä lämpökuvaukseen ei ole optimaalinen kunnonvalvonnan menetelmä, vaan lämpökuvauksen ohella on syytä käyttää muitakin valvontamenetelmiä. Koska testaukset tehtiin kuormattomalle moottorille laboratoriossa, ei tuloksista voida tarkasti päätellä vian vakavuutta ja jälkiseurauksia. Sähkömoottorin ollessa mukana prosessissa kuormallisena tulisi tämän kaltainen vika aiheuttamaan mahdollisesti suurempiakin vahinkoja. Jotta lämpökuvaukseen olisi mahdollisimman suuntaa antava, tulisi mittauksia tehdä tietyin aikaväleillä, jotta voidaan muodostaa trendi ja havaita mahdolliset poikkeamat.

11 SÄHKÖNLAATUMITTAUS

Mittauksissa käytettiin Kyoritsu KEW 6310 -sähkölaatuanalysointilaitetta (Kuva 18). Mittarilla voidaan mitata 12 erilaista tehomittausmuotoa. Mittari on hyvin yksinkertainen käyttää ja mittauksien tulokset voidaan näyttää ja tallentaa laitteen muistikortille. Muistista kuvat voidaan siirtää USB-kaapelilla tietokoneelle ja niitä voidaan tutkia käyttäen laitteen mukana tulevaa PQA Master -sovellusta.



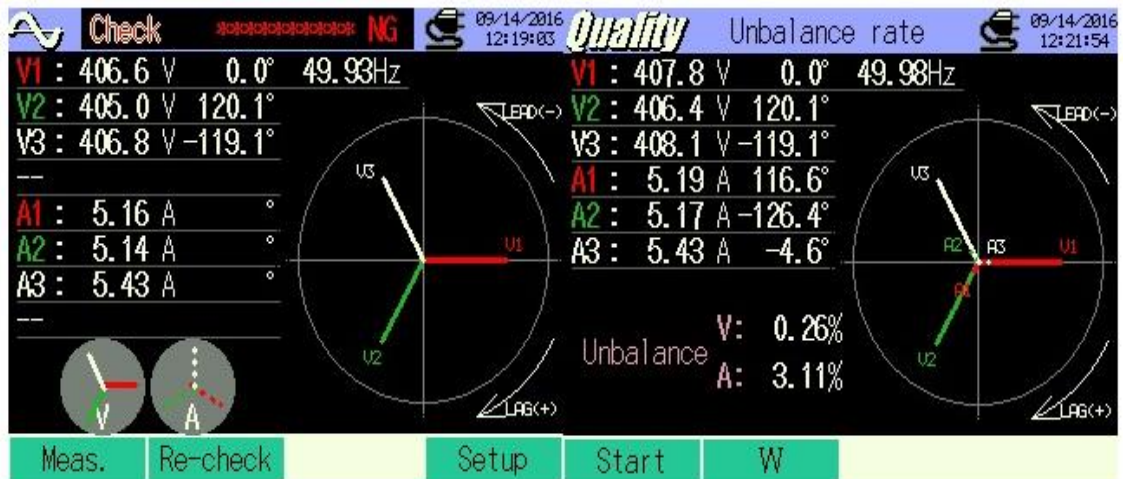
Kuva 18. KEW 6310 (Elektrotukku 2015b).

Mittaukset voi tehdä käyttämällä laitteen mukana tulevia pihtivirta-antureita sekä jännitteen mittaukseen laitteelle suunniteltuja mittausjohtimia. Analysointilaitteen päässä on selkeät merkinnät johtimien kytkentään (Kuva 19).



Kuva 19. KEW 6310 päältä päin katsottuna, pihtivirta-anturit sekä mittausjohtimet (Elektrotukku 2015a, 3, 6).

Mittaukset tehtiin ensin normaalisti käyväälle moottorille. Pihtivirta-anturit sijoitettiin mittauslaatikon johtimien ympärille ja jännitteen mittausjohtimet mittauslaatikon johtimien päihin. Moottori käynnistettiin ja mittauksien tulokset kuvattiin.



Kuvio 12. Kolmivaiheisen moottorin mittaukset.

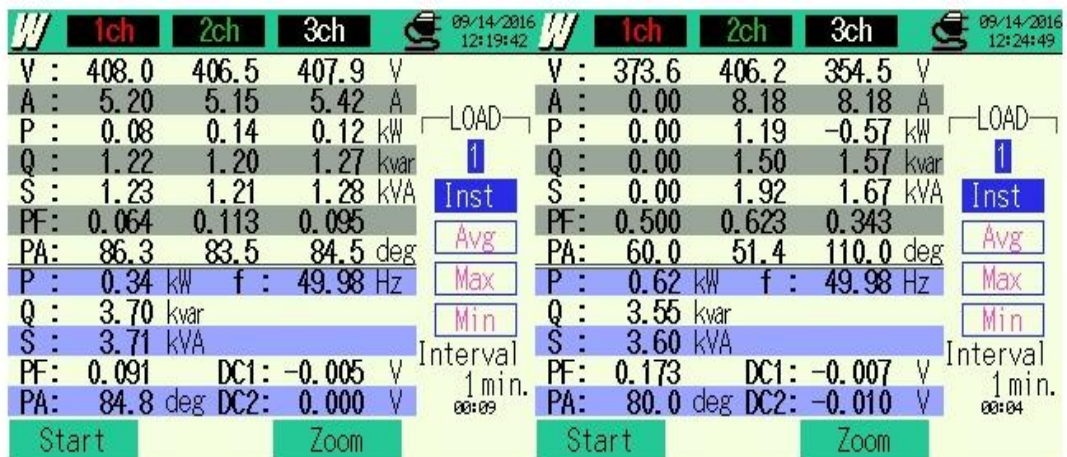
Kuten tuloksista nähdään (Kuvio 12), ovat kaikkien vaiheiden jännitteet noin 400 voltia. Vaihekulmat ovat noin 120 asteen päässä toisistaan, pieni poikkeama voidaan olettaa johtuvan kytkennän liittimistä. Tuloksista voidaan päätellä, että virran vaihekulmat eivät ole oikeilla paikoillaan. Symmetrisessä kytkennässä virran vaihekulmien tulisi olla 90 astetta jännitteen vaihekulmia edellä, mittauksissa vaihekulmat ovat noin 115 astetta edellä. Tulosten voidaan olettaa johtuvan kytkennän mahdollisesta epäsymmetrisyydestä johtuen komponenttien liittimistä. Tämän lisäksi voidaan havaita, että jännitteen epäsymmetria on 0,26 prosenttia, jolloin virran epäsymmetria on aiemman teorian ja nyt myös käytännön kautta noin kymmenkertainen, 3,11 prosenttia.

Mittausten jälkeen moottorin vikaantumismekanismi kytkettiin päälle, jolloin yksi vaihe tiputettiin jälleen pois kytkennältä. Tämän jälkeen mittaukset uusittiin ja tulokset kuvattiin.



Kuvio 13. Kaksivaiheisen moottorin mittaukset.

Kuten kuvasta (Kuvio 13) voidaan havaita, ovat jännitteiden arvot muuttuneet yhden vaiheen poistuttua kytkennästä. Myös jännitteiden väliset vaihekulmat ovat muuttuneet. Jännitteiden epäsymmetria on kasvanut 8,08 prosenttiin. Koska virran epäsymmetria on noin kymmenkertainen jännitteen epäsymmetriaan verrattuna, voidaan samankaltaisessa tilanteessa jännite-epäsymmetriasta päätellä yhden vaiheen irronneen virtapiiristä. Virroissa kaikki ensimmäisen vaiheen virta on siirtynyt kahdelle jäljelle jääneelle vaiheelle. Tämä aiheuttaa jo kuormattomalle moottorille virran nousun lähelle moottorin nimellisvirtaa, 11,5 ampeeria. Kuormallisena virrat todennäköisesti nousisivat yli tästä ja mahdollisesti aiheuttaisivat vakavia vaurioita. Koska kaikki virta on siirtynyt kahdelle vaiheelle, ovat virtojen vaihekulmat siirtyneet 180 asteen päähän toisistaan.



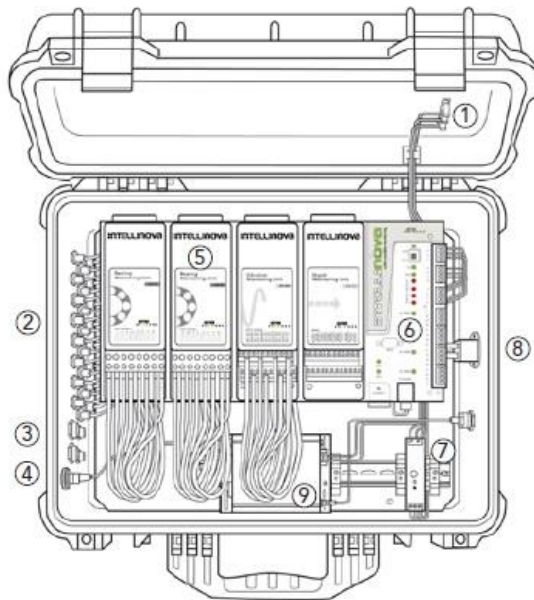
Kuvio 14. Tehollisarvojen vertailu.

Tehollisarvoja vertaillaessa (Kuvio 14), huomataan näennäistehon S laskeneen 0,11 kVA. Näennäistehon lasku johtuu loistehon Q 0,15kvar: n laskusta ja pätötehon P 0,28 kW: n noususta. Näennäisteho koostuu toiseen potenssiin korotettujen loistehon ja pätötehon yhteenlasketusta neliöstä. Pätötehon kasvulla on suora seuraus moottorin lämpötilan nousuun, joka todettiin lämpökuvauksen yhteydessä. Tämän lisäksi tehokerroin P_f on muuttunut, johtuen pätötehon ja näennäistehon suhteen muuttumisesta.

12 VÄRÄHTELYMITTAUKSET JA NIIDEN TULKINTA

12.1 Mittauslaitteisto

Värähtelymittaukset tehtiin eri moottorille kuin lämpökuvaus sekä epäsymmetriamittaukset. Mittauslaitteisto oli valmiiksi asennettu moottorille sähkövoimalaboratoriossa. Mittauksissa käytettiin SPM Intellinova-merkkistä, puolikiinteää mittauslaitteistoa (Kuva 20). Mittauslaitteistossa anturit ovat kiinteästi asennetut ja laitteisto on kannettavaa mallia. Liitteestä 1 löytyvät värähtelymittalaitteistossa käytettävän sovelluksen käyttöohjeet rajattiin pois opinnäytetyöstä.



- | | | |
|--------------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| 1. Status LED indicators | 4. Network connector | 7. Power supply unit |
| 2. Transducer inputs | 5. Monitoring units | 8. Power supply inlet with switch |
| 3. Cable inlets | 6. Commander Unit INC40 | 9. Wireless 3G router |

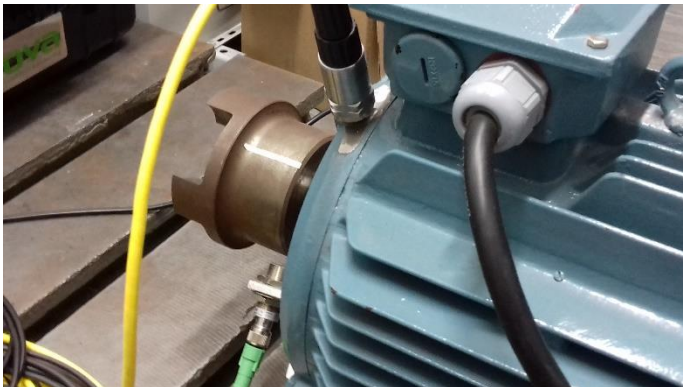
Kuva 20. SPM Intellinovan komponentit (SPM 2011, 11).

Yllä olevasta kuvasta nähdään mittauslaitteiston komponentit. Monitorointiyksiköt ovat laakereiden ja värähtelyn monitorointiyksiköt sekä analoginen monitorointi ja analoginen lähtö (Kuva 21). Mittauksia tehdessä näistä olivat käytössä laakereiden sekä värähtelyn monitorointiyksiköt.



Kuva 21. SPM Intellinova

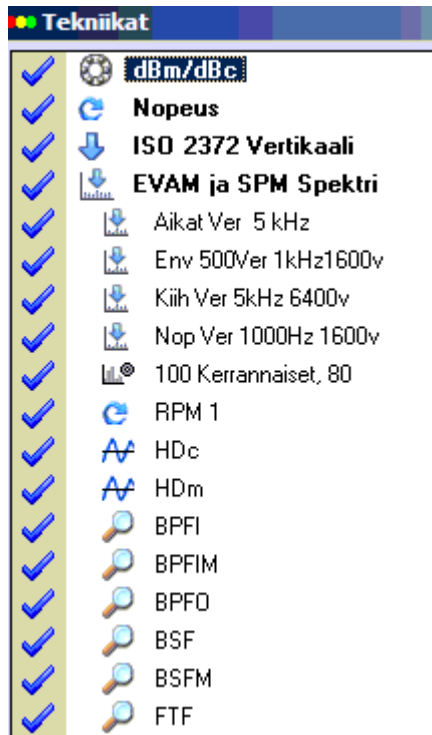
Antureina mittauksissa käytettiin laitteiston mukana tulevaa SPM Intellinovan 42000 sarjan iskusysäysanturia sekä SLD144B kiihtyvyyssanturia. Iskusysäysanturi kiinnitetään upottamalla laakeripesään ja kiihtyvyyssanturi kiinnitetään sopivan matkan päähän moottorin akselista (Kuva 22).



Kuva 22. Värähtelymittauksen anturit.

12.2 Mittaukset

Mittausten analysointi tapahtui SPM: n omalla Condmaster Nova sovelluksella. Ohjelma on suhteellisen yksinkertainen käyttää ja se tarjoaa laajan kattauksen erilaisia mittaussignaalin analyysijä. Alla on kuva ohjelmassa käytössä olleista mittaustekniikoista (Kuva 23).



Kuva 23. Tekniikat

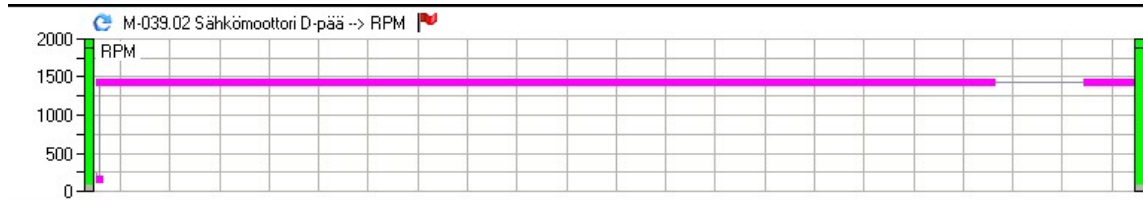
Kuten nähdään, erilaisia mitattavia muuttujia on paljon, mutta sähkömoottorin mittauksessa tärkeimmät mittauskohdeet ovat dBm/dBc, BPFi, BPFIM, BPFO, HDc sekä HDm. Mittauksia tehdessä pystytään mittaustuloksia tarkastelemaan trendistä ja yksittäistä mittausta pystyy tarkastelemaan tarkemmin spektristä.

Selitys lyhenteistä:

- dBm/ dBc - Iskusysäysmittaus, joka mittaa iskun matto- (dBc) sekä maksimiarvoja (dBm).
- HDc - High Definition Carpet - mattoarvo, havainnoi keskimääräisesti iskujen voimakkuuden ja siitä voidaan päätellä voitelun taso.
- HDm - High Definition Maximum – kuvaa suurinta iskua mittauksen aikana.
- BPFO - Ball Pass Frequency Outer race – kertoo laakerin ulkokehän vauriosta.
- BPFi - Ball Pass Frequency Inner race – kertoo laakerin sisäkehän vauriosta.
- BPFIM - Ball Pass Frequency Modulation, Inner race – kertoo laakerin sisäkehän vauriosta, mutta keskittyy enemmän sivunauhojen havaitsemiseen.

Kohteille on olemassa useita eri analysointitapoja. Kaikissa mittauksissa tulokset on otettu viimeisen kolmen viikon ajalta ja kaikissa mittauksissa voidaan havaita

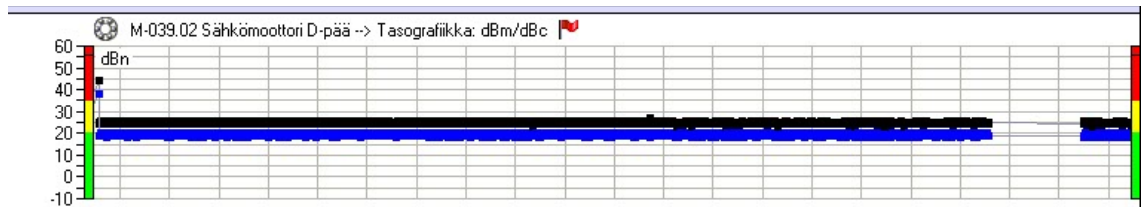
noin kahden päivän mittainen tuloksien puutos, johtuen viikonlopun aikana sattuneesta sähkökatkosta. Moottoriin sijoitetut anturit sijaitsevat moottorin D-päässä, joten kaikki mittaustulokset on myös otettu moottorin akselin puolisesta päästä. Ensimmäinen mittaus osoittaa moottorin kierrosnopeutta (Kuvio 15).



Kuvio 15. Kierrosnopeus.

Kuvasta (Kuvio 15) voidaan havaita moottorin kierrosnopeuden olevan hieman alle 1500 kierrosta minuutissa (1493) ja mittauksen aloituksen ajankohtana on tapahtunut käynnistyminen, joka tulee näkymään tulevissa mittauksissa.

Kun tehdään dBm/ dBc analysointia, tapahtuu analyysi pietsosähköisen kiihtyvyyssanturin normalisoidun arvon vertauksena.



Kuvio 16. dBm/ dBc analyysi.

Tuloksista (Kuvio 16) voidaan päätellä laakerien olevan iskusysäysmittauksen perusteella olevan kunnossa, sillä trendissä ei näy poikkeamia lukuun ottamatta alussa tapahtunutta iskua. Kierrosnopeuden mittauksia vertaillen voidaan todeta iskujen johtuneen moottorin käynnistämisestä.

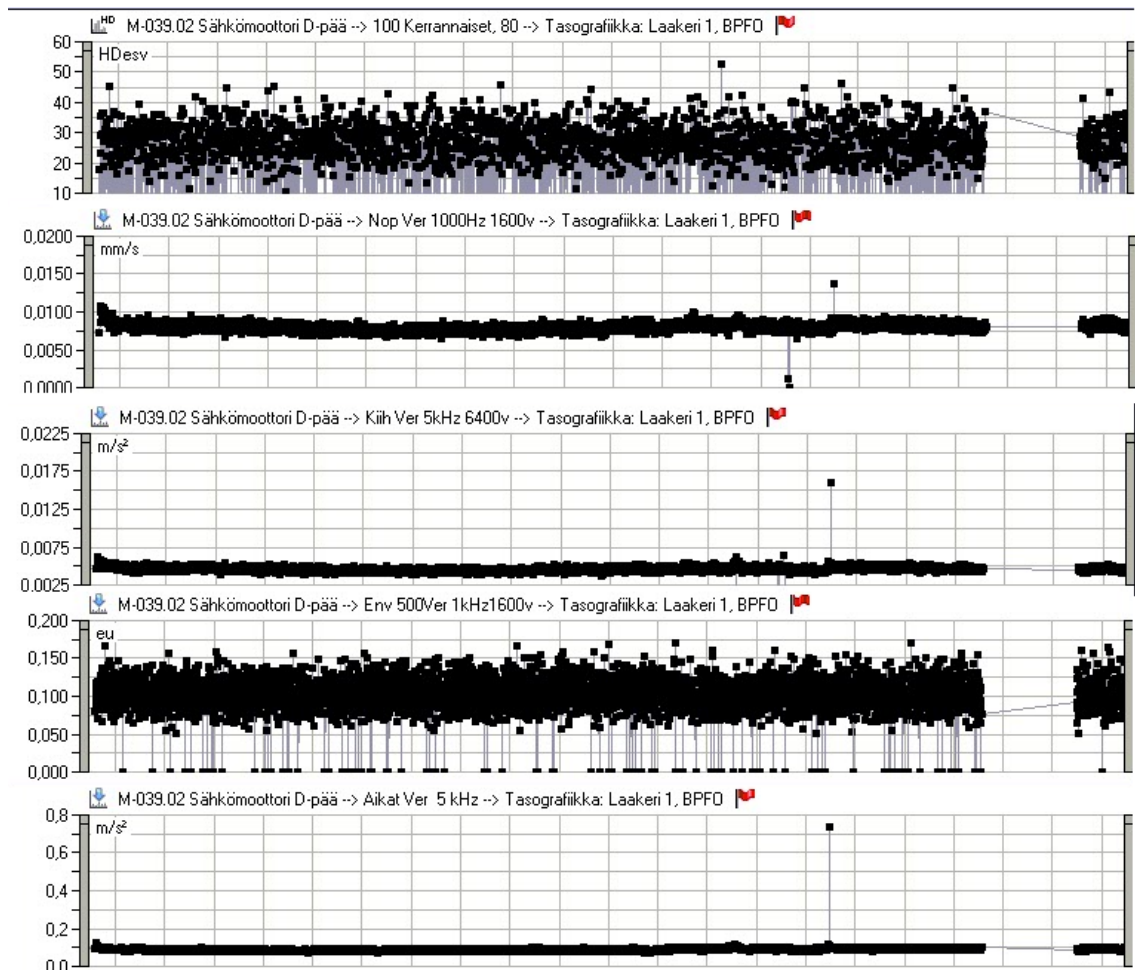
Seuraavaksi tehdään HDm/ HDc analyysi



Kuvio 17. HDm/ HDc analyysi

Kuten tuloksista (Kuvio 17) voidaan päätellä, ei mittauksissa ole havaittu poikkeamia ja spektrianalyysi ei ole tarpeellinen.

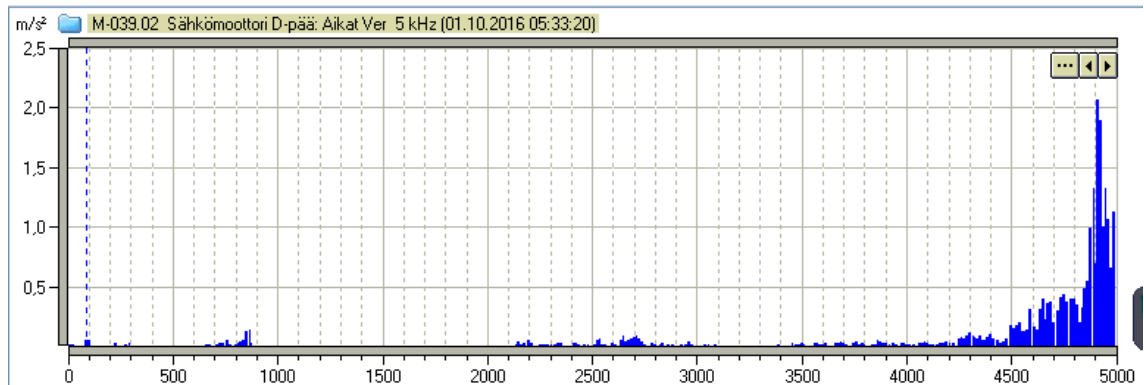
Seuraavaksi siirrytään tarkastelemaan laakerin ulkokehän mittauksia eri tekniikoilla.



Kuvio 18. BPF0 analyysi.

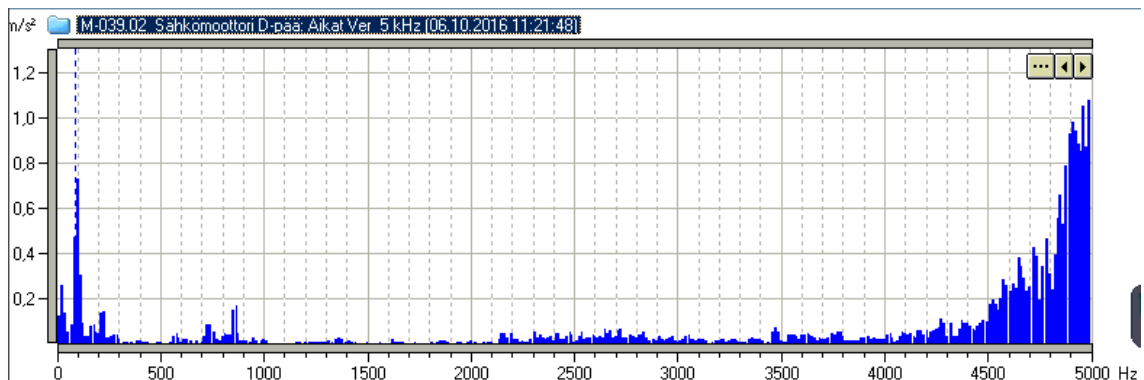
Analyysit tehtiin eri menetelmillä, joista voidaan selvästi huomata poikkeama tuloksissa (Kuvio 18). Koska poikkeama on suuri eikä toistu, voidaan olettaa ulkopuolisten voimien olevan kyseessä. Siirrytään kuitenkin tarkastelemaan

poikkeamaa tarkemmin spektrianalyysillä. Valitaan ensin aikajanalta normaali tulos. Tulos otettiin sattumanvaraisesti seuraavasti (Kuvio 19).



Kuvio 19. Normaali spektrijakauma.

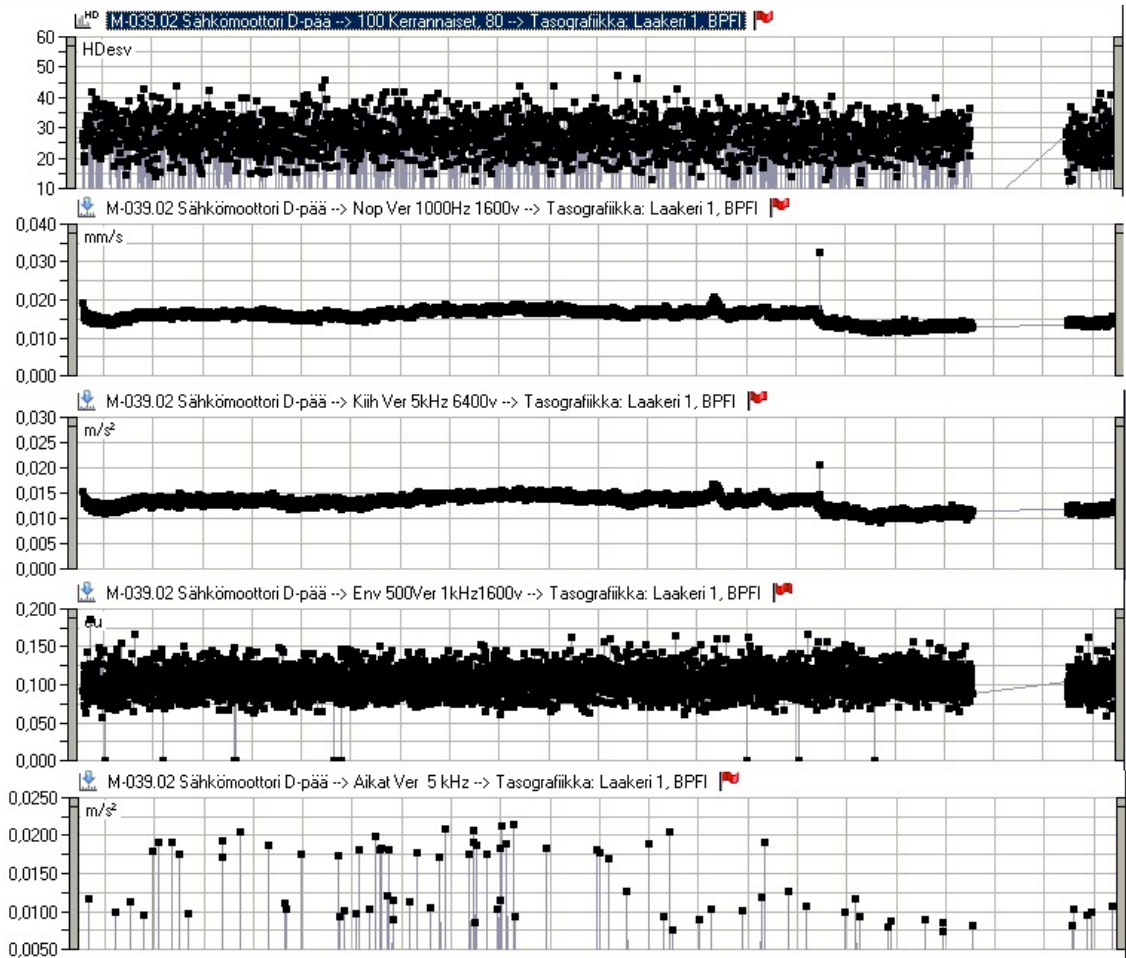
Kuvasta (Kuvio 19) voidaan nähdä värähtelyn kasvua 5 KHz taajuudella ja sen ympäristössä. Siirrytään tarkastelemaan vikapaikkaa (Kuvio 20).



Kuvio 20. Iskun ajankohdan spektri.

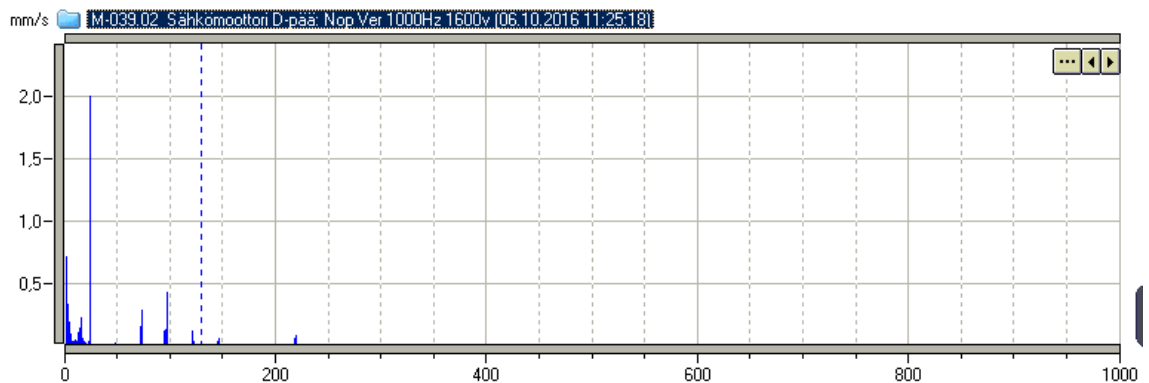
Tuloksista (Kuvio 20) voidaan havaita piikkejä syöttötaajuuden monikerralla 100 Hertissä. Koska vika ei toistu mittauksissa, voidaan olettaa piikin johtuneen moottorin heilahtamisesta.

Seuraavaksi siirrytään tarkastelemaan laakerin sisäkehän analyysijä.



Kuvio 21. BPF analyysi

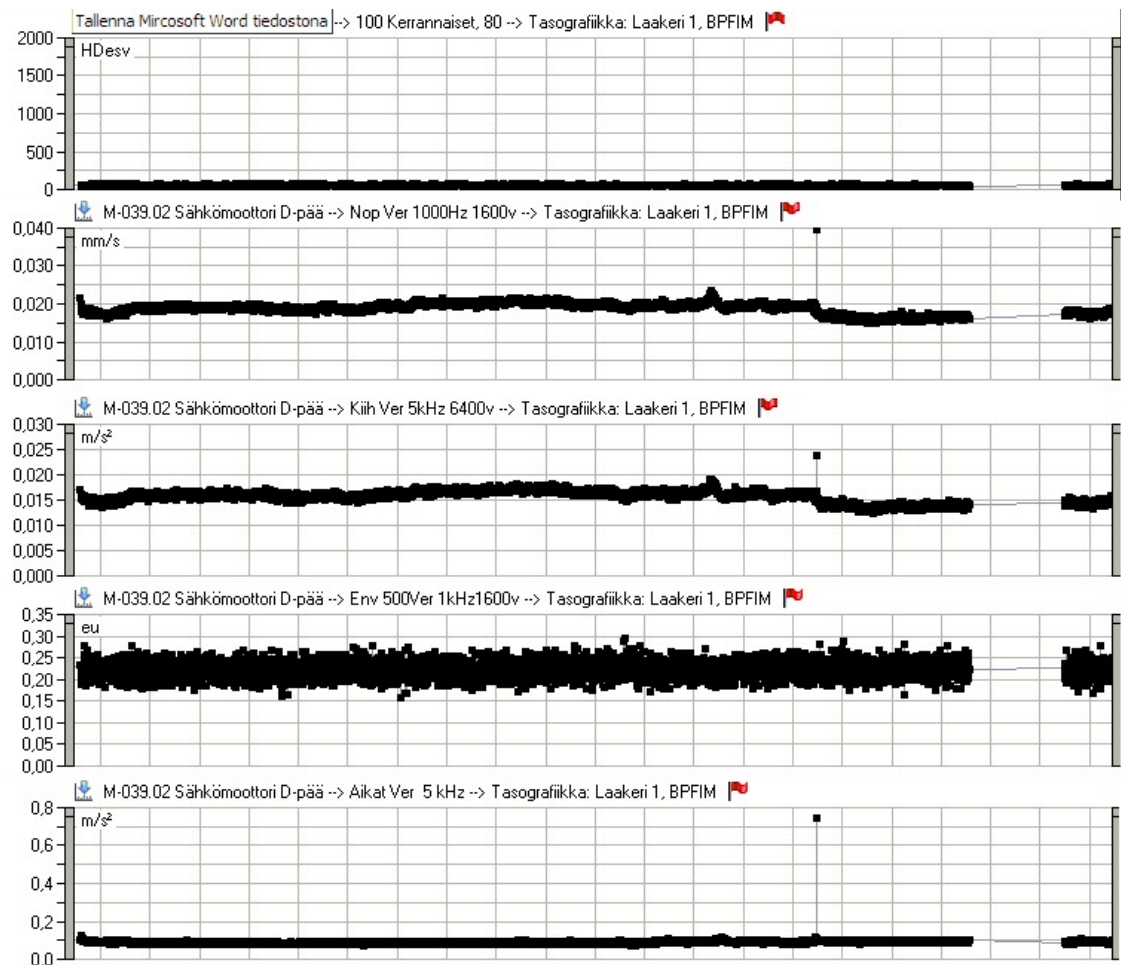
Tuloksista (Kuvio 21) voidaan havaita sama poikkeama myös sisäkehällä. Muita poikkeamia trendistä ei löydy. Siirrytään spektrianalyysiin (Kuvio 22).



Kuvio 22. Sisäkehän spektrianalyysi.

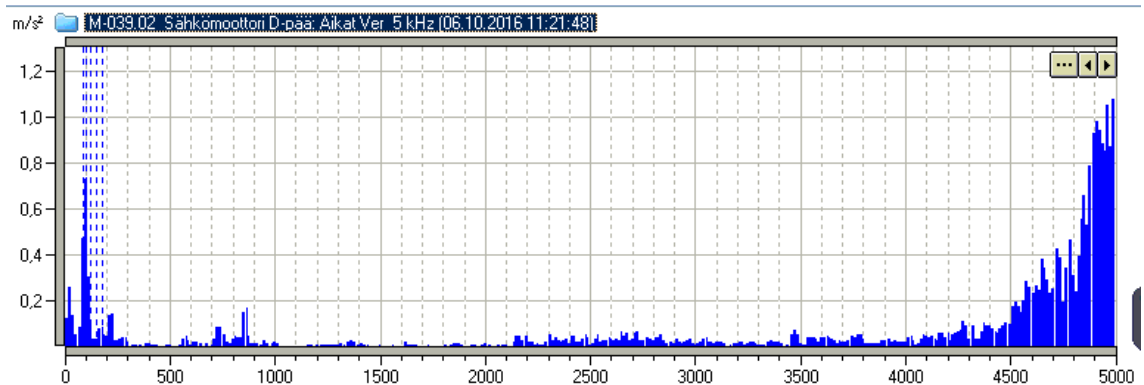
Tutkittaessa sisäkehän spektrejä iskun ajankohdalta, ainoa poikkeama, mikä spektrien avulla voitiin määrittää, oli värähtelyn puute 25 Hertsin ja sitä alemmilla taajuuksilla iskun aikana.

Lopuksi siirrytään sisäkehän sivunauhojen havainnointiin.



Kuvio 23. BPFIM analyysi.

Mittaustulosten trendien perusteella (Kuvio 23) voidaan jälleen päätellä laakerien olevan ehjät ja ainoa poikkeama tuloksissa on aiemmin havaittu isku. Siirrytään jälleen spektrianalyysiin (Kuvio 24).



Kuvio 24. Sisäkehän sivunauhojen spektri.

Eri tekniikoiden spektrejä tutkittaessa voitiin havaita jälleen värähtelyn kasvua syöttöjännitteen monikerrassa.

Mittaustuloksista voidaan päätellä moottorin ja sen laakerien olevan kunnossa. Mittauksissa havaittiin vain yksi varteenotettava poikkeama ja koska tämä ei koskaan toistunut, voidaan sen olettaa johtuneen ulkopuolisista tekijöistä. Koska mittaukset tehtiin täysin toimivalle moottorille, ei analysointeja eri vioille voida tehdä.

13 POHDINTA

Opinnäytetyö tehtiin Lapin ammattikorkeakoululle. Opinnäytetyön tavoite oli suunnitella ja rakentaa suora moottorilähtö, johon lisättiin vikaantumismekanismi. Viallista moottorilähtöä oli tarkoitus tutkia eri kunnonvalvontamenetelmillä.

Opinnäytetyössä käytiin läpi oikosulkumoottorin rakennetta sekä teoriaa. Tämän lisäksi tutustuttiin erilaisiin kunnossapitostrategioihin sekä kunnonvalvontaan. Kunnonvalvonnassa käytiin läpi erilaisia valvontamenetelmiä ja esitettiin siinä käytettävää laitteistoa.

Moottorilähtö vikamekanismeineen rakennettiin ja otettiin käyttöön. Moottorilähdölle suoritettiin kunnonvalvontaa lämpökuvauksen sekä sähkönlaatumittauksien avulla moottorin ollessa täysin ehjä sekä vikamekanismin laukauksen jälkeen. Tämän lisäksi tutustuttiin värähtelymittalaitteistoon sekä laadittiin käyttöohjeet mittauksien tekoa varten.

Mittaustulosten perusteella todettiin lämpökuvauksen sekä sähkönlaatumittauksen olevan hyviä keinoja oikosulkumoottorin kunnonvalvontaan. Vikamekanismin laukaisun jälkeen voitiin kummallakin menetelmällä selvästi huomata oikosulkumoottorin toimintakunnon heikentyminen.

Värähtelymittauksiin tutustuttiin ja saatiin selvät tulokset analysointiin. Koska tarkkailtava moottori oli täysin toimintakuntoinen, ei haluttuja tuloksia vikaantuneesta moottorista saatu käytännön mittaustuloksissa. Käyttöohjeet etäkäytettävään värähtelymittaukseen saatiin tehtyä.

Opinnäytetyön aikana rakennettua moottorilähtöä sekä värähtelymittauksen käyttöohjeita voidaan käyttää tulevilla sähkövoimatekniikan kursseilla opetusvälineinä. Kehitettävääkin opinnäytetyöhön jäi. Moottorilähdölle olisi hyvä saada kuormaa, jolloin mittaustulokset olisivat käytännöllisempiä.

Opinnäytetyö oli mielenkiintoinen ja opettava. Olen ollut tyytyväinen opinnäytetyön aiheeseen ja se on antanut minulle hyvin paljon arvokasta tietoa oikosulkumoottorien kunnossapidosta ja kunnonvalvonnasta.

LÄHTEET

ABB 2005. Johdonsuojakatkaisijat. Viitattu 22.9.2016.

<http://www.abb.fi/product/seitp329/8c16451a2018a302c1256ffe004a1de3.aspx>

ABB 2015a. Kontaktorit. Viitattu 22.9.2016.

<http://www.abb.fi/product/seitp329/128d98e5090f7cf8c1256ffe00467199.aspx?productLanguage=fi&country=FI>

ABB 2011. Kytkinvarokkeet. Viitattu 22.9.2016.

<https://library.e.abb.com/public/9fcbf3e70cfea5bcc12578a80017dba9/1SCC311014C1801.pdf>

ABB 2015b. Lämpöreleet. Viitattu 22.9.2016.

<http://www.abb.fi/product/seitp329/3a6d410be311cdfec1256ffe00467f2c.aspx?productLanguage=fi&country=FI>

Elektrotukku 2015a. Kyoritsu KEW 6310 esite. Viitattu 4.10.2016.

<http://www.elektrotukku.fi/esitteet/6310E.pdf>

Elektrotukku 2015b. Varastoitavat uutuudet. KEW 6310. Viitattu 4.10.2016.

<http://www.elektrotukku.fi/varastoitavat/uutuudet.htm>

Energiateollisuus 2015. Energiavuosi 2015. Viitattu 5.9.2016.

<http://energia.fi/ajankohtaista/lehdistotiedotteet/sahkontuotannon-hiilidioksidipaastot-ennatysalas>

Flir 2016. Flir lämpökamerat. Viitattu 4.10.2016.

<http://www.flir.com.hk/instruments/display/?id=65813>

Korpinen, L. 1998a. Sähkövoimatekniikkaopus. Osa 10, sähkökoneet. Viitattu 7.9.2016.

http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/10sahkokoneet_1osa.pdf

Korpinen, L. 1998b. Sähkövoimatekniikkaopus. Liite 1. Viitattu 15.11.2016

http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/liite1.pdf

Kortelainen, A. 2009. Sähkömoottorin hyötysuhteella on väliä. Viitattu 23.9.2016.

<http://www.abb.fi/cawp/seitp202/9324577570fc2313c125765e002bfcd2.aspx>

Kyoritsu 2015. Sähkönlaatumittari KEW 6310. Viitattu 4.10.2016.

<http://www.kew-ltd.co.jp/en/products/detail/00099/>

Mikkonen, H., Miettinen, J., Leinonen, P., Jantunen, E., Kokko, V., Riutta, E., Sulo, P., Komonen, K., Lumme, V., Kautto, J., Heinonen, K., Lakka, S. & Mäkeläinen, R. 2009. Promaint, kuntoon perustuva kunnossapito. Helsinki. KP-Media Oy.

Mäkinen, M. & Kallio, R. 2004. Teollisuuden sähköasennukset. Keuruu. Otava.

Raunio, H. 2012. ABB odottaa jo toista vahvaa vuotta. Tekniikkatalous 16.2.2012. Viitattu 7.9.2016.
<http://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/energia/2012-02-16/ABB-odottaa-jo-toista-vahvaa-vuotta-3307620.html>

Salenius, V. 2012. Sähkökoneiden vikaantumisen havainnointi. Metropolia ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

SPM 2011. Intellinova online condition monitoring technical data sheet. Tekninen esite.

SPM 2015. Intellinova Portable. Viitattu 5.10.2016.
<http://www.spminstrument.com/Products/Continuous-monitoring/Intellinova/Portable/>

SFS- 16 2003. Moottorikeskukset ja ohjelmoitavat ohjaukset. Vakiosovelluksia enintään 1000V moottorikäyttöille. Helsinki. SFS.

The Department of Energy Fundamentals Handbook 2007. Electrical Science. Viitattu 22.11.2016. http://knowledgepublications.com/doe/doe_electrical_science_web_educational_textbook_solar_hydrogen_fuel_cells.htm

UTU 2011. Johdonsuojakatkaisijat. Viitattu 22.9.2016.
<http://www.utu.eu/sites/default/files/attachments/johdonsuojakatkaisijat-tekniset-tiedot-11fi0211.pdf>

LIITTEET

Liite 1. Värähtelymittauksen ohje