



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Joni Seppälinna

OIKOSULKUMOOTTORIN
TUOTANNONAIKAISTEN VIKOJEN
KORJAUSOPAS

Tekniikka ja liikenne
2014

Alkusanat

Tämä opinnäytetyö on tehty ABB Oy, Moottorit ja Generaattorit-tuotantoyksikköön Vaasan tehtaalle, Vaasan ammattikorkeakoulun tekniikka- ja liikenneyksikön kone- ja tuotantotekniikan linjalla vuonna 2014.

Tämän työn ajatuksena on luoda yrityksen tuotantolinjojen käyttöön korjausopas oikosulkumoottorin yleisimpien vikojen korjaamiseen.

Työtä valvoivat yrityksen puolelta laatuinsinööri Jukka Kantoniemi sekä oppilaitoksen puolelta lehtori Pertti Lindberg.

Tahdon kiittää työpaikan henkilöstöä tuesta sekä erityisesti luokkatovereita, opettajia sekä perhettäni jaksamisesta.

Vaasa 15.04.2014

Joni Seppälä

SISÄLLYS

SISÄLLYS	3
TIIVISTELMÄ	5
ABSTRACT	6
1 JOHDANTO	10
1.1 Työn taustat	10
1.2 Työn rajaukset	11
2 YRITYSESITTELY	12
3 OIKOSULKUMOOTTORIN TOIMINTAPERIAATE	14
4 TUOTTEET	16
5 VALMISTUS JA TYÖVAIHEET	17
5.1 Komponenttien valmistus	17
5.2 Kokoonpano	18
5.3 Runkoonpuristus	19
5.4 Liitântä	23
5.5 Kokoonpano	24
5.5.1 Roottorin asennus	24
5.5.2 Laakerikilpien ja laakeroinnin asennus	25
5.5.3 Laakereiden voitelu	25
5.6 Rutiinitestaus	26
5.7 Maalaus	26
5.8 Lopputäydennys	27
6 YLEISIMMÄT VIKATYYPIT JA NIIDEN ESIINTYVYYS	28
6.1 Laatupoikkeamat 2013	31
6.2 Virheellinen tieto 2013	32

7	YLEISIMMÄT KORJATTAVAT VIKATYYPIT TOP 10	34
7.1	I ₀ eli tyhjäkäyntivirta.....	35
7.1.1	Vaihe-ero.....	35
7.1.2	Roottorin asemointi staattoriin nähden	37
7.1.3	Ilmarakovika	37
7.1.4	Muut mahdolliset viat	37
7.1.5	Mittausvirhe	38
7.2	I _{km} eli oikosulkuvirta.....	39
7.3	Kytkevävirhe.....	43
7.4	Maasulku.....	44
7.5	Lisälaittevirhe.....	46
7.6	Tärinä	47
7.6.1	Sähköinen tärinä.....	50
7.6.2	Mekaaninen tärinä.....	53
7.7	Liitäntävirhe	56
7.8	Eristysvastus	57
7.9	Vaihesulku	59
7.10	Vastusvirhe	60
7.10.1	Vaihevastusero	60
7.10.2	Vaihevastusten poikkeama laskelmasta	61
8	KEHITYSIDEOITA.....	62
8.1	Korjaavien toimenpiteiden dokumentointi	62
8.2	Vikoihin reagointi	62
8.3	Pysäytetty lapun kehitys	62
8.4	Korjaustyöpisteen työkalut	63
8.5	Korjaushenkilöstön koulutus	65
8.6	Korjaussolun perustaminen.....	65
9	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	66
	LÄHTEET.....	67
	LIITE.....	1

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Joni Seppälina		
Opinnäytetyön nimi	Oikosulkumoottorin korjausopas	tuotannonaikaisten	vikojen
Vuosi	2014		
Kieli	suomi		
Sivumäärä	67 + 1 liitettä		
Ohjaaja	Pertti Lindberg		

Tämän opinnäytetyön aiheena oli tuottaa sähkömoottoreita valmistavaan yritykseen tuotannonaikaisiin vikoihin korjausopas, joka palvelee tuotannon ja laatuosaston henkilöstöä. Opinnäytetyössä käsitellään pääasiassa sellaisia vikoja, joita esiintyy riittävän usein, jotta tämänkaltainen korjausopas olisi mielekäs tehdä ja käyttää. Työn tarkoituksena ei ollut mennä liian yksityiskohtaisiin ongelmiin, joita esiintyy vain tietyissä tuotteissa.

Tämä työ eteni pikkuhiljaa keräten ajatuksia ja materiaalia syksyn 2013 ajan. Tutustuin valmistuksen työhajeisiin ja keskustelin kollegojen kanssa aiheesta.

Työssä koottiin yhteen erilaisia vikoja, niiden juurisyitä sekä ratkaisumalleja niiden korjaamiseksi tai tutkimiseksi. Yksi syy tämän opinnäytetyön tarpeeseen ilmeni yrityksessä lähinnä siten, että se tietotaito ja työtavat mitkä liittyivät tuotannonaikaisten vikojen analysointiin ja korjaamiseen oli jäänyt kirjaamatta ylös esim. työhajeena kun vastaavasti muista työvaiheista sellaiset ovat olemassa.

Avainsanat

korjaaminen, tuotanto, laatu

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Kone- ja tuotantotekniikka

ABSTRACT

Author	Joni Seppälä
Title	Repair Manual for Defects Found during Production of Squirrel Cage Motors
Year	2014
Language	Finnish
Pages	67 +1 appendix
Name of Supervisor	Pertti Lindberg

The subject of this thesis was to create a repair manual for defects found in electric motors during the manufacturing process. The purpose of this repair manual was to serve production personnel and the quality department.

This thesis was prepared during autumn 2013 by gathering material. The working instructions were studied and workers were interviewed to get information about on the subject.

This thesis mainly studies the defects found often enough to make this manual necessary to write as well as use. This Manual compiles the defects their root causes and solutions for repairing and studying the defects. One of the reasons to write this manual was a need to gather the information which the personnel had as well as the working instructions. No working instructions were actually written for this work as they exist in other phases of work.

Keywords repairing, production, quality

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Oikosulkumoottorin rakenne.	15
Kuva 2. Esimerkki E-mitasta mittapiirustuksessa.	19
Kuva 3 . Puristusvaiheessa huomioitavat voimat.	20
Kuva 4. Staattorin runkoon puristaminen.	22
Kuva 5. Staattorin liitääntä.	23
Kuva 6. Amppi.	23
Kuva 7. Liitinalusta.	24
Kuva 8. Roottorin asennus.	25
Kuva 9. Huonosti puristettu liitos.	36
Kuva 10. Toisioaaltotesteri TIG winding analyzer.	40
Kuva 11. Esimerkki valuvikaisen ja kierrossulun heijasteesta.	40
Kuva 12. Oikosulkukoe.	42
Kuva 13. Esimerkki maasulkuheijasteesta.	45
Kuva 14. Eristystesteri.	45
Kuva 15. Termistori.	46
Kuva 16. Tärinämittauskohdat.	48
Kuva 17. Symmetrinen ilmarako.	50
Kuva 18. Epäsymmetrinen ilmarako.	51
Kuva 19. Roottorin sauva merkittynä nuolella.	52
Kuva 20. Laakerin poikkileikkaus ja voimien suunnat.	54
Kuva 21. Mittausjärjestely eristysvastuskokeessa.	57
Kuva 22. Esimerkki vaihesulkuheijasteesta.	59
Kuva 23. Pysäytetty lappu.	63
Taulukko 1. Kokoonpanolinjalta kirjatut notifikaatiot vuodelta 2013.	30
Taulukko 2. Hyväksymisrajat.	49
Taulukko 3. Eristysvastuksen raja-arvot.	58

LIITELUETTELO

LIITE Korjausopas

LYHENTEET JA KÄSITTEET

ABB	Asea Brown Boweri
ERP	Enterprise Resource Planning, yrityksen toiminnanohjausjärjestelmä
SAP	System Analysis and Program Development, yrityksen toiminnanohjausohjelmisto
MM	Rakennuksen nimi Strömberg parkissa
KK	Rakennuksen nimi Strömberg parkissa
71-450	Runkokoot
IEC	International Electro technical Commission, kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio
I_0	Mitattu tyhjäkäyntivirta
I_{0e}	Tyhjäkäyntivirran odotusarvo
U_0	Tyhjäkäyntijännite
P_0	Tyhjäkäyntiteho
U_{km}	Oikosulkujännite
I_{km}	Mitattu oikosulkuvirta
I_{kme}	Oikosulkuvirran odotusarvo
R_{16}	Vaihevastus
Ex	Nimitys räjähdysvaaralisiin tiloihin suunnitelluille tuotteille
MES	Manufacturing Execution System, tuotannonohjausohjelmisto
Laskelma	Moottorin sähköinen mitoitus

1 JOHDANTO

1.1 Työn taustat

Tässä opinnäytetyössä pääosin käsitellään yleisimpiä vikoja, joita esiintyy moottoreissa tuotantolinjoilla. Ajatus tämän työn tekemiseen oli tullut vuosien mittaan, kun aika-ajoin törmättiin tilanteisiin, joissa valmistusyksikön tuotantolinjalta oli laitettu sivuun viallisia kappaleita. Niiden korjaamiseen vaadittava tieto oli usein melko hajallaan yrityksessä eri henkilöillä.

Yrityksellä on tällä hetkellä toimintaa kahdessa eri rakennuksessa Vaasan Strömberg park-tehdasalueella. Isomman kokoluokan tuotteet valmistetaan MM-rakennuksessa ja pienemmät KK-rakennuksessa. KK-rakennuksessa on päädytty keskittämään korjaustoiminta yhdelle alueelle, kun taas MM-rakennuksessa se on ollut perinteisesti toteutettu siten, että jokaisella tuotantolinjalla on oma korjaussolu.

Tästä johtuen on vuosien mittaan muodostunut erilaisia toimintatapoja korjaamiseen. Myös ihmisten liikkuvuus tuotantolinjojen välillä on ollut näiltä osin sen verran vähäistä, joten tietokaan ei ole liikkunut. Aika monesti on todettu myös, että tieto on ehkä liiaksi ollut kirjaamatonta tietoa.

Tuotteiden lievä erilaisuus on myös ollut jonkinlainen osatekijä toimintakulttuurien muodostumiseen yrityksen sisällä. Korjaamisen tietotaito on pääosin ollut muutamalla avainhenkilöllä, tosin nykyään on jo jonkin verran muodostunut enemmän osaamista linjan sisällä kun on ryhdytty suosimaan moniosaamista ja myös työnantaja on tällä tavoin luonut mahdollisuuden tehtäväkiertoon.

Tämän työn yksi tavoitteista onkin yhtenäistää ja dokumentoida hyvät ja toimivat toimintatapamallit.

1.2 Työn rajaukset

Työn tarkoitus on tarjota niihin ratkaisuja korjausoppaan muodossa. Tämä opinnäytetyö ei käsittele toiminnanohjausjärjestelmään (ERP) liittyviä asioita. Yrityksessä on tällä hetkellä käytössään ERP-järjestelmänä SAP, josta pääosa tiedoista kokoonpanoa varten saadaan, kuten osaluettelot sekä materiaalit.

Lisäksi tämä työ ei myöskään käsittele sellaisia vikoja, jotka ovat niin harvoin tapahtuvia ja johtuvat usean eri tekijän yhteisvaikutuksesta, ettei se ole tämän työn hengen mukaista tai tarkoituksenmukaista. Myöskään kovin syvälle sähkötekniikkaan ei tässä opinnäytetyössä mennä.

2 YRITYSESITTELY

ABB

ABB nykymuotoonsa muodostettiin vuonna 1988 kun yhdistettiin ruotsalainen Asea ja sveitsiläinen Brown Boveri. ABB on johtava sähkövoima- ja automaatioteknologiayhtymä, jonka tuotteet, järjestelmät ja palvelut auttavat asiakkaitamme hyödyntämään sähköä tehokkaasti, tuottavasti ja ympäristöystävällisesti./1/

ABB:n availukuja vuonna 2013

- liikevaihto yli 41 miljardia USD
- henkilöstöä 150 000 noin 100 maassa ja kaikilla mantereilla
- tutkimukseen ja tuotekehitykseen vuosittain yli 1,5 miljardia USD.

ABB Suomessa

Vuonna 2013 liikevaihto oli 2,3 miljardia euroa sekä henkilöstöä noin 25 paikkakunnalla 5371. Tehdaskeskittymät Helsingissä, Vaasassa ja Porvoossa. Suomessa ABB:llä on viisi globaalia tuotevastuualuetta, jotka on jaettu divisiooneihin. ABB Motors and Generators kuuluu Discrete Automation and motion-divisioonan./2/

ABB Oy Motors and Generators

Teollisuus kuluttaa kaksi kolmasosaa kaikesta sähköenergiasta, ja kaksi kolmasosaa teollisuuden käyttämästä sähköenergiasta kuluu sähkömoottoreiden pyörittämiseen. Kaikesta maailmalla käytetystä sähköenergiasta sähkömoottorit kuluttavat noin 45 prosenttia.

ABB on edelläkävijä energiatehokkaiden moottoreiden kehittämisessä. Suomen ABB:n Motors and Generators-yksikkö panostaa vahvasti korkean hyötysuhteen moottoreiden ja generaattoreiden tutkimukseen ja tuotekehitykseen. Yksikkö kehittää ja valmistaa moottoreita ja generaattoreita kaikille teollisuudenaloille ja sovelluksiin maailmanlaajuisesti. Tehtaat sijaitsevat Helsingissä ja Vaasassa.

ABB on maailman johtava moottorivalmistaja. Vaasan tehtaalla on maailmanlaajuinen vastuu yhtiön valmistamista räjähdysvaarallisten tilojen pienjännitemoottoreista. Helsingin Pitäjämäellä sijaitsevassa tehtaassa kehitetään ja valmistetaan muun muassa korkeajännitemoottoreita, dieselgeneraattoreita sekä kestopagneettimoottoreita. ABB on maailman johtava tuuliturbiinigenaattorien toimittaja, ja näiden kehitysvastuu on Helsingissä.

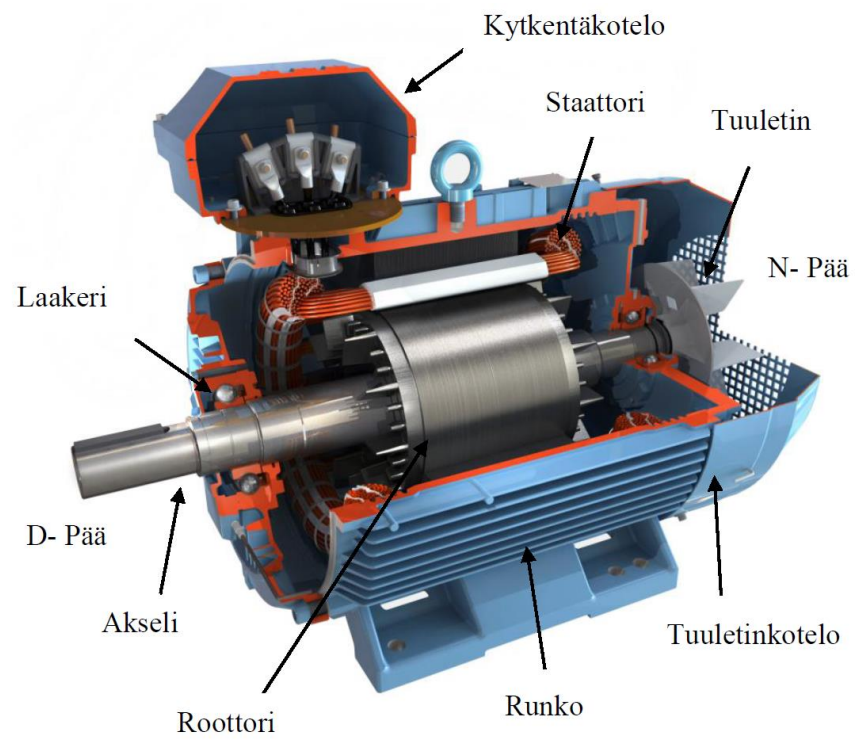
Maailmanlaajuisesti ABB:n moottori- ja generaattoriliiketoiminta työllistää 15 000 henkeä 45 tehtaassa 13 maassa./4/

3 OIKOSULKUMOOTTORIN TOIMINTAPERIAATE

Sähkökoneet muuttavat energiaa muodosta toiseen. Moottorit muuttavat niihin syötettyä sähköenergiaa mekaaniseksi energiaksi ja generaattorit päinvastoin niille antamaa mekaanista energiaa sähköenergiaksi. Useimmat koneet voivat toimia sekä moottorina että generaattorina.

Koneita on useaa eri tyyppiä. Tärkeimmät tyypit ovat epätahti-, tahti- ja tasavirtakoneet. Epätahti- ja tahtikoneet ovat vaihtovirtakoneita, joiden toiminta perustuu pyörivään magneettikenttään koneen sisällä. Jokainen konetyyppi voidaan toteuttaa monella eri tavalla, jolloin niiden ominaisuudet ja rakenne poikkeavat toisistaan. Lisäksi on olemassa lukuisia erikoiskoneita.

Vaikka koneita onkin useaa eri tyyppiä, voidaan kaikista normaalirakenteisista koneista erottaa seuraavat perusosat: pyörivä roottori (pyörijä) akseleineen, staattori (seisoja), laakerikilvet tai laakeripukit (isoilla koneilla) ja laakerit. Roottori on laakereiden varassa staattoriaukossa. Roottorin ja staattorin välissä on ilmarako (ilmaväli) niin, että roottori voi pyöriä vapaasti. Laakerit, jotka voivat olla rulla-, kuula- tai liukulaakereita, on kiinnitetty laakerikilpiin, jotka kannattavat roottoria. Laakerikilvet ovat kiinni staattorissa, joka muodostaa koneen rungon. Staattoriin ja roottoriin on sijoitettu käämitykset, joiden muoto ja rakenne vaihtelevat konetyypin mukaan. Koneissa on yleensä päällä myös liittinotelo, johon syöttökaapelit kytketään. Seuraavassa kuvassa on perusmallisen epätahtimoottorin (oikosulkumoottori) rakenne. **(kuva 1).**/3/



Kuva 1. Oikosulkumoottorin rakenne.

4 TUOTTEET

ABB Motors and Generators valmistaa Vaasan yksikössä sähkömoottoreita sekä generaattoreita asiakkaiden erilaisiin tarpeisiin. Tuotteet eroavat keskenään melkoisesti rakenteellisesti sekä asiakkaiden vaatimusten osalta. Tuotteet eroavat tehonsa perusteella (0.25 kW – 1MW) sekä painonsa suhteen muutaman kymmenen kilon moottoreista yli 5 tonnia painaviin. Moottoreita valmistetaan Vaasan tehtaalla runkokoosta 71 runkokokoon 450 asti. Moottorit eroavat myös erilaisten luokitusten mukaan, joita ovat mm. erilaiset suojausluokat. Eroja löytyy myös mekaanisista ja sähköisistä ominaisuuksista.

Kaikki tuotteet perustuvat kuitenkin samoihin periaatteisiin perustoiminnan osalta. Tämä opinnäytetyö pureutuu niitä peruseriaatteita hyväksikäyttäen erilaisiin vikoihin, joita esiintyy valmistuslinjoilla varsinkin rutiinitestauksen yhteydessä, jossa suurin osa vioista tuleeekin ilmi.

5 VALMISTUS JA TYÖVAIHEET

5.1 Komponenttien valmistus

ABB Motors and Generators Vaasan yksikössä valmistetaan valmiiden moottorien ja generaattoreiden lisäksi jonkin verran omaa komponenttivalmistusta tukemaan muuta valmistusta. Samaan aikaan on myös paljon komponentti valmistusta, jota hankitaan sitten ulkopuolelta alihankintaverkoston kautta. Omaa komponenttivalmistusta on tehtaalla runkokokojen 280-400 staattorirunkojen koneistusta, suurin osa staattori- ja roottorilevyistä ainakin runkokoot 200-450, jotka irrotetaan sekä uritetaan itse omilla koneilla. Myös roottorit valetaan pääasiassa itse, myös runkokoot 200-450. Staattorikämmintää tapahtuu myös, varsinkin erikoisten staattorien osalta, missä on takana vuosien tietotaitoa ja osaamista. Suurin osa kääminnästä tulee nykyään alihankinnan kautta. Omassa kääminnästä tehdään lähinnä uusien moottorityyppien staattorit ja uudella laskelmalla olevat staattorit. Laskelma on moottorin sähköinen mitoitus.

5.2 Kokoonpano

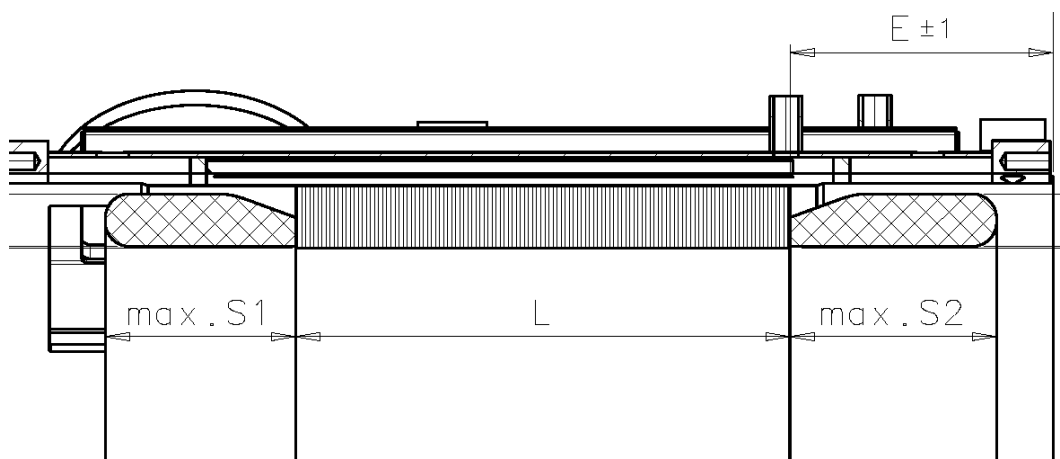
ABB Motors and Generators Vaasan yksikössä kokoonpanoa tapahtuu kahdessa eri rakennuksessa ja kummassakin on muutama valmistuslinja. Kokoonpanon eri vaiheet suoritetaan työkortin tietojen sekä SAPin ja/tai MES-järjestelmän tietojen mukaan hyviä ja turvallisia työtapoja käyttäen. Kaikki työvaiheet suoritetaan voimassaolevien työohjeiden mukaan./5/.

Kokoonpanoprosessi koostuu useammasta eri työvaiheesta, jotka ovat lueteltuna seuraavasti:

- runkoonpuristus
- liitäntä
- kokoonpano
- rutiinitestaus
- maalaus
- lopputäydennys.

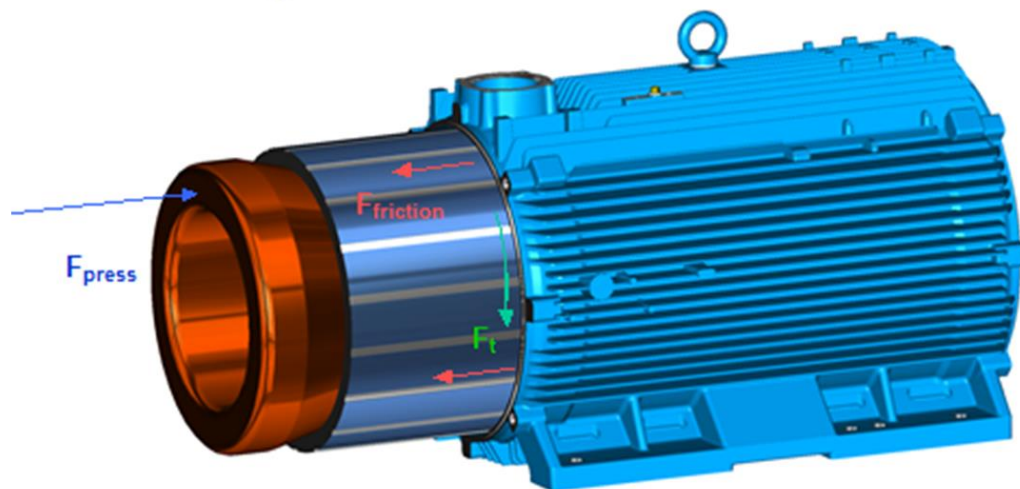
5.3 Runkoonpuristus

Runkoonpuristustyövaiheessa yhdistetään staattorirunko sekä staattoripaketti. Staattoripaketti koostuu uritetuista staattorilevyistä ja päätylevyistä pinottuna. Nämä levyt sidotaan sideraudoin tai hitsataan tiukaksi paketiksi, johon sitten asennetaan uraeristeet ja käämitys. Staattorirunko on useimmiten valurautaa. Runkoonpuristuksessa puristetaan staattori puristussovitteella rungon sisään siten, että etukäteen taulukon mukainen E-mitta toteutuu. E-mitta on mitta staattorinlevyjen päästä rungon pään otsapintaan (**kuva 2**).



Kuva 2. Esimerkki E-mitasta mittapiirustuksessa.

Joka runkokoolle ja staattoripaketin pituudelle on määritelty runkoon puristuspainne. Puristuspainne tulee olla määritellyissä rajoissa eli liian pieni paine voi aiheuttaa staattoripaketin pyörähtämisen rungossa käytön aikana ja liian suuri paine voi halkaista rungon. Toteutuva puristuspainne tulee aina olla suurempi kuin mikä on moottorin vääntömomentti. Runkoonpuristustyövaiheessa huomioidaan eri voimat (**kuva 3**).



Kuva 3. Puristusvaiheessa huomioitavat voimat.

Tangentiaalinen voima lasketaan seuraavasti:

$$F_t = M_{motor} / r_{s,o} \quad (1)$$

F_t on staattoripaketin ja rungon välissä vaikuttava tangentiaalinen voima [N]

M_{motor} on moottorin tuottama momentti [Nm]

$r_{s,o}$ on staattoripaketin ulkosäde [m]

Kun oletetaan, että sovitepintojen (staattoripaketin ulkopinta ja staattorirungon sisäpinta) kitkaominaisuudet ovat samat aksiaali- ja tangetiaalisuunnassa, saadaan staattoripaketin ”pyörähtämättömyydelle” ehto./mekaniikkakurssi FIMOT0835 rev. B./5/

$$F_t \cdot r_{s,o} \geq M_{motor} \cdot s$$

$$F_t \geq F_{press} = F_{friction}$$

(2)

S on varmuuskerroin pyörähtämättömyydelle momentin suhteen

F_{press} on staattoripaketin sisäänpuristusvoima [N]

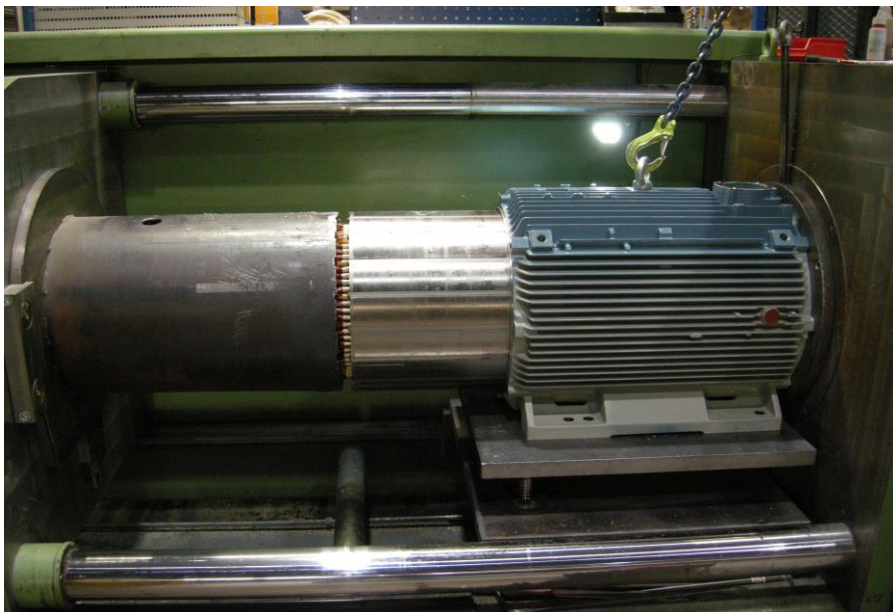
$F_{friction}$ on sisäänpuristusta vastustava, sovitteesta aiheutuva kitkavoima [N]

Staattoripaketin runkoonpuristusvoima saadaan seuraavalla kaavalla laskettua:

$$F_{press} \geq \frac{M_{motor} \cdot s}{r_{s,o}}$$

(3)

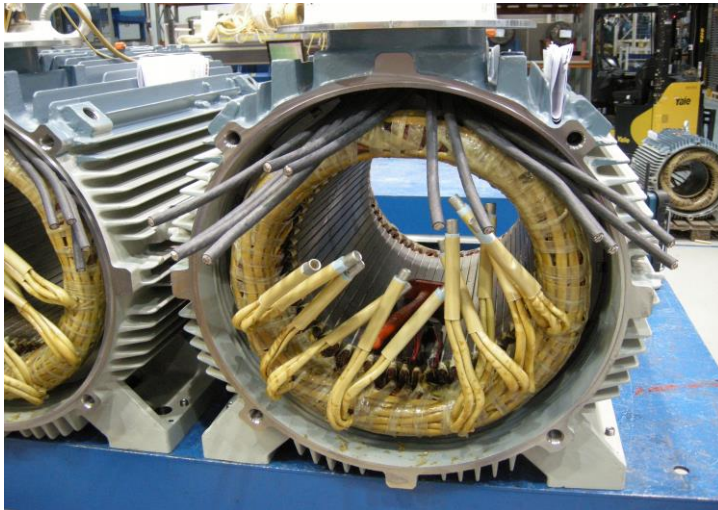
Huomioidaan myös, että staattori menee runkoon oikein päin eli kytkentäpää menee samaan päähän staattorirungossa olevan liitinaukon kanssa ja staattoripaketti on vielä oikeassa asennossa rungon sisällä siten, että kaapelit saadaan järkevästi kytkettyä staattoriin (**kuva 4**).



Kuva 4. Staattorin runkoon puristaminen.

5.4 Liitântä

Liitântä työvaiheena on yksinkertaistettuna sitä, että yhdistetään staattorirunko-staattoriyhdistelmä liitinalustan ja/tai muiden liitinosien kanssa (**kuva 5**).



Kuva 5. Staattorin liitântä.

Staattorirungon liitinaukon läpi tuodut kaapelit puristetaan amppiin (**kuva 6**). Amppi on tinapinnoitettu kuparijatkosholkki, joka puristetaan kaapeliin sekä staattorivalmistuksessa käämilankoihin. Puristettu liitos eristetään eristesukalla ja sidotaan käämitykseen.



Kuva 6. Amppi.

Liitinalusta koostuu yleensä eristimistä, välilaipasta, liitinosista sekä moottorin sisäpuolisista liitinkaapeleista (**kuva 6**).



Kuva 7. Liitinalusta.

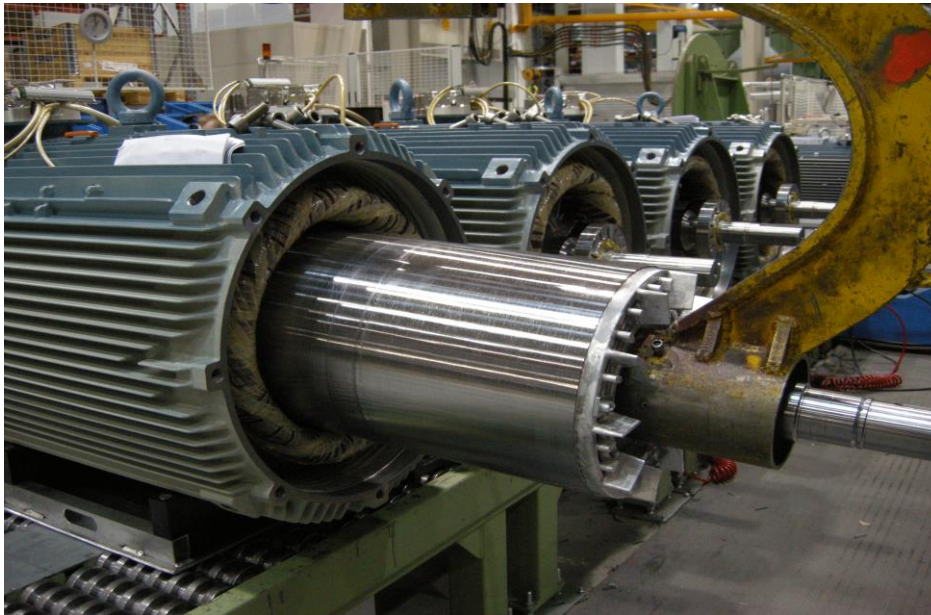
Liittäessä kytketään myös mahdolliset staattorin lisälaitteet liitinsuojakoteloon, joka on joko ns. pääkotelo tai erikseen niitä varten oleva erillislisäkotelo. Kaikki kaapelointi tarvittaessa vielä lisäeristetään, sidotaan ja lakataan staattoriin kiinni. Ex-moottoreissa myös moottorin sisäiset läpiviennit hartsataan.

5.5 Kokoonpano

Kokoonpanossa moottori kasataan siihen vaiheeseen, että se on jo toimiva ja valmis rutiinitestaamista varten. Moottori ei tässä vaiheessa ole vielä maalattu ja kaikilta osiltaan valmis. Karkeasti kerrottuna liitettynä staattorirunko-staattori osaan ryhdytään kasaamaan muita osia paikalleen./5/

5.5.1 Roottorin asennus

Rungon staattoriaukkoon nostetaan roottori (**kuva 8**), joka staattorikäänitystä varoen työnnetään paikalleen.



Kuva 8. Roottorin asennus.

5.5.2 Laakerikilpien ja laakeroinnin asennus

Yleensä roottorin asentamisen jälkeen asennetaan laakeripohjat ja päätykilvet. Tämän jälkeen laakerit puristetaan laakeripuristimella paikalleen. Laakerit voidaan ja joissain laakerityypeissä joudutaan asentamaan akselille lämmittämällä.

5.5.3 Laakereiden voitelu

Laakereiden voiteleminen tapahtuu seuraavaksi ja mahdolliset imurenkaat, lukkorenkaat ja laakerikannet asennetaan. Myös erilaiset tiivisteet ja tuuletin asennetaan usein tässä vaiheessa. Tavoitteena onkin saada aikaan pyörivä moottori, joka on testivalmis.

5.6 Rutiinitestaus

Valmistuslinjoilla tapahtuvalla rutiinitestauksella pyritään varmistamaan tuotteen toimivuus. Minimivaatimus tulee standardista IEC 60034-1.

Jokaiselle moottorille on tehty etukäteen laskettu laskelma eli moottorin sähköinen mitoitus, jota vasten verrataan mitattuja suoritusarvoja ja päätetään onko moottori riittävän hyvä, että voidaan lähettää eteenpäin seuraaviin työvaiheisiin. Useimmat viat löytyvät tässä työvaiheessa.

Tarvittaessa moottoria voidaan vielä testata omassa moottorilaboratoriossa, jossa voidaan tehdä moottoreille tyyppitestauksia tai asiakkaan tilaamia testejä./6/

5.7 Maalaus

Maalausvaiheessa tehdään moottorille pintakäsittely. Tähän kuuluu pohjamaalaus ja pintamaalaus, joka tehdään normaalisti vesiliukoisella maalilla. Asiakkaan toivomuksesta maalataan moottorit myös eri maalinvahvuuksilla korroosiokestoja silmällä pitäen ja käyttäen asiakkaan toivomia värisävyjä. Maalin ruiskutuksen jälkeen se kulkee kuivausuunin läpi lopputäydennykseen.

5.8 Lopputäydennys

Lopputäydennyksessä lisätään kaikki sellaiset osat ja tarrat ym. joita ei ole tarkoituksenmukaista tai mahdollista lisätä tai asentaa ennen maalausta. Näitä ovat useimmiten ainakin kiila, arvokilpi, varoitustarrat, liitännän läpiviennit, tuulettimen suojuus jne. Tässä työvaiheessa moottori myös kiinnitetään kuljetusalustalleen ja koneistetut pinnat suojataan korroosiota estävällä suojarasvalla. Tästä työvaiheesta moottorit lähtevät yleensä joko tyyppitesteihin tai asiakastesteihin, mahdollisiin muutostöihin tai lähettämöön.

Moottoreiden ja generaattoreiden valmistuksessa on yleensä vielä muutama muukin työvaihe, kuten merivientipakkaus, lähettäminen jne., joita ei käsitellä tässä opinnäytetyössä. Nämä työvaiheet eivät ole enää varsinaista valmistusta, vaan kuuluvat pikemminkin logistiseen toimintaan.

6 YLEISIMMÄT VIKATYYPIT JA NIIDEN ESIINTYVYYS

Valmistuslinjoilla yleisimmin esiintyvät vikatyypit voidaan jakaa kahteen ryhmään, jotka ovat laatupoikkeamat sekä virheelliset tiedot.

Viat, jotka eivät vaadi moottorin osien purkamista ovat usein sellaisia, joissa joko tarkistetaan onko esim. testaus-tai mittausravot olleet kohdillaan. Näissä tapauksissa tarkistetaan esimerkiksi mittaustuloksista samaa laskelmaa olevia aikaisemmin koestettuja moottoreita ja verrataan nyt toteutuneita mittausravoja edellisiin vastaaviin. Joskus voidaan suorittaa toinen varmistava mittaus eliminoimaan mahdollinen mittausvirhe, johtuen joko mittaustavasta tai viallisesta mittalaitteesta.

Jos tulos poikkeaa oleellisesti aiemmista testatuista moottoreista voidaan olettaa, että jotain vikaa on. Tämä on kuitenkin mielekästä vain jos on riittävästi mitattua historiaa tulosten osalta mihin verrata. Mitään ehdotonta minimimäärää ei ole, mutta jos tallennettuja tuloksia on vain muutama ei kannata ainakaan heti tehdä johtopäätöksiä, vaan kannattaa olla yhteydessä laatuinsinööriin sekä sähkösuunnitteluosastoon asiassa.

Jokainen sähkömoottori on hieman erilainen suoritusarvoiltaan toistensa ns. samanlaisten kanssa, mutta erot ovat kuitenkin melko marginaalisia. Suunnittelukaan ei heti ala tarkistusarvoja tarkistamaan samasta syystä. Kuitenkin jos voidaan epäillä, että tarkistusarvoja kannattaisi muuttaa, otetaan yhteyttä sähkösuunnitteluun.

Korjaavaa toimenpidettä, eli osien purkamista vaativat toimenpiteetkin kannattaa tehdä järkevässä järjestyksessä niin säästyy aikaa, sekä osiin mahdollisesti syntyvät naarmut ja muut vauriot saataisiin minimoitua.

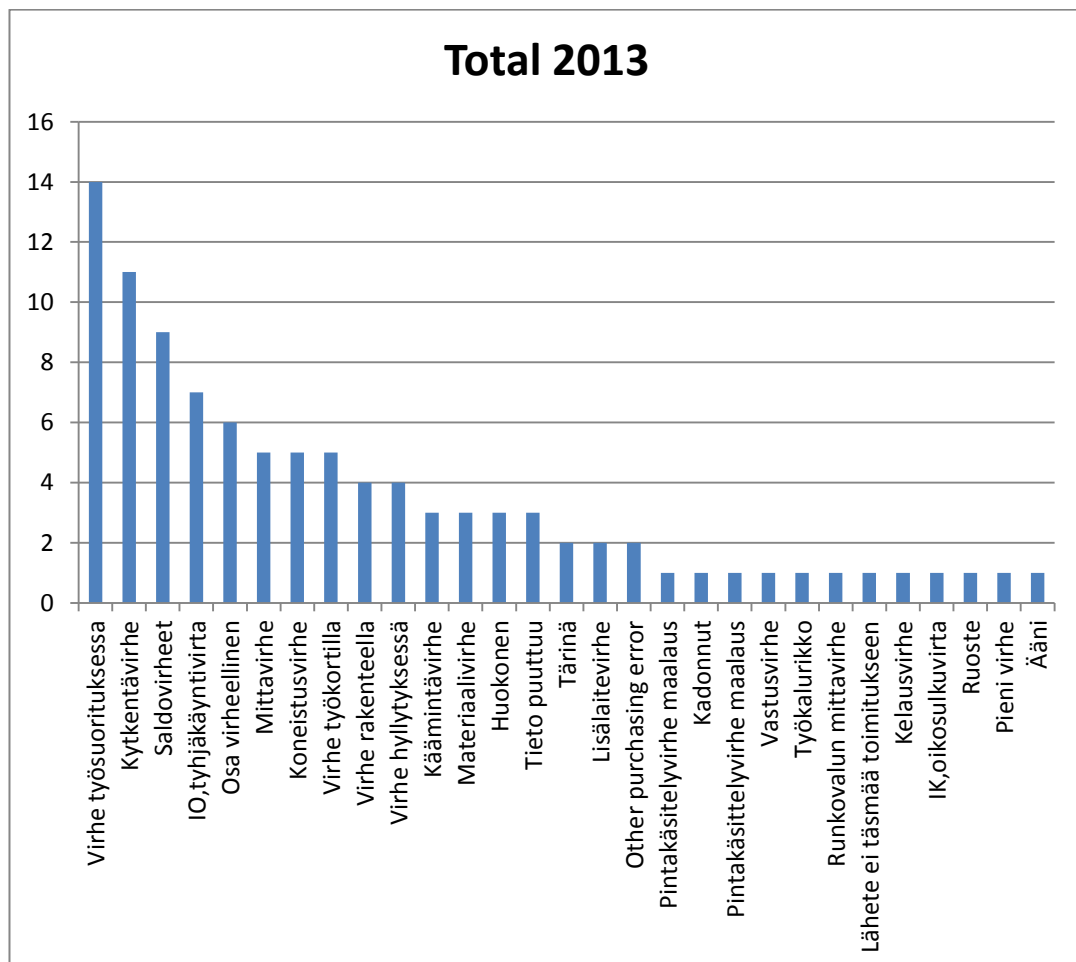
Osa virheistä syntyy osavalmistuksessa ja osa on kategoriavirhe työsuorituksessa, eli inhimillinen virhe asennuksessa tai käsittelyssä.

Tiettyjä vikoja esiintyy melko usein ja niihin onkin hyvä kehittää, paitsi niiden syntymistä ehkäiseviä toimenpiteitä, niin myös korjaus- ja tutkimusmalleja.

ABB Motors and Generators käyttää ERP-järjestelmänä SAP-pohjaista tuotannon ohjausjärjestelmää, johon kirjataan mahdolliset virheet notifikaatioina. Notifikaatioiden avulla ohjataan virheen korjaaminen ja käsittelyt oikeille henkilöille. Notifikaatiot kirjataan ja niitä käytetään mm. tilastointiin sekä mahdollisten uusien viallisten tilalle tulevien komponenttien hallintaan.

Seuraavassa taulukossa on esimerkkinä eriteltyä vuodelta 2013 esiintyneet viat valmistuslinjoilta (**Taulukko 1**).

Taulukko 1. Kokoonpanolinjalta kirjatut notifikaatiot vuodelta 2013.



6.1 Laatupoikkeamat 2013

- virhe työsuorituksessa
- kytkentävirhe
- I_0 ,tyhjäkäyntivirta
- osa virheellinen
- mittavirhe
- koneistusvirhe
- virhe hyllytyksessä
- käämintävirhe
- materiaalivirhe
- huokonen
- tärinä
- lisälaittevirhe
- pintakäsittelyvirhe, maalaus
- vastusvirhe
- työkalurikko
- runkovalun mittavirhe
- kelausvirhe
- I_k ,oikosulkuvirta
- ruoste
- pieni virhe
- ääni.

6.2 Virheellinen tieto 2013

- saldovirheet
- virhe työkortilla
- virhe rakenteella
- tieto puuttuu
- other purchasing
- kadonnut
- lähete ei täsmää toimitukseen.

Loput yleisimmät virheet vaativat useimmiten jonkinasteista osien purkamista tai vaihtamista. Myös edellä mainituista osa voi vaatia purkamista, riippuen virheen havaitsemisen ajankohdasta kokoonpanoprosessissa.

Moottoreissa havaitut viat voivat olla myös molempia tyyppisiä tai moottorissa voi olla samaan aikaan useampiakin yhtäaikaisia vikoja.

Tässä opinnäytetyössä käsitellään Top 10-vikoja.

7 YLEISIMMÄT KORJATTAVAT VIKATYYPIT TOP 10

1. I_0 , tyhjäkäyntivirta
2. I_{km} , oikosulkuvirta
3. kytkentävirhe
4. maasulku
5. lisälaittevirhe
6. tärinä
7. liitännävirhe
8. eristysvastus
9. vaihesulku
10. vastusvirhe.

7.1 I_0 eli tyhjäkäyntivirta

Hyväksymisrajat tyhjäkäyntivirralle ovat

$I_0 = I_{0e} \pm 10\%$ eli mitatun arvon ero suuntaansa laskettuun arvoon nähden.

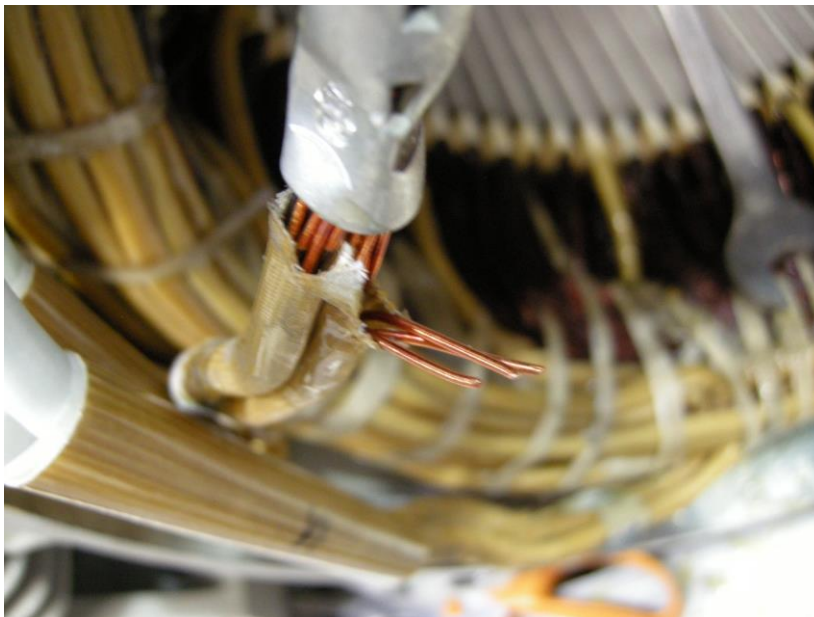
I_0 uvw $< 5\%$ eli arvojen prosentuaalinen ero keskenään pienempi kuin mainittu.

Hyväksymisrajat määritellään rutiinikoestusohjeessa /5/.

Tyhjäkäyntivirran virheet ovat yleensä kahden tyyppisiä. Vaihe-ero tyhjäkäyntivirtojen kesken tai erona mitatun ja lasketun arvon välillä. Pyörimisnopeudeltaan hitaammat kuin 4-napaiset moottorit ovat moninapaisia ja niissä ilmavälin koon ja muodon vaikutus on suuri. Epätarkkuus tyhjäkäyntivirran laskemisessa saattaa näkyä lasketun ja mitatun tyhjäkäyntivirran erona. Yleensä koestusarvo korjataan laskelmaan ensimmäisen moottorin koeajon tulosten perusteella, jota myöhemmin vielä tarvittaessa tarkennetaan.

7.1.1 Vaihe-ero

Huono liitoksen kosketus staattorikäimityksen jossain rinnakkaishaaroissa voi olla syynä tyhjäkäyntivirran poikkeamaan vaihe-erona. Tämä voi johtua esimerkiksi huonosta puristusliitoksesta, jota valmistuksen puolella kutsutaan amppaukseksi. Joskus on jopa jäänyt puristusliitin kokonaan puristamatta kiinni tai muuten on syntynyt epäonnistunut liitos (**kuva 9**). Tämä ei aina välttämättä tule ilmi rutiinitestin aikana, vaan vasta koestuslaboratoriossa jos sielläkään.



Kuva 9. Huonosti puristettu liitos.

Staattorikäänmissä on joskus ollut myös sellainen vika, että yhdestä vaiheesta puuttui vyyhdistä yksi kierros käämilankaa. Tämä aiheutti tyhjäkäyntivirran kasvua ja aiheutti murisevaa ääntä sekä sähköistä tärinää.

Tapauksessa oli vielä haasteena se seikka, että rinnakkaisia haaroja oli useampi, joten sitä ei saatu kiinni edes vaihevastusmittauksen avulla, jolloin olisi voinut olettaa edes pientä vaiheresistanssiero löytyvän.

Jos käämityksen haarat ovat kytkettynä sarjaan, saattaa tämä vika löytyä hieman helpommin vaihe-erona tai vaihevastuksien erona. Vaihevastusero ei itsessään aiheuta tyhjäkäyntivirran kasvua vaan kyseessä on lähinnä epäsymmetrinen käämi, jolloin lämpenemän ero vaiheiden välillä kasvaa.

Kaksinapaisissa suuremmissa moottoreissa voi kytkentäkaapeleiden suhteellinen erimittaisuus näkyä hieman myös virrassa.

7.1.2 Roottorin asemointi staattoriin nähden

Staattoripaketin ja roottorin asema toisiinsa aksiaalisuunnassa sallii ihan pienen poikkeaman ilman, että se näkyy heti virrassa. Eron kasvaessa saattaa tyhjäkäyntivirta kasvaa, mutta vastaavasti oikosulkuvirta pienenee. Staattorin ja roottorin välisen ilmvälän epäsymmetria näkyy tyhjäkäyntivirrassa. Kun roottori on sivussa staattorista, hajavuo todennäköisesti kasvaa myös. Se näkyy käynnistysvirrassa ja kaikessa mihin hajavuo vaikuttaa. Voi olla, että kone silti toimii.

7.1.3 Ilmarakovika

Ilmarako voi olla liian suuri, jolloin tyhjäkäyntivirta kasvaa. Usein syynä on liian pieni roottorin halkaisija. Riippuen virtaheiton suuruudesta voidaan tarvittaessa pyytää sähkösuunnittelusta lupaa moottorin hyväksymiseen. Jos lupaa ei tule, on tilattava uusi roottori.

Ilmaraon ollessa liian pieni mutta kuitenkin pyörii vapaasti staattoriaukossa on tyhjäkäyntivirta vastaavasti liian pieni. Tähän ongelmaan on ratkaisuna sorvata roottorin halkaisijaa pienemmäksi.

7.1.4 Muut mahdolliset viat

Urituksellakin on oma vaikutuksensa. Urien määrä, muoto ja roottoripaketin uravinous on myös huomioitava.

Silloin tällöin on vahingossa asennettu väärä roottori. Tämä oireilee samalla tavalla kuin jos olisi kyseessä ilmvälivika. Varsinkin silloin jos roottorin raudan ja alumiinin suhde poikkeaa paljon suunnitellusta.

Useimmiten taitaa ollakin niin, että tyhjäkäyntivirtavirheet löytynevät roottorista halkaisijan poikkeamana tai epäonnistuneen häkkivalun seurauksena.

7.1.5 Mittausvirhe

Mittausvirhekin on oma mahdollisuutensa. On käynyt niinkin, että koestustilanteessa oli jostain syystä valittuna väärä mittausmuuntaja kun mittamuuntajan valinta on ollut manuaalinen, jolloin muuntaja kyllästyi ja näytti väärää arvoa koestusohjelman näytölle. Automaattisella valinnalla se on lähtökohtaisesti isoimmalla ampeerialueella ja säätyy koestusohjelman avulla sopivalle alueelle. Muutenkin mittauksen toisto esim. toisella mittarilla tai jopa mittaajalla on välillä paikallaan mittausvirheen mahdollisuuden minimoimiseksi.

Pyörintäkitkan kasvaessa merkittävästi, voi pientä virran kasvua esiintyä ja häviötkin lisääntyvät. Tämä korostuu varsinkin pienemmissä moottoreissa./9/

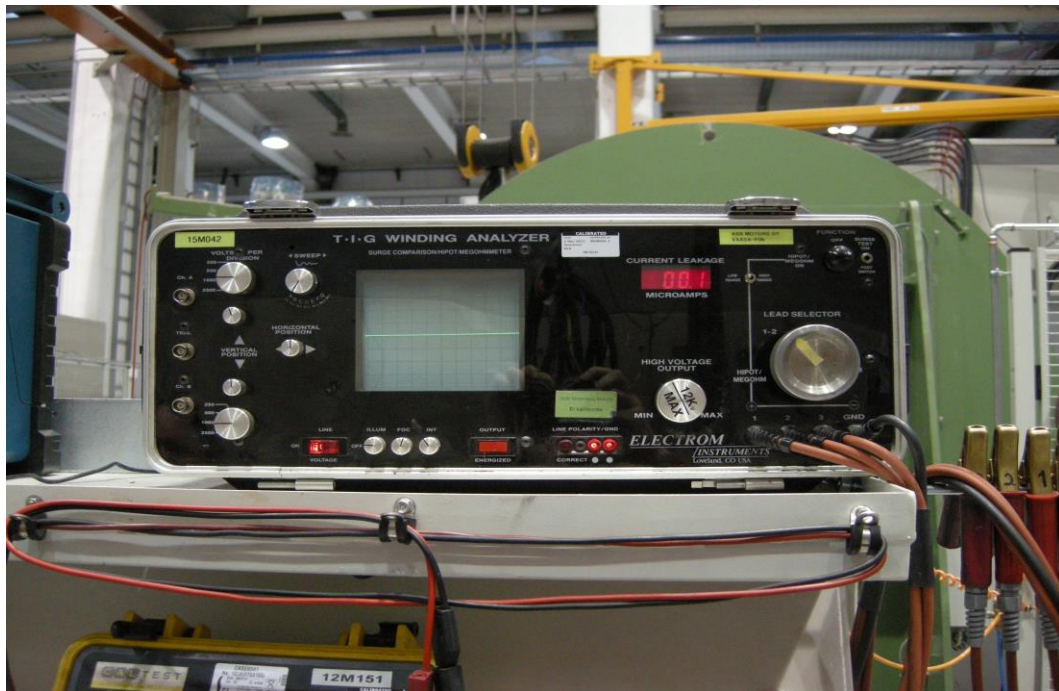
7.2 I_{km} eli oikosulkuvirta

Hyväksymisrajat oikosulkuvirralla ovat

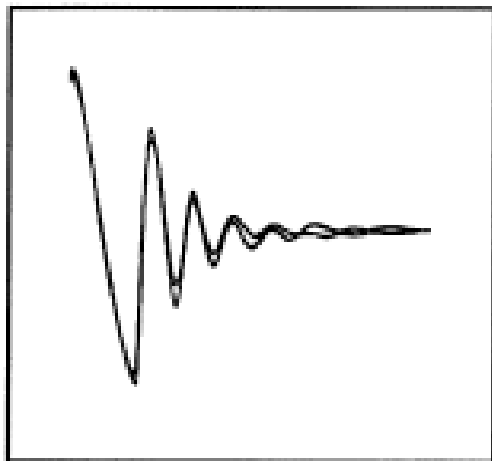
$I_{km} = I_{kme} \pm 15\%$ Eli mitatun arvon ero suuntaansa laskettuun arvoon nähden

$I_{km} \text{ uvw} < 5\%$ Eli arvojen prosentuaalinen ero keskenään pienempi kuin mainittu

Oikosulkuvirran tyypilliset virheet voidaan kategorioida myös kahteen pääryhmään, vaiheiden välinen oikosulkuvirran ero sekä poikkeama lasketusta tarkistusarvosta. Suurin yksittäinen syy oikosulkuvirtavirheisiin on epäonnistunut roottorin häkkivalu. Tämän virheen saa usein kiinni toisioaaltokokeessa samalla akselia kääntämällä, jolloin testerin (**kuva 10**) ruudulla oleva heijaste kahdentuu aallonpohjien sekä huippujen kohdalta eikä kahdentuminen poistu kokonaan näkyvistä kun roottoria käännetään kasatun moottorin sisällä kokonaisen kierroksen verran (**kuva 11**)/8/.



Kuva 10. Toisioaltotesteri TIG winding analyzer.



Kuva 11. Esimerkki valuvikaisen ja kierrossulun heijasteesta.

Kun kyseessä on staattorikäimin vaiheessa olevan kierrosten välinen sulku eli kierrossulku, testerin heijaste sulkeutuu yhdeksi käyräksi jossain kohtaa kierrosta, kun roottoria samalla käännetään. Häkkivalu voi epäonnistua myös siten, että sauvat jäävät vajaaksi melko tasaisesti. Tätä on vaikea saada havaittua tavanomaisin keinoin. Todennäköisesti virta poikkeaa silloin kokonaisuutena

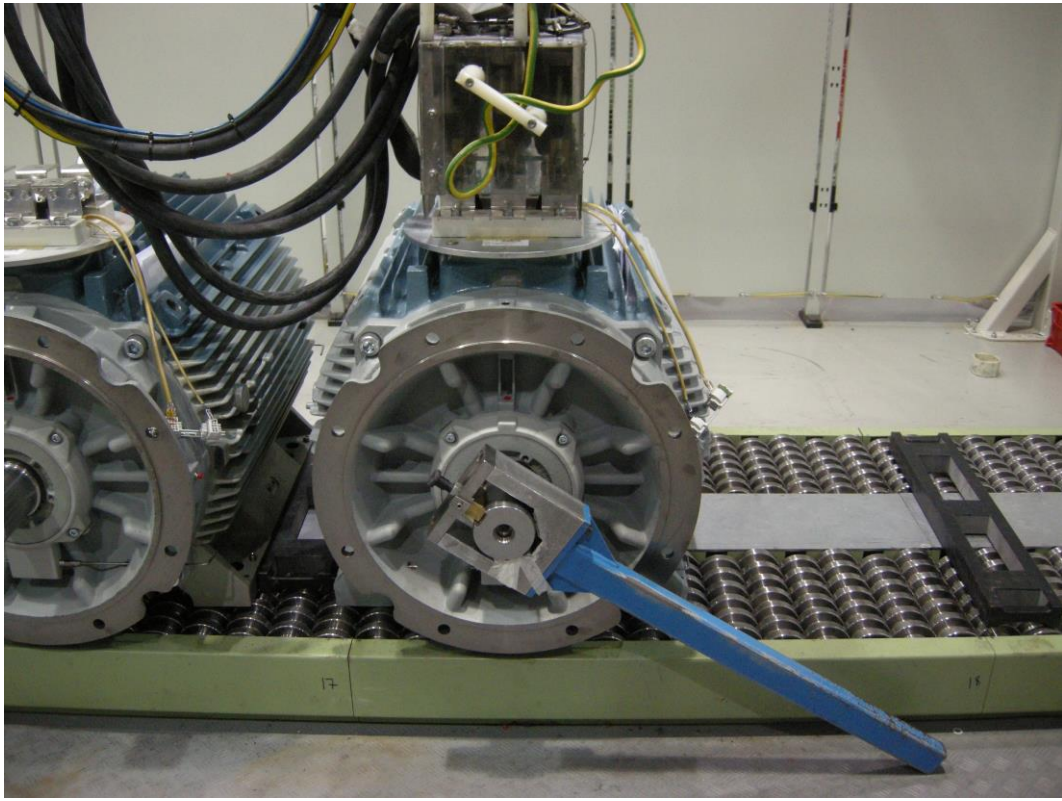
lasketusta arvosta. Väärä roottori näkyy heti myös tässäkin tapauksessa, jos uraluku tai raudan ja alumiinin suhde poikkeavat oleellisesti suunnitellusta. Myös uraluku kannattaa tarkistaa. Mittausvirhe on mahdollinen aina. Siksi uusintamittaus varmistaen mittaustapahtuman parametrit koestusohjelmasta samalla on hyvä tehdä. Väärä mittamuuntaja-alue voi sotkea tulosta. Huono kontakti jossain kohtaa, joko moottorissa tai koestusjärjestelyssä, aiheuttaa myös heittoja tuloksiin niin vaiheiden välillä kuin muutenkin.

Perinteinen kääntökoe auttaa löytämään nämä tapaukset, tosin kääntökoe ei enää kuulu normaalin rutiinikoestuksen piiriin. Tämä koe tehdään oikosulkukokeen aikana, kun roottori on lukittuna pyörimisen estävällä kammella (**kuva 12**). Roottorin kääntökoe tehdään siten, että roottoria käännetään kammesta vähintään 180 astetta. Kääntökokeen aikana virtaa tarkkaillaan, joko analogisten vaihekohtaisten ampeerimittareiden avulla tai koestusohjelmasta. Virtaa tarkkaillaan yhdestä vaiheesta kerrallaan. Virran vaihtelu samassa vaiheessa saa olla enintään 3 %.

$$I_{km} = I_{kme} \pm 15\%$$

$$I_{km} \text{ uvw} < 5\% \quad (\text{samassa koneessa eri vaihevirtojen ero})$$

$$P_{kmo} = P_{oe} \pm 30\%$$



Kuva 12. Oikosulkukoe.

7.3 KytKentävirhe

KytKentävirhe on staattorin käämityksen kytkennän aikana tapahtunut virhe, jossa voi olla vaiheet keskenään ristissä tai jokin käämin vyyhdenhaara on kytketty väärin päin tai väärän haaran kanssa. Jotkin näistä kytkentävirheistä eivät tule ilmi vaihevastusmittauksella, koska sama määrä lankaa saattaa siitä huolimatta olla kyseisen mitatun vaiheen alla. Oireena näissä on yleensä rutiinikoestuksen aikana jokin seuraavista:

- vaihevastusero
- vaihe-ero
- vaiheet ristissä keskenään eli suora vaihesulku
- moottori murisee testin aikana.

Staattorin kytkennän ollessa sellainen, että sisäiseen kytkentään pääsee staattorin kääminpäiden kautta käsiksi, on korjaaminen yleensä mahdollista. Joskin korjaustoimenpiteet edellyttävät monesti hieman staattorin kaapeloinnin, sidonnan ja kääminpäiden purkamista, jotta saadaan kääminvyyhtien ulostulot, toisinsanoen väliotot esiin. Tämä purkaminen saattaa vahingoittaa eristeitä, kytkentäkaapeleita sekä käämilangan pinnoitetta. Onkin tapauskohtaisesti harkittava mahdollisen korjaustoimenpiteen tarve verrattuna uuden staattorin hankintaan.

KytKentävirheen etsiminen staattorin käämintäkaavion avulla on joskus haasteellista ja sekin pitää harkita siltä kannalta onko staattorin hinta tai saatavuus merkittävä tekijä sikäli, että kannattaako korjata vai ei? Kannattaako käyttää resursseja vian etsintään vai ei? Onko olemassa merkittävä vaara siitä, että kyseisen moottorin toimitus myöhästyy. Pienemmät ja yksinkertaisemmat staattorit ovat usein halvempia kuin isommat vastaavat.

7.4 Maasulku

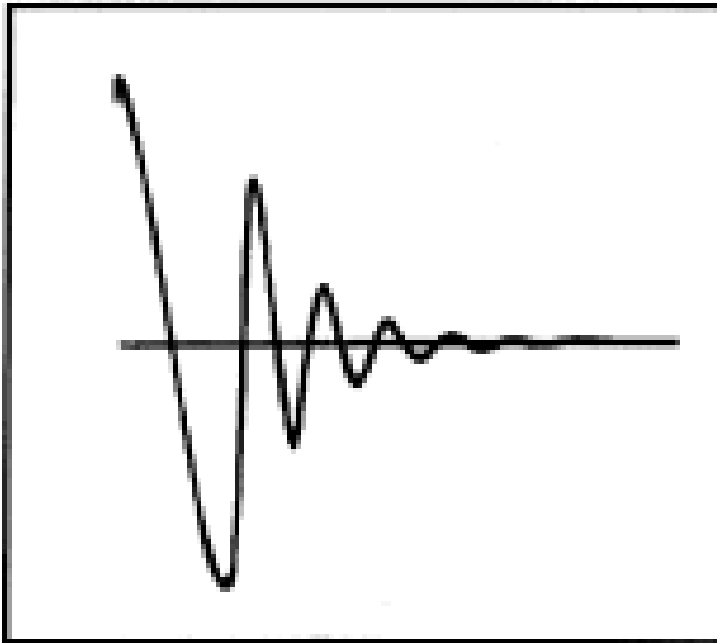
Maasulku on yhden tai useamman vaiheen galvaaninen yhteys maan kanssa. Vaihe voi vuotaa maahan monesta paikasta staattorissa tai sen kytkennässä.

Maasulku tulee useimmiten esiin joko toisioaaltokokeessa poikkeavana heijasteena (**kuva 13**) tai eristyskokeessa (**kuva 14**). Näiden testien suorittaminen ennen varsinaista koeajoa on tärkeää niin henkilöturvallisuuden takia kuin mahdollisten materiaalivahinkojen osalta. Moottorissa jossa on maasulku, tapahtuu suurella todennäköisyydellä palaminen ja valokaari.

Jos maasulku tulee ilmi, niin ei missään tapauksessa saa moottoria laittaa eteenpäin seuraavaan vaiheiseen koestusprosessia. Maasulku on usein sellaisessa paikassa staattoria, ettei sitä pysty korjaamaan. Usein maasulku on jossain kohtaa staattorin urista, johtuen eristeen peittämisestä eri syistä. Maasulku voi tapahtua myös liitántäkaapeleiden läpiviennissä. Kaapelin oma eristekerros on voinut jossain kohtaa vaurioitua ja kaapelin johdin osuu tai on riittävän lähellä runkoa ja siten maata.

Maasulun pystyy kuitenkin joissain tapauksissa korjaamaan, jos siihen pääsee käsiksi, ja pystyy vuotavan kohdan riittävän hyvin pysyvästi eristämään siihen tarkoitetuilla materiaaleilla ja noudattaen voimassa olevia aiheeseen liittyviä työohjeita. Korjaavat toimenpiteet on hyvä varmistaa staattorikääminnästä vastaavalta työnjohtajalta ja tarvittaessa komponenttitehtaan laatuinsinööritä.

Lisäksi on tärkeää, että korjaavat toimenpiteet dokumentoidaan. /8/



Kuva 13. Esimerkki maasulkuheijasteesta.

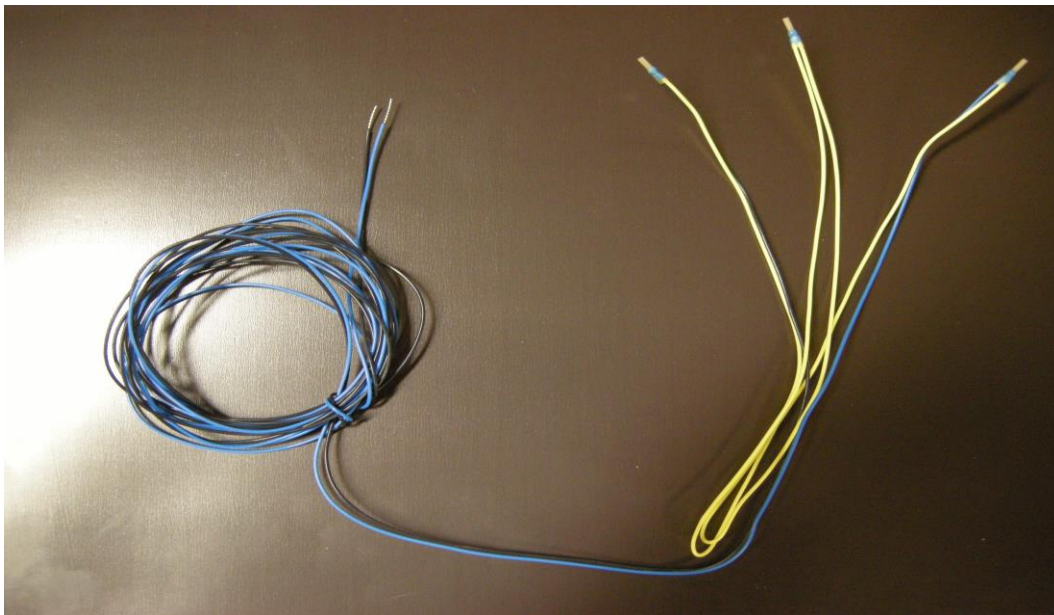


Kuva 14. Eristystesteri.

7.5 Lisälaittevirhe

Sähkömoottorin käämeihin sekä laakerointiin voidaan asentaa ns. lisälaitteita. Näitä ovat esimerkiksi erilaiset termistorit, mittausvastukset ja lämmitysvastukset. Termistorien ja mittausvastuksien tarkoituksena on suojella staattorikäämitystä mittaamalla lämpötilaa tai katkaisemalla virransyöttö hälytysrajalla. Lämmitysvastuksien roolina on pitää staattori toimintalämpöisenä ja ehkäistä veden kondensaatiota moottorin sisällä.

Lisälaite voi syystä tai toisesta olla rikki, joko käsittelystä johtuen tai jostain muusta syystä. Yleensä tämä hoidetaan siten, että asennetaan tilalle uusi lisälaite. Lisälaitteita ei saa yleensä asennettua jälkikäteen käämiin sisään, koska staattori on hartsattu. Lisälaitteen joutuu siis asentamaan käämityksen pinnalle. Tämä toimenpide suoritetaan ko. työohjeita noudattaen sekä huomioiden eristysluokat./5/



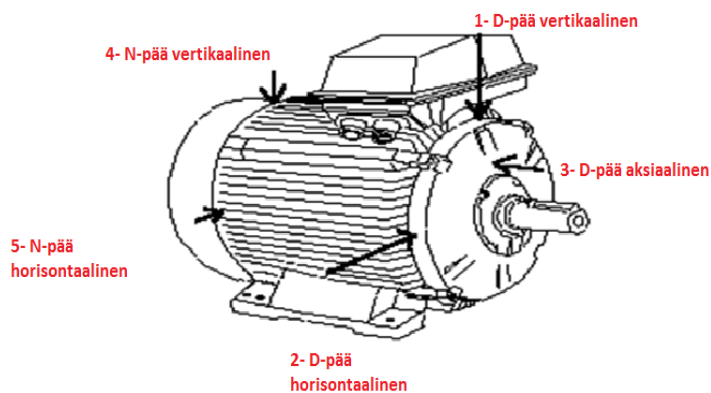
Kuva 15. Termistori.

7.6 Tärinä

Moottorit ja generaattorit suunnitellaan täyttämään asiakkaan vaatimukset maksimitärinätason suhteen. Minimivaatimukset tulevat IEC- standardista IEC 60034–14 mukaan. Roottorit tasapainotetaan standardin mukaan luokkiin G1 ja G2.5./7/

Moottorit testataan valmistuslinjalla ilman moottoriin kytkettävää kuormaa. Yleensä vain akselikiila on paikallaan testin aikana D-päässä. N-päässä on yleensä joko koko rakenne tuulettimiseen tai sitten vain nylonholkilla akselille varmistettu tuulettimen kiila. Tärinätasolle on useita eri luokkia, joita käytetään riippuen siitä, minkälainen on kulloinkin vaatimus. Näitä luokkia on esimerkiksi A tai B. Liiallinen tärinä moottorissa aiheuttaa lopulta moottorin rikkoutumisen.

Tärinäviat voidaan jakaa kahteen pääkategoriaan. Nämä ovat sähköinen tärinä sekä mekaaninen tärinä. Sähköiseen tärinään liittyy usein myös poikkeava käyntiääni. Sähköinen tärinä lakkaa yleensä heti kun virta katkaistaan. Tärinät mitataan viidestä eri kohdasta konetta: kohtisuoraan suuntaan sekä pysty- että vaakasuoraan sekä D- ja N-päästä, ja vielä aksiaaliseen suuntaan D-pään laakerikannesta. Tärinän mittauskohdat ja suunnat näkyvät nuolilla merkittyinä **(kuva 16)**.



Kuva 16. Tärinämittauskohdat.

Taulukossa 2 annetut tärinäluokat hyväksymisrajoineen pätevät 50 Hz:n käyttöön. Kun kone on tarkoitettu sekä 50 Hz:n että 60 Hz:n käyttöön ja arvokilpeen on myös leimattu 60 Hz:n arvot, niin taulukossa 2 olevat hyväksymisarvot ovat 20 %:a pienemmät. Mittausasennus on joustava, mikä tarkoittaa että mittaus voidaan suorittaa joko joustavasti ripustettuna tai joustavalle alustalle asennettuna (Free suspension). Hyväksymisrajat on esitetty taulukon 2 sarakkeessa Velocity (nopeus) luokalle A (normaali luokka) ja luokalle B (erikoisluokka)./5,7/

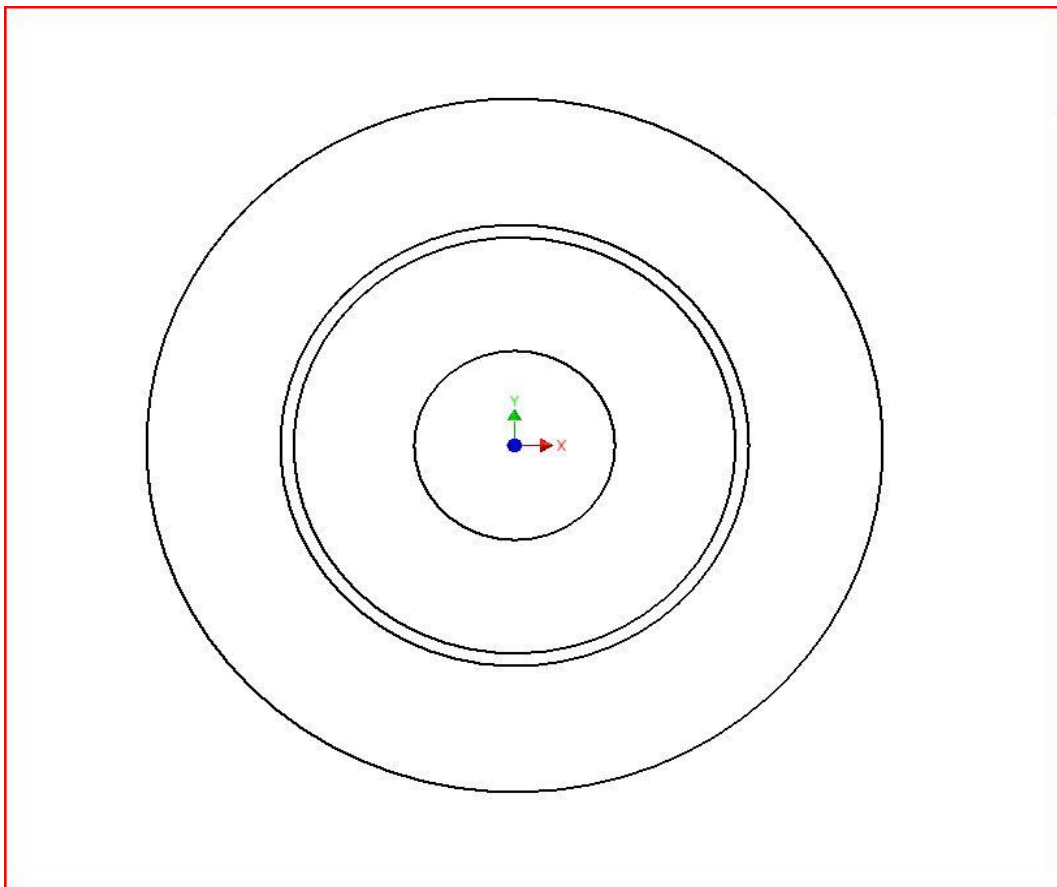
Taulukko 2. Hyväksymisrajat.

	Akselikorkeus	$56 < H \leq 132$	$132 < H \leq 280$	$H > 280$
	mm			
Tärinäluokka	Mittausasennus	Velocity mm/s	Velocity mm/s	Velocity mm/s
Grade A	Joustava	1,6	2,2	2,8
Grade B	Joustava	0,7	1,1	1,8

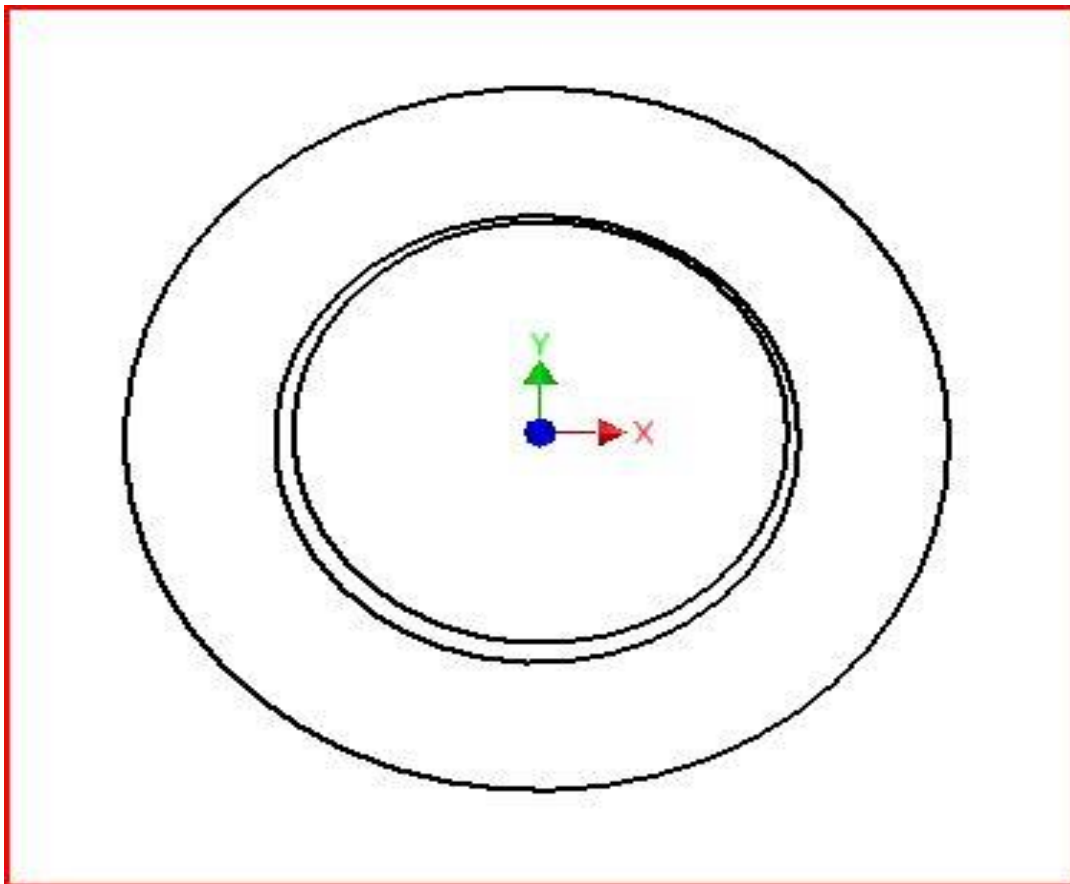
7.6.1 Sähköinen värinä

Sähköinen värinä voi aiheutua monesta eri asiasta tai niiden yhteisvaikutuksesta. Usein syynä on staattorin ja roottorin välisen ilmaraon epäsymmetria. Tämä tulee joskus esiin värinäpiikkien ollessa syöttötaajuuden kerrannaisissa eli esim. 50Hz syöttötaajuudella saattaa värinäpiikki olla 100Hz:n kohdalla ja uudelleen 150 Hz kohdalla jne.

Staattorin ja roottorin välisen ilmaraon pienimmässä kohdassa syntyy voimavaikutus, joka tekee vuosta epäsymmetrisen. Sähköinen värinä voi olla vaikea, ellei jopa mahdoton korjata jos se aiheutuu ilmaraon epäsymmetriasta. Seuraavissa kuvissa on symmetrinen- ja epäsymmetrinen ilmarako. Ilmarako näkyy kuvissa kahden kiekon välissä. (**Kuva 17**) ja (**kuva 18**).

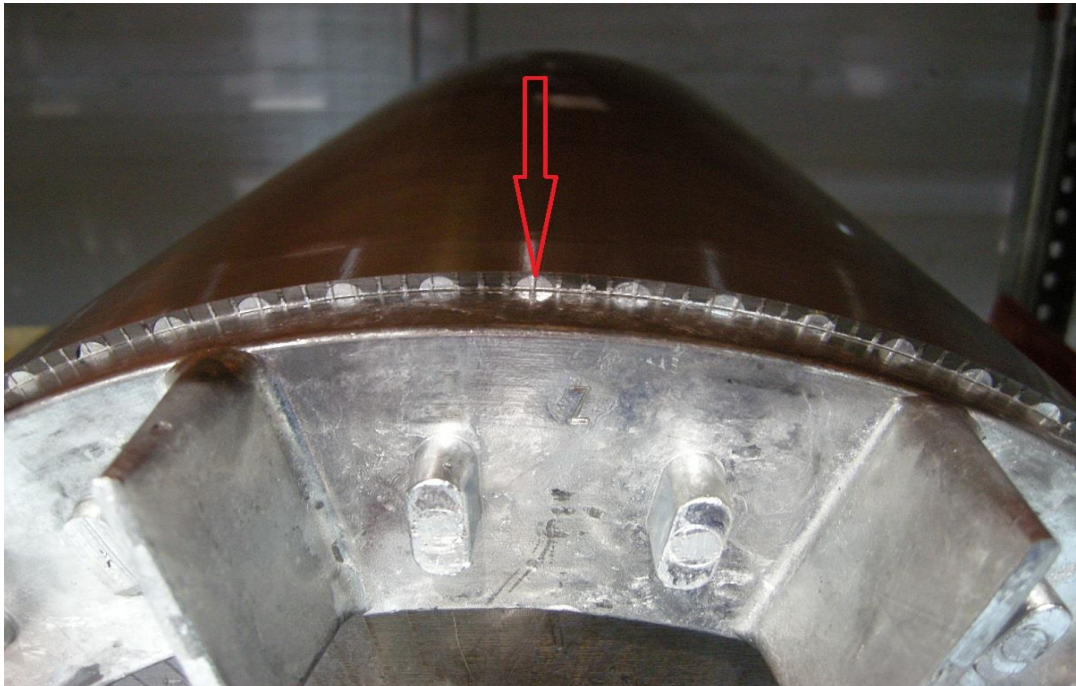


Kuva 17. Symmetrinen ilmarako.



Kuva 18. Epäsymmetrinen ilmarako.

Sähköinen värinä voi syntyä myös staattorikäänityksessä olevasta viasta, jolloin myös pyörivään magneettikenttään syntyy epäsymmetriaa. Tällöin ei useimmiten auta muu kuin vaihtaa koko staattori, koska käänivyhtien irrottaminen uristaan on lähes mahdotonta. Roottorin uravinous tai suuri poikkeama aiotusta uravinousesta saattaa aiheuttaa sähköistä värinää. Usein myös voimakas käyntiääni liittyy tähän. Roottorista kannattaa tarkastaa uraluku eli montako sauvaa näkyy roottorivalun päissä (**Kuva 19**). Roottorin vaihdolla saadaan usein tämä oire katoamaan. Roottorin tasapainottaminen uudelleen ei auta./10/



Kuva 19. Roottorin sauva merkittynä nuolella.

7.6.2 Mekaaninen värinä

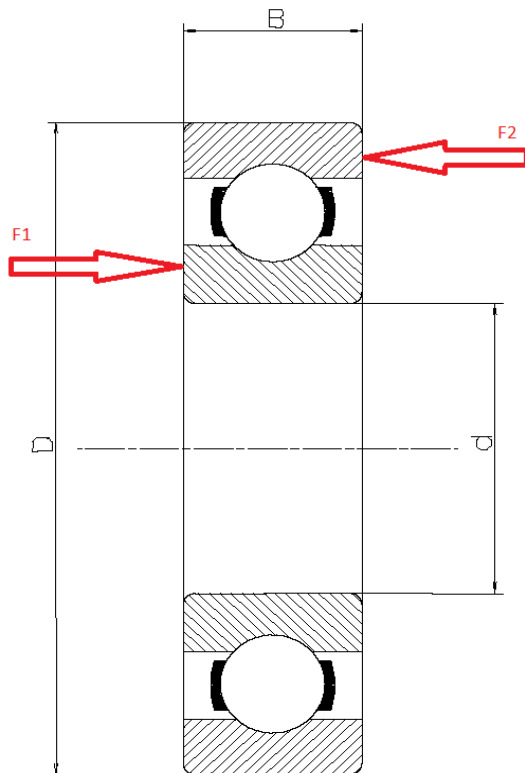
Mekaaninen värinä on yleisin värinävikatyyppe. Useimmiten korjaava toimenpide on purkaa roottori moottorista pois, poistaa kaikki laakerointiosat ja tasapainottaa roottori uudelleen. Tasapainotuksen jälkeen suoritetaan uusintamittaus, samalla tarkastaen akselin päästä leimaus sekä työkortista vaatimukset.

Väärä tasapainotus on yleensä tehty joko väärällä kiilalla, väärällä nopeudella tai väärään tasapainotusluokkaan. Korjaava toimenpide on uudelleentasapainotus oikealla kiilalla, oikeaan luokkaan moottorin nimellisa nopeudella jos mahdollista. Kun kyseessä on ns. high speed-moottori, kannattaa uudelleentasapainotus ohjata high speed-tasapainotuskoneelle. High speed-moottoreiksi luetaan yli 3600 rpm pyörivät moottorit.

Aksiaalivärinä aiheutuu usein laakereiden esikiristyksen puutteesta. Tämä saattaa johtua siitä, että N-pään laakerikilven laakeripinta on jäänyt voitelematta KLUBER ALTEMP Q NB 50-voitelupastalla ja laakerin sekä laakerikilven välinen aksiaalinen liike estyy käytön aikana tai aaltojousi tai muu esikiristys puuttuu laakeroinnista. Normaali rakenteisissa moottorissa N-pään laakeripesä on vähän suurempi kuin laakerin ulkohalkaisija. Tämä sallii aksiaalisuuntaisen liikkeen.

Jotkin sähköiset häiriöt staattorin kytkennässä tai roottorivalussa aiheuttaa myös joskus aksiaalista värinää.

Moottorin geometriset poikkeamat roottorin ja staattorirungon välillä voivat aiheuttaa sen, että urakuulalaakerissa laakerin kuula joutuu pyöritettäessä joka kierroksella käymään tai pyörimään laakerin uran reunalla. Tässä tapauksessa laakerin sisä- ja ulkokehään vaikuttaa erisuuntaiset voimat. Kuvassa näkyy laakerin poikkileikkaus ja voimien suunnat (**kuva 20**).



Kuva 20. Laakerin poikkileikkaus ja voimien suunnat.

Syynä voi olla toleranssiketjujen vaihtelut kokoonpantavien osien välillä.

Laakereiden asennon kohtisuoruus akseliin nähden tulee olla kohdillaan. Poikkeama asennosta saattaa johtua laakerikilven laakeripesän koneistuksen virheellisyydestä. Koneistus ei ole kohtisuorassa esim. kilven ja rungon väliseen otsapintaan nähden.

Rungon staattoriaukon sekä rungon päätyjen pintojen kohtisuoruuden poikkema voi aiheuttaa tärinää kun moottori on kokoonpantuna testiä varten.

Viallinen laakeri tai väärän tyyppinen laakeri aiheuttaa myös tärinää. Tarkastetaan laakereiden tyyppi ja kunto pyörittämällä sekä kuuntelemalla. Tai jos on mahdollista purkaa laakerin kansi pois ja katsoa laakerista laakerin tyyppi.

Laakerin ollessa viallinen yleensä myös kuuluu ylimääräinen ääni, joka voi olla ”naksuntaa” tai ”rohinaa”.

Tärinä voi tulla esiin myös laakeripohjan vastepintojen hinkatessa akselia vasten. Tämä tulee ilmi voimakkaana äänenä ja lämpenemänä laakerikannen kautta.

Voiteluaineen puute tai liikatäyttö on myös mahdollinen tekijä.

Roottorilevyjen ladonta voi olla myös syynä tärinään. Roottorilevyissä on usein kiilaura. Ladonnassa pitää sopivin välein kääntää levynippuja noin 90°. Niput tulisi olla noin 30 mm paksuja. Isoissa roottoreissa roottorilevyjen kiilaurien massa voi olla jo satoja grammoja per roottori. Tämä korostuu varsinkin high speed moottoreissa, jotka ovat herkempiä tärinän suhteen.

Tietyissä moottoreissa on lisäksi käytössä tasapainotuskiekkko, joka on joissain tapauksissa asennettu lämpösovitteella paikalleen. Käynnistyshetkellä kiihtyvyys voi pahimmassa tapauksessa muuttaa kiekon asentoa akselilla ja tasapainotuspiste muuttuu.

Kaikenlainen ylimääräinen mekaaninen kosketus jossain pyörivien- ja ei-pyörivien osien välillä aiheuttaa kitkaa, lämpenemää ja tärinää./10/

7.7 Liitöntävirhe

Liitöntävirhe tapahtuu moottorin staattorin ulostulojen kytkemisessä liitinalustan kytkentäkaapeleihin. Yleensä vika syntyy, kun kytkentäkaapeleita kytketään vahingossa toistensa kanssa ristiin. Tämä ilmenee suorana vaihesulkuna ja vaihevastuspoikkeamana.

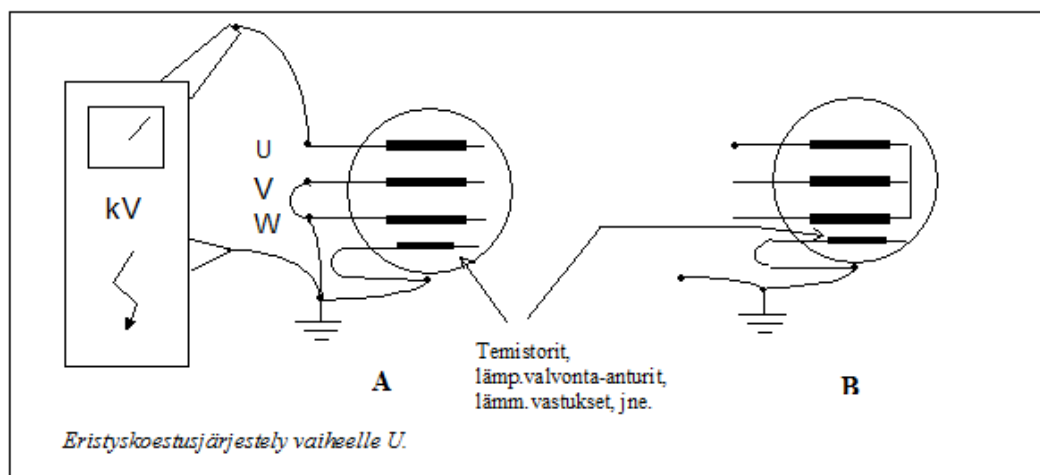
Lisälaitteiden ristiinkytkentä näkyy usein myös resistanssin mittaustuloksissa. Lisälaite näyttää olevan pimeänä tai sen resistanssin mittaustulos poikkeaa huomattavasti oletetusta.

Vääriä liitöntäosia voi joskus tulla vahingossa kytketyksi moottoriin, esimerkiksi väärä liitinalusta tai jokin muu liitinkomponentti.

7.8 Eristysvastus

Eristysvastus kertoo staattorin eristyksen kunnon. Jos mitattu eristysvastus on heikko on syynä yleensä se, että hartsi on vielä kostea tai hartsaus on epäonnistunut. Staattorin epäonnistunut hartsaus voi johtua esimerkiksi kuivatusuunissa olleesta viasta, väärästä lämpötilasta tai liian lyhyestä kuivatusajasta hartsausajan aikana.

Eristysvastuksen mittaamisessa on huomioitava ympäristön vallitseva lämpötila sekä ilmankosteus.



Kuva 21. Mittausjärjestely eristysvastuskokeessa.

Mittausjärjestely on. kuvan 21 mukainen, jolloin mitatuksi tulee kaikki vaiheet, sekä muita vaihteita että maata vasten.

Mittausjännite on 1000 V DC ja mittausaika on 60 sekuntia. Hyväksyttävä minimiarvo riippuu suhteellisesta ilmankosteudesta taulukon mukaisesti (**Taulukko 3**)./5/

Taulukko 3. Eristysvastuksen raja-arvot.

Ilman suhteellinen kosteus (%)	Eristysvastuksen minimiarvo (GigaOhm)
< 40	2
≥ 40	1

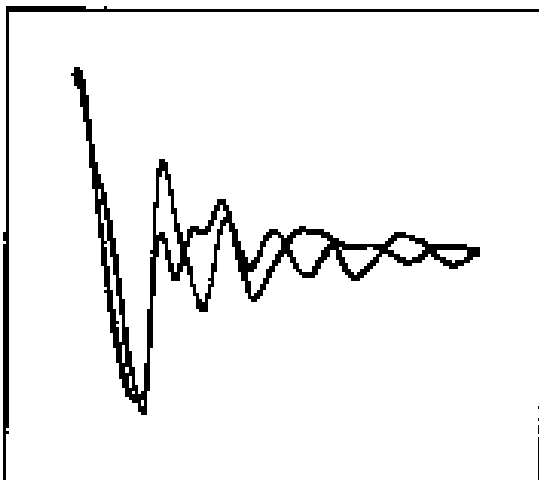
Heikkoa eristysvastusta voidaan yrittää parantaa staattorin uunituksella. Uunituksen jälkeen annetaan staattorin jäähtyä noin 20°C tasolle. Uudelleenmittaus kertoo onko uunitus auttanut. Uudelleenuunitus suoritetaan noin 140°C lämpötilassa muutaman tunnin ajan siten, että staattori pääsee kuivamaan. Mikäli uunituskaan ei auta, staattoria ei voida hyväksyä, vaan on tutkittava missä on vika tai on tilattava kokonaan uusi staattori. Mitä korkeampi on eristysvastus, sitä parempi on staattorin eristyksen kunto.

7.9 Vaihesulku

Vaihesulussa kaksi vaihetta on yhteydessä toisiinsa. Toisioaaltotesterillä saadaan tarkistettua vikatyypin. (kuva 22) /8/. Usein tämä vaiheiden välinen vuotokohta sijaitsee sellaisessa paikassa staattorikäämityksessä, ettei sitä pysty korjaamaan. Tämä lähinnä siksi, ettei vuotokohtaa pystytä tarkasti määrittämään.

Vaihesulku syntyy useimmiten vaiheväliristeen peittämissä seurauksena. Staattori on tämän vian havaitsemisen aikaan useimmiten hartsattu, joten sen korjaaminen on kyseenalaista. Yleensä joudutaan tilaamaan uusi staattori.

Vaihesulun esiintyessä kytkentäkaapeleiden välillä on hyvä mahdollisuus saada vika korjattua vaihtamalla ja eristämällä uudelleen kaapelit.



Kuva 22. Esimerkki vaihesulkuheijasteesta.

7.10 Vastusvirhe

Vastusvirheet jakaantuvat kahteen eri kategoriaan. Näitä ovat mittaustulosten poikkeama laskelmasta tai vaihevastusten keskinäisero. Hyväksymisrajat rutiinikoestusohjeesta. /5/

Vaihekäämien suurin sallittu ero laskennalliseen arvoon

$$R = R_{\text{lask}} \pm 6 \%$$

R = koestuksessa mitatut vaihevastusarvot

R_{las} = suunnittelun määrittämä laskennallinen vaihevastusarvo

Suurin sallittu vastusero moottorin eri vaihekäämien välillä

$$\frac{R_{\text{max}} - R_{\text{min}}}{R_{\text{kesk}}} \leq 2 \% \quad (4)$$

R_{max} = suurin kolmen vaiheen mitatuista vaihevastusarvoista

R_{min} = pienin kolmen vaiheen mitatuista vaihevastusarvoista

R_{kesk} = kolmen vaiheen mitatuista vaihevastusarvoista laskettu keskiarvo

7.10.1 Vaihevastusero

Vaihevastusvirheet syntyvät yleensä amppausvirheen seurauksena. Amppauksessa on voinut jäädä yksi tai useampi lanka ampista ulos, jolloin vaiheiden välinen vastusero syntyy. Sivulla 36 on aiheesta kuva (**Kuva 9**).

Vaurioitunut tai poikennut käämilanka aiheuttaa myös vaihevastusten keskinäiseroa. Esim. roottoria asennettaessa on voitu kolhia käämitystä. Tämä voidaan joissain tapauksissa korjata, kunhan vaurio on rajattu yhteen lankaan ja vaurio on sellaisessa paikassa, että se voidaan luotettavasti korjata. FIMOT-ohjetietokannasta löytyy korjaamiseen ohje./5/

7.10.2 Vaihevastusten poikkeama laskelmasta

Kelausvirhe, joko lankakierrosten määrässä tai lankatyypissä, aiheuttaa mittaustulosten tasaisen poikkeaman laskelmasta. Tämä ongelma voidaan todeta purkamalla jonkin kytkentäkaapelin alta liitos auki. Tarkistetaan laskelmasta lankojen määrät ja tyypit. Vastaavasti tarkistetaan onko staattorin kytkennän ulostulossa samat määrät ja oikean tyyppistä lankaa. Oikean tyyppinen lanka tarkistetaan mittaamalla kunkin langan halkaisija mikrometrillä.

Poikkeama vaihevastusten osalta laskelmasta voi johtua myös niin kutsutusta ”flying leads”- rakenteesta, jossa on pidemmät kytkentäkaapelit. Nämä pidemmät kaapelit ovat usein pituudeltaan noin 2 metriä tai enemmänkin, kun tyyppillisesti kytkentäkaapeleiden pituus on muutama kymmentä senttiä. Näitä pidempiä moottorin ulkopuolisia kaapeleita ei yleensä ole huomioitu laskelmassa.

Väärä staattoripaketti on myös voitu puristaa runkoon. Purkamalla moottorin sekä liitântäkaapelit pois, pystyy väärän staattorin puristamaan ulos ja puristamaan uuden oikean staattorin paikalleen.

8 KEHITYSIDEOITA

8.1 Korjaavien toimenpiteiden dokumentointi

Perinteisesti on dokumentoitu viat notifikaatioiden muodossa SAPIin. Kuitenkin aika-ajoin tulee eteen tilanteita, jolloin ollaan pelkän muistin varassa, kun törmätään vähän harvemmin esiintyviin vikoihin. Korjaavien toimenpiteiden dokumentoinnilla sellaiseen järjestelmään, missä voidaan selata tiettyä vikaa tai vikatyyppejä, voidaan löytää miten aikaisemmin on ko. vika korjattu. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi excelillä tai sharepointilla. Kirjaamalla ylös asioita voidaan tilastoida ja etsiä juurisyitä ongelmiin luomalla tätä tarkoitusta varten sopiva lomake, jossa olisi mahdollista käyttää eri haku- ja sorttaus toimintoja. Lomakkeen luomisessa olisi hyvä olla kokoonpanon henkilöstöä, työnjohtoa sekä laatuosaston edustajia.

8.2 Vikoihin reagointi

Valmistuslinjoilla esiintyviin vikoihin halutaan nykyään puuttua yhä nopeammin. Monessa tilanteessa olisi hyvä kutsua korjaushenkilö esim. rutiinikoestustilanteeseen itse paikalle toteamaan vika ja sen oireet. Tämä helpottaa monesti vian hakua kun ei tarvitse pelkän lapussa olevan tekstin perusteella lähteä vikaa etsimään. Myös uusintakoestustilanteessa on joskus hyvä olla paikalla jos ei muuten niin ihan opin kannalta.

8.3 Pysäytetty lapun kehitys

Viallisen moottorin ohjaamiseen korjauspisteelle käytetään ns. pysäytetty lappua. (**kuva 23**). Tähän lappuun voisi lisätä kentän notifikaationumerolle. Lapun kokoa voisi kasvattaa, jotta saadaan muutama lisärivi ongelman kuvaukseen. Lapun kehittämiseen voisi ottaa mukaan linjan henkilöstöä, työnjohtoa sekä kokoonpanosta vastaava laatuinsinööri.

ABB Oy, Motors **PYSÄYTETTY**

Laji, piirustus _____

Työnumero _____

Poikkeaa vaatimuksista Tutkimus käynnissä

Raportoitu

Pysäytyksen syy: _____

Päiväys, tarkastaja _____

Kuva 23. Pysäytetty lappu.

8.4 Korjaustyöpuiston työkalut

Korjaustyöpuisteessä olisi hyvä olla ikään kuin valmistuslinja pienoiskoossa työkalumielessä.

Sähkömittalaitteista tulisi olla ainakin vastusmittari, jolla mitataan vaihevastusten lisäksi mahdollisten lisälaitteiden resistanssia. Lisäksi eristysvastusmittari ja eristystesteri, joka kulkee myös nimellä ”keppikärri” talon oman väen keskuudessa. Ns. vanhan mallisella eristystesterillä oli mahdollista etsiä maasulut ja vaihesulut staattorin käämityksestä ”polttamalla” käämiä. Uudella testerillä (**Kuva 14**) ei valitettavasti ole tätä mahdollista tehdä. Myös toisioaaltotesteri olisi hyvä olla staattorin ja roottorin kunnan testaamiseen.

Peruskäsityökalujen lisäksi kannattaa olla sopiva valikoima paineilmakoneita purkamiseen ja kasaamiseen sekä hieman mekaanisia mittalaitteita, kuten mittakellot ym. Peruskäsityökalut voidaan hankkia esim. siten, että hankitaan valmis työkaluvaunu työkaluineen. Tällä tavoin jokaisella työkalulla on oma paikkansa ja alue pysyy siistinä.

Sopivat amppipuristimet tulisi myös olla saatavilla. Valmistettavien tuotteiden mukaan valitaan sopivat koot puristimille.

Nostoapuvälineet olisi hyvä olla kilpien ja roottorin nostamiseen. Roottorinostimessa voisi olla kuorman kanssa säädettävä painopiste. Etukäteen ei aina tiedä mikä on roottorin painopiste moottoria purettaessa. Käämityksen kolhimisen ehkäisemiseksi purkuvaiheessa ja uudelleen kasauksessa olisi hyvä nostimessa olla painopisteen säätöominaisuus kuorman kanssa. Tämän kaltainen nostolaite on tällä hetkellä käytössä ainakin 450-runkokoon kokoonpanossa. Nostolaite on mahdollista toteuttaa hieman yksinkertaisemmin esim. päistään laakeroidun trapetsikierteen avulla. Kierretanko-osa on paikallaan pyörivällä asennuksella ja nostopiste liikkuu sitä pitkin nostimen rungon suuntaisesti. Kierreosaa voisi olla hyvä säätää jollain voimahylsällä tms. Toinen vaihtoehto, joka on vielä yksinkertaisempi, on monilovinen ratkaisu, joka on jo käytössä muutamassa paikassa eri valmistuslinjoilla. Monilovisella nostimella on mahdollista säätää nostopistettä laskemalla roottoria kevyesti ja siirtämällä käsin nostopiste sopivaan kohtaan.

Työpisteessä pitää olla riittävä valikoima erikokoisia akselin ja nostimen väliin tulevia nylonista valmistettuja holkkeja ehkäisemään akseliin mahdollisesti syntyviä pintavaurioita.

Erilaisia ulosvetäjiä on myös hyvä olla korjaustyöpisteellä helpottamaan työn suorittamista. Korjaustyöpisteellä laakereiden asentamiseen tulisi olla sopiva induktiolämmitin, jossa on eri kokoisia tankoja laakereiden eri sisähalkaisijan mukaan. Pieni tulityöpiste kaasupulloineen olisi tarpeen osien lämmittämistä varten.

Jokainen korjauspiste tulee mitoittaa siten, että huomioidaan valmistettavat tuotteet ja niiden massat. Tarvittavat työkalut myös siten, että pystyy käsittelemään myös hieman pienempiä ja isompiakin moottoreita.

8.5 Korjaushenkilöstön koulutus

Korjaushenkilöstölle olisi syytä pitää aiheeseen liittyviä koulutuksia sopivin välein. Näitä voisivat olla tuote-, laatu-, mekaniikka-, sähkökoulutukset ja vaikkapa laakerinvalmistajan järjestämät koulutukset.

Koulutuksissa voidaan syventyä erilaisiin ongelmatapauksiin, joita on historian aikana esiintynyt. Ongelmien ratkaisumalleja, analyseja ja erilaisten case-esimerkkien läpikäyntiä. Uusien ohjeiden läpikäyntiä ja ristiinkoulutusta toisille korjaustyöpisteille mahdollisuuksien mukaan.

8.6 Korjaussolun perustaminen

Yrityksen kannalta voisi olla mielekästä perustaa kokonainen korjaussolu. Tässä työpisteessä voisi toimia muutama kokenut työntekijä. Tällä tavoin voidaan ohjata vialliset kappaleet joustavasti ja saadaan kiireelliset vialliset moottorit ohjattua nopeammin korjattavaksi. Tämän tyyppinen ratkaisu on toteutettu MM-rakennuksen alakerrassa sijaitsevalla valmistuslinjalla.

Korjaussolun perustamisella myös työntekijöiden tietotaito karttuu ja jakaantuu paremmin työntekijöiden kesken. Tarvittaessa myös apua saa nopeasti ja läheltä ongelmien ratkaisemiseksi. Välillä myös lisäkäden ovat tarpeen kun on jokin hankalasti asennettava osa. Myös työpisteen työkaluhankinnat saadaan järjeistettyä.

9 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämä opinnäytetyö on aiheensa puolesta ollut mielessä jo useamman vuoden. Osana omaa uraani ABB Moottorit ja Generaattorit-yksikössä olen toiminut korjaustyöpisteessä. Urani aikana olen toiminut myös useassa eri työtehtävässä tuotannossa. Yritys on mahdollistanut tehtäväkiertoa ja sitä kautta on kertynyt kokemusta sopivasti antamaan valmiudet korjaustoimintaan.

Haasteena tämän opinnäytetyön tekemiseksi oli ainakin saada se tieto tuotettua paperille asti. Paljon työssä käsiteltyjä asioita voi työntekijä ehkä pitää itsestäänselvänä. Kuitenkin opinnäytetyö pitäisi pyrkiä laatimaan siten, että sen aiheen voi ymmärtää joku muukin kuin saman yrityksen edustaja. Onneksi olen saanut apua tähän ongelmaan monelta eri henkilöltä yrityksessä. He ovat olleet ystävällisiä ja lukeneet työtäni läpi ja kertoneet onko puutteita, kehityskohtia tai asiavirheitä. Kiitos tästä heille.

Osana valmistuslinjaa on perinteisesti ollut korjaustyöpiste. Tämän työn suorittamiseen ei ole ollut mitään suoranaisia työohjeita. Kokenut työntekijä omaa usein valmiudet hakea vikaa jo kokemuksenkin perusteella. Työ onkin yleensä suoritettu kokeneen työntekijän toimesta ja muun henkilöstön avustuksella tarvittaessa.

Tämän opinnäytetyön varsinainen tarkoitus oli luoda pikaopas, jolla pääsee vianhaussa alkuun. Pikaopas on laadittu exceliin, jota on helppo jatkossa päivittää sitä mukaa kun tulee aihetta. Opas voidaan tallentaa yrityksen verkkolevylle.

Vikaa haetaan usein poissulkevalla menetelmällä ottamalla heti alkuun ne helpot viat pois. Mitä vähemmän tarvitsee purkaa, sitä vähemmän syntyy kustannuksia. Kokoaminen ja purkamisen aiheuttaa helposti pintavaurioita moottorin eri osiin, joten sikäläkin tulisi välttää turhaa purkamista.

Toivon, että tämä tuotos auttaa tulevaisuudessa muita ja antaa ajatuksia tämänkin työvaiheen kehittämiseen.

10 LÄHTEET

- /1/ ABB Motors and Generators internetsivut yleisesittelykalvot. Viitattu 18.02.2014.
<http://fi.inside.abb.com/cawp/gad00092/76c35e2b5047905fc12575630046b5a7.aspx>
- /2/ ABB Motors and Generators internetsivut tuloskalvot ABB Suomessa, avainluvut 2013. Viitattu 18.02.2014.
<http://fi.inside.abb.com/cawp/gad00742/966A61CE23D1F269C12572A6002E2585.aspx>
- /3/ Sähkökoneet osa 1. Viitattu 18.02.2014.
www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/10sahkokoneet_1osa.pdf
- /4/ ABB Motors and Generators internetsivut esitelehtiset yksiköittäin. Viitattu 18.02.2014. <http://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK105408A8219&LanguageCode=fi&DocumentPartId=&Action=Launch>
- /5/ ABB Motors ja generators sisäinen ohjetietokanta. Viitattu 19.02.2014. FIMOT-ohjeet.
- /6/ International Electrotechnical Commission (2010). IEC 60034-1 Rotating electrical machines – Part 1: Rating and performance. 51 s.
- /7/ International Electrotechnical Commission (2007). IEC 60034-14 Rotating electrical machines – Part 14: Mechanical vibration of certain machines with shaft heights 56 mm and higher – Measurement, evaluation and limits of vibration severity. 17 s.
- /8/ ELECTROM INSTRUMENTS TIG Winding analyzer instruction manual model D. Viitattu 19.02.2014.
<http://www.electrominst.com/TIGManualModD.pdf>
- /9/ Hauru, A 2013, Teknologiakehitys, ABB Motors and Generators, Vaasa, sähköposti 2013.
- /10/ An analytical approach to solving motor vibration problems. Viitattu 02.04.2014.
<http://www.industry.usa.siemens.com/drives/us/en/electric-motor/anema-motors/specification/Documents/approach-to-solving-motor-vibration-prob.pdf>

LIITE**I0 Tyhjäkäyntivirta**

Oire	Syy	Toimenpide
I0 liian pieni	1) Roottorin halkaisija liian suuri,ilmaväli pieni.	Tarkista ja mittaa halkaisija. Sorvauta tarvittaessa oikeaan mittaan.
	2) Laskelmavirhe	Yhteys sähkösuunnitteluun.
	3) Väärä roottori	Tarkista roottorin tyyppi ja vaihda tarvittaessa.
	4) Väärä staattori	Tarkista staattorin tyyppi ja vaihda tarvittaessa.
	5) Viallinen staattori	Tilaa uusi staattori.
I0 liian suuri	1) Roottorin halkaisija liian pieni	Mittaa roottorin halkaisija. Tilaa tarvittaessa uusi roottori.
	2) Väärä roottori	Tarkista roottorin tyyppi. Mittaa paketin pituus ja laske uraluku.
	3) Roottoripaketin asema staattoripakettiin nähden.	Tarkista asemointi esim. purkamalla N-pään kilpi pois. Tarkista roottorista A-mitta sekä Staattorirungosta E-mitta. Lähetä poikkeavat osat tarpeen ja mahdollisuuden mukaan puristettavaksi oikeaan kohtaan.
	4) Epäonnistunut häkkivalu	Tilaa uusi roottori.
	5) Roottorissa väärä uraluku	Tilaa uusi roottori.
	6) Roottorissa väärä uravinous	Tilaa uusi roottori.
	7) Staattorissa huono liitos jossain sisäisen kytkennän tai kytkentäkaapelin kohdassa	Korjaa liitos jos mahdollista.
	8) Kelausvirhe	Tilaa uusi staattori
Vaihe-ero	9) Staattorissa huono liitos jossain sisäisen kytkennän tai kytkentäkaapelin kohdassa	Korjaa liitos jos mahdollista.

Ikm Oikosulkuvirta

Oire	Syy	Toimenpide
Ikm oikosulkuvirta heittää laskelmasta	1) Epäonnistunut häkkivalu	Tilaa uusi roottori.
	2) Laskelmavirhe	Yhteys sähkösuunnitteluun.

KytKentävirhe

Oire	Syy	Toimenpide
Vaihevastusero / Vaihe-ero	1) Huono liitos	Korjaa liitos
	2) Käämilanka / lankaa poikki	Korjaa katkos jos mahdollista. Huomio ohje FIMOT 0957 korjaustavat eriste- ja käämilankavaurioissa.
	3) Kelausvirhe	Tilaa uusi staattori
	4) Sisäinen kytKentä ristissä	Korjaa kytKentä jos mahdollista.
Moottori murisee	1) Sisäinen kytKentä väärin	Korjaa kytKentä jos mahdollista.
	2) Liitäntävirhe	

Maasulku

Oire	Syy	Toimenpide
Vaihe vuotaa maihin	1) Eristys viallinen tai rikki staattorissa.	Korjaa eriste jos mahdollista huomioiden FIMOT-ohjekannan ohjeet eristysluokkien osalta jne.
	1) Eristys viallinen tai rikki staattorissa.	Tilaa uusi staattori
	2) KytKentäkaapelissa vaurio staattorirungon liitinaukon kohdalla ja johdin osuu runkoon.	Vaihda tai korjaa kytKentäkaapeli. Huom. Eristysohjeet.
	3) Jokin esine, arvokilpi tai esim. liitinosapussi tai työkalu on jäänyt koestustilanteessa pääkotelon liittimien kohdalle.	Tarkista ja poista ylimääräiset esineet.
	4) Metallilastu käämityksessä.	Poista ja eristä

Lisälaitevirhe

Oire	Syy	Toimenpide
Lisälaite pimeänä	1) Katkennut johdin tai huono liitos	Korjaa liitos tai vaihda uusi lisälaite
	2) Lisälaite rikki	Asenna uusi lisälaite
	3) Lisälaite väärin kytketty	Korjaa kytkentä
Lisälaite näyttää väärää arvoa mitattaessa	1) Huono liitos	Tarkista ja korjaa liitos. Huom eristysohjeet
	2) Väärin kytketty lisälaite. Rinnan/sarjaan	Tarkista ja korjaa kytkentä
	3) Väärän tyyppinen lisälaite	Asenna uusi oikea lisälaite. Huom. Eristä vanha pois.

Tärinä

Oire	Syy	Toimenpide
Moottori tärisee koetuksessa - tärinä jatkuu virran katkaisun jälkeen (mekaaninen tärinä)	1) Rutiinitestaus tehty väärällä kiilalla	Uusintatestaus oikealla kiilalla
	2) Roottori tasapainoitettu väärällä kiilalla	Varmista työkortista oikea kiila. Tasapainotuta roottori uudelleen oikealla kiilalla.
	3) Roottori tasapainotettu väärään tasapainotusluokkaan	Varmista työkortista oikea tasapainotusluokka ja tasapainotuta tarvittaessa roottori oikeaan luokkaan.
	4) Laakeripohjan ja akselin välillä kitkaa tai materiaalia	Varmista akselin kunto, vaihda laakeripohja varmuuden vuoksi. Akselin ollessa vaurioitunut liikaa - (laatuinsinööriä lausunto), tilaa uusi roottori
	5) Laakeroinnin esikiristys ei toimi, aaltojousi/jouset puuttuu	Asenna jousitus
	6) Laakeroinnin esikiristys ei toimi, Laakeripinnan voitelu puuttuu kilven laakeripinnalta	Voitele Laakerikilven ja laakerin ulkopinnan välinen pinta esim. (KLUBER ALTEMP Q NB 50) pastalla
	7) Moottorin geometriset poikkeamat roottorin ja staattorirungon välillä	Mittauta osat tarvittaessa mittakopilla, vaihdetaan osia tulosten perusteella
	8) Materiaalia roottorin ja staattorin välillä ilma-araossa	Poistetaan ilma-araosta sinne kuulumaton materiaali
	9) Mekaaninen kitka jossain pyörivän ja paikallaan olevan osan välillä	Varmistetaan vapaa pyörintä, poistetaan kitkan aiheuttaja - vaihdetaan osia
	10) Puutteellinen voitelu	Voidellaan laakerointia

Moottori tärisee - sähköinen värinä	1) Epäsymmetrinen ilmarako	Tarkista staattorirungon geometria - staattoriaukon ja päätykilpien ohjauksen samankeskeisyys
	2) Epäsymmetrinen ilmarako - staattoriaukko on soikea	Tilaa uusi staattori
	3) Epäonnistunut roottorin häkkivalu	Tee roottorin kääntötesti, jolla toteat viallisen valun. Tilaa uusi roottori jos tarpeen
	4) Viallinen staattori	Tarkista sähköiset suoritusarvot ja sisäiset kytkennät, tilaa uusi staattori jos korjaus ei onnistu tai vikaa löydy
	5) Tuplataajuustärinä - ilmarako	Tarkista ilmaraon tasaisuus koko kierroksen matkalta
	6) Tuplataajuustärinä - moottorin rakenteen resonanssi	Vaihda jäykempi runko
	7) Väärä uraluku roottorissa	Tilaa uusi roottori
	8) Väärä uravinous roottoris- sa	Tilaa uusi roottori

Liitännäsvirhe

Oire	Syy	Toimenpide
Vaihevastusero	1) Ristiinkytkentä	Tarkista ja korjaa kytkentä
	2) Liitos löysällä	Tarkista kytkentäkaapeleiden amppaukset ja liittimien ruuviliitokset.
Väärät liitännäsovat	1) Asennusvirhe	Asenna oikeat osat
	2) Virheellinen tieto	Yhteys suunnitteluun ja tarvittaessa asennetaan oikeat osat.

Eristysvastus

Oire	Syy	Toimenpide
Heikko eristysvastus	1) Maasulku	Mitataan eristyskoe. Tarvittaessa katso lisätietoa välilehdeltä maasulku.
	2) Hartsi märkää	Staattorin uudelleen uunitus, minkä jälkeen uusintamittaukset.
	3) Hartsi märkää - uunitus ei auta	Tilaa uusi staattori
	4) Puutteellinen tai vaurioitunut eristys	Tilaa uusi staattori

Vaihesulku

Oire	Syy	Toimenpide
Vaiheiden välillä on yhteys	1) Vaihevälieristys pettänyt tai puuttuu.	Tilaa uusi staattori
	2) Ristiinkytkentä	Tarkista ja korjaa kytkentä
	3) Ylimääräisiä esineitä liitännässä.	Tarkista ja poista esineet

Vastusvirhe

Oire	Syy	Toimenpide
Vaihevastukset poikkeavat laskelmasta	1) Väärä staattori	Tarkista ja vaihda staattori jos tarpeen
	2) Kelausvirhe	Tilaa uusi staattori
	3) Lentokaapelirakenne	Sähkösuunnittelusta lupa hyväksyä koestustulokset

Vaihevastusten keskinäisero	1) Epäonnistunut amppausliitos	Korjaa amppausliitos
	2) Lanka poikki tai vaurioitunut	Korjaa jos mahdollista - Huom. Ohje FIMOT 0957
	3) Kelausvirhe, Vaiheiden välinen ero lankamäärässä tai tyypissä	Tilaa uusi staattori
	4) Vaurioitunut tai irtonainen kytkentä	Tarkista ja korjaa