



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Harald Värs

# HYÖTYSUHDEPOIKKEAMIEN RATKAISUMENETELMÄT

Tekniikka  
2017

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Harald Värs
Opinnäytetyön nimi	Hyötysuhdepoikkeamien ratkaisumenetelmät
Vuosi	2017
Kieli	suomi
Sivumäärä	37 + 1 liitettä
Ohjaaja	Kari Jokinen

Tämän opinnäytetyön aiheena oli tuottaa hyötysuhdepoikkeamien selvittämiseksi ratkaisumenetelmäkaavio sähkömoottoreita valmistavaan yritykseen. Kaavion on määrä palvella laatu-, lopputestaus- ja suunnittelutehtävissä toimivia henkilöitä. Opinnäytetyössä pyritään kattamaan yleisimmät menetelmät hyötysuhdepoikkeaman selvittämiseksi. Työn tarkoituksena ei ollut tutkia hyötysuhdepoikkeamaan johtavia syitä yksityiskohtaisesti.

Tähän työhön kerättiin aineistoa kevään 2017 aikana, tutustuen aiheeseen liittyviin standardeihin ja haastatellen henkilökuntaa eri osastoilta. Myös vanhoja tietokantaan kirjattuja tapauksia tutkittiin.

Työn aikana selvitettiin, miten poikkeamia on aikaisemmin ratkaistu ja mitä asioita on otettu huomioon ratkaisujen päätöksissä. Suuri syy tälle opinnäytetyölle oli käytettyjen ratkaisumenetelmien dokumentoinnin puute. Tietotaito oli henkilöstön avainhenkilöillä, mutta yhteistä käsitystä toimintatavoista ei aina ollut.

Kerätyn aineiston pohjalta tehtiin kaavio, missä luetellaan yleisimmät hyötysuhdepoikkeaman ratkaisumenetelmät ja ratkaisumenetelmän arviointiperusteille taustatietoa.

## ABSTRACT

Author	Harald Värs
Title	Solution Methods for Motor Efficiency problems
Year	2017
Language	Finnish
Pages	37 + 1 Appendix
Name of Supervisor	Kari Jokinen

---

The aim of this thesis was to provide a solution method chart of motor efficiency problems for a motor manufacturing company. The chart is intended to serve the staff of quality department, final testing and design departments. The aim of the thesis is to cover most common methods for solving the efficiency problems. The purpose of the study was not to investigate the causes of the efficiency deviation in detail.

The material for this work was collected during the spring of 2017, by familiarizing with relevant standards and interviewing staff members from different departments. Also old cases recorded in the database were investigated. It was investigated how the efficiency deviations were previously solved and what issues have been taken into account during the time of decisions. The main reason for this thesis was the lack of documentation of the solution methods used for solving the efficiency problems. Only the key personnel had skills to solve the problems and there was not always a common perception what solutions to use.

Based on the collected data, a diagram was drawn up, listing the most common methods for solving the efficiency deviation and some background information for the evaluation.

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	8
2	YRITYSESITTELY .....	9
3	OIKOSULKUMOOTTORI JA SEN HYÖTYSUHDE .....	10
	3.1 Moottorin yksivaiheinen sijaiskytkentä .....	10
	3.2 Häviötehoja vastaavat vastuskomponentit ja virrat .....	11
	3.3 Sijaiskytkennän häviötehot .....	12
	3.4 Hyötysuhde ja häviötehot .....	13
	3.4.1 Virtalämpöhäviöt.....	14
	3.4.2 Rautahäviöt .....	14
	3.4.3 Lisähäviöt.....	17
4	STANDARDIT JA ALUEKOHTAISET SÄÄNNÖKSET .....	19
	4.1 Standardien vaatimukset hyötysuhteeseen.....	20
	4.2 Standardien vaatimukset mittauksiin .....	21
	4.3 Standardien asettamat suositellut hyötysuhteen mittaustavat .....	22
	4.4 Epäsuoran hyötysuhdemäärityksen mittaukset .....	24
5	TYÖN TOTEUTUS .....	25
	5.1 Ratkaisukaavion kuvaus.....	28
	5.2 Mekaanisten häviöiden vähentäminen .....	29
	5.3 Muiden häviötehojen vähentäminen .....	31
	5.4 Ratkaisumenetelmien yhteenveto .....	31
6	KEHITYSIDEOITA.....	33
7	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA .....	34
	LÄHTEET.....	36
	LIITE.....	1

**KUVALUETTELO**

Kuva 1. Moottorin yksivaiheinen sijaiskytkentä /5/. .....	11
Kuva 2. Moottorin osahäviöt /5/. .....	13
Kuva 3. Erään moottorin tehojen prosentuaalinen jakauma /7/. .....	14
Kuva 4. Kahden ferromagneettisen materiaalin hystereesikäyrät /6/. .....	16
Kuva 5. Pyörrevirta rautalevyssä /7, s. 199/. (Kuvaa muokattu) .....	17
Kuva 6. Moottorin lisähäviöt suhteessa ottotehoon /5/. .....	18
Kuva 7. IE-luokat /9/. .....	19
Kuva 8. MEPS-asetusten maakohtainen tilanne /8/. .....	20
Kuva 9. Epäsuoran hyötysuhdemittauksen testauskaavio /11/. .....	23
Kuva 10. SAP-tietokannan notifikaatioita. ....	25
Kuva 11. Erään notifikaation selvityskeskustelu (kuvaa muokattu). .....	26
Kuva 12. Loppuun käsitelty hyötysuhdenotifikaatio (kuvaa muokattu). .....	26
Kuva 13. Koekentällä tehtyjen notifikaatityyppien jakauma prosentteina vuonna 2016. ....	27
Kuva 14. Koekentän hyötysuhdenotifikaatioiden jakauma prosentuaalisesti runkokoottain 2016. ....	28

**LIITELUETTELO****LIITE 1.** Hyötysuhdenotifikaation ratkaisumenetelmäkaavio

**LYHENTEET JA KÄSITTEET**

ABB	Asea Brown Boweri
IEC	International Electro technical Commission, kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio
KK	Moottori tehtaan nimi Strömberg Parkissa
MEPS	Minimum Energy Performance Standard
MM	Moottori tehtaan nimi Strömberg Parkissa
SAP	Systems, Applications & Products in Data Processing, yrityksen toiminnanohjausohjelmisto

## 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan koekentällä todettujen moottorin hyötysuhdepoikkeamien selvittämiseen käytettyjä ratkaisumenetelmiä. Tarve opinnäytetyön aiheelle syntyi, kun huomattiin dokumentoidun ohjeen puuttuvan hyötysuhdepoikkeamatapauksien ratkaisemiseksi. Tähän asti tieto menettelytavoista on ollut yksittäisillä pitkän työkokemuksen hyötysuhdeongelmien selvittämisessä toimineilla henkilöillä, eikä tieto ole ollut laajassa tiedossa kollegojen kesken. Dokumentoinnin puute on aiheuttanut ongelmia esimerkiksi työtehtävään perehdyttämisessä sekä henkilöstön hyötysuhdepoikkeaman ratkaisemisessa johdonmukaisesti samankaltaisissa poikkeamissa.

Toimintatapojen selvittämiseksi on tutkittu yrityksen SAP-toiminnanohjausjärjestelmään kirjattuja notifikaatioita hyötysuhteeseen liittyen ja käyty keskusteluja eri osastojen henkilöstön kanssa, miten hyötysuhdepoikkeamaa on analysoitu ja mitä menetelmiä on käytetty ratkaisuksi. Tutkitut notifikaatiot on kirjattu koekentällä molemmista Vaasan yksikön kahdesta moottoreita valmistavasta operatiivisesta yksiköstä; MM ja KK.

Henkilöstön kanssa käytyjen keskustelujen avulla pyrittiin saamaan myös parempi käsitys, miten ongelman analysointi jakautuu henkilöstön kesken poikkeaman ratkaisutilanteessa. Näin jaettiin asian analysointia eri osa-alueille ja selvitettiin millaisia ratkaisuja analysoinnin eri vaiheissa voitiin tehdä. Näistä ratkaisumenetelmistä koottiin kaaviomuotoinen dokumentti.

Opinnäytetyössä on tutkittu moottoreita, joista on tehty hyötysuhteen määrittelylevä tyyppitesti koekentällä ja merkitty notifikaatio SAP-toiminnanohjausjärjestelmään. Asiakasreklamaatiosta tulleita hyötysuhdepoikkeamia ei ole tässä opinnäytetyössä tutkittu. Työssä on pohdittu hyötysuhdepoikkeaman juurisyytä, mutta niihin ei ole tarkemmin pureuduttu. Standardien tarkastelu on rajattu kahteen IEC:n tekemään julkaisuun ja MEPS-asetuksia on tutkittu vain Euroopan Unionin osalta.



## 2 YRITYSESITTELY

ABB Oy on alun perin muodostunut, kun kaksi yritystä on yhdistynyt vuonna 1988: ruotsalainen Asea ja sveitsiläinen Brown Boveri. ABB Oy on teknologia-alan yritys, joka tuottaa laajan valikoiman teollisuustuotteita ympäri maailmaa. Yrityksen toiminta on jakautunut neljään divisioonaan: Electrification Products, Robotics and Motion, Industrial Automation ja Power Grids. Pääkonttori sijaitsee Zürichissä, Sveitsissä ja kokonaisuudessa yrityksessä työskenteli vuonna 2016 noin 132 000 henkilöä yli 100 maassa. /1-2/.

ABB Oy työllisti vuonna 2016 Suomessa noin 5100 henkilöä ja liikevaihto oli vuonna 2016 noin 2,2 MEUR. Vaasan lisäksi ABB Oy :n tehdaskeskitymiä Suomessa on Helsingissä, Haminassa ja Porvoossa. /1-2/.

ABB Oy Motors and Generators –yksikkö kuuluu Robotics and Motion -divisioonaan. Suomen yksikkö panostaa korkean hyötysuhteen moottorien ja generaattorien tuotekehitykseen ja tutkimustyöhön ja tuotteiden valmistusta on Vaasan ja Helsingin yksiköissä. Vaasassa valmistetaan ja kehitetään laajalti pienjännitemoottoreita vaativiin käyttöihin. Helsingin Pitäjänmäen tehtaalla erikoistutaan korkeajännite- ja kestopagneettimoottoreihin sekä dieselgeneraattoreihin. /1,3/.

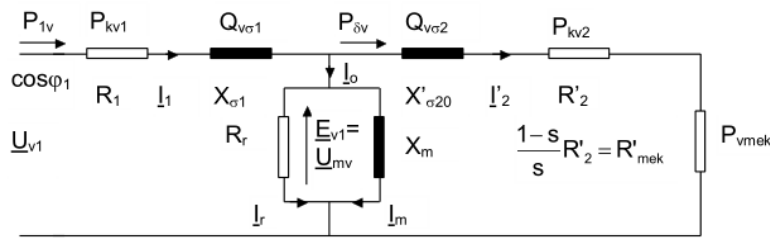
Moottoreita valmistetaan Vaasassa kahdessa operatiivisessa yksikössä ja tuotevalikoima jakautuu niin, että pienemmät moottorit (akselikorkeus 71 – 250 mm) valmistetaan KK –yksikössä ja isommat moottorit (akselikorkeus 250 – 450 mm) MM –yksikössä. ABB Oy :ä on Vaasan Strömberg Parkissa moottorivalmistuksen ohella myös muuta tuotevalmistusta, kuten erikoismuuntajia, kytkinlaitteita, releitä ja sähköjakeluun liittyviä laitteistoja ja ratkaisuja sekä tehdastietojärjestelmiä. /3/.

### 3 OIKOSULKUMOOTTORI JA SEN HYÖTYSUHDE

Oikosulkumoottori kolmivaiheisesti syötettynä synnyttää staattori- ja roottorikäämityksen yhteisvaikutuksesta moottorin ilmvälisiin pyörivän magneettikentän, jonka vuoviivat leikaavat roottorikäämin, roottorin käydessä jättämällä. Jättämä kuvaa sitä, että roottori pyörii hitaammin kuin verkon taajuuden määräämä tahtinopeus. Jättämä aiheuttaa sähkömotorisen voiman roottoriin, joka saa aikaan roottorivirran. Lorenzin-voiman mukaisesti virran ja pyörivän magneettikentän voimavaikutus saa aikaan vääntömomentin ja näin moottori voi pyöriä, kunhan vastavoima on ylitetty. /4/.

#### 3.1 Moottorin yksivaiheinen sijaiskytkentä

Oikosulkumoottorin sähköinen rakenne voidaan esittää yksivaiheisena sijaiskytkentänä (**Kuva 1.**). Sijaiskytkennässä oletetaan, että roottorilla ja staattorilla on samanlaiset vyyhdeistä tehdyt käämitykset ja roottori on lukittu paikoilleen, niin ettei se pääse pyörimään. Näin voidaan sanoa, että moottori toimii kuin muuntaja ja energia siirtyy pyörivän magneettikentän välityksellä. Syntyneen tilanteen avulla voidaan kuvata moottorin toimintaa yksinkertaistettujen kaavojen avulla. Tämä auttaa ymmärtämään hyötysuhteeseen vaikuttavia ilmiöitä. Työssä tutkittavat hyötysuhtenotifikaatiot johtuvat usein jostain hyötysuhdetta heikentävästä häviöstä tai häviöistä, jotka poikkeavat suunnitellusta laskennasta. Poikkeama hyötysuhteessa voi johtua myös suunnittelu- tai mittausvaiheessa tehdystä virheestä. /5/.



**Kuva 1.** Moottorin yksivaiheinen sijaiskytkentä /5/.

Koska moottorin tilanne muistuttaa muuntajaa, voidaan toision arvot redusoida samalla tavalla kuin oikean muuntajan tapauksessa. Silloin saadaan keskeisreaktanssin avulla määritettyä staattorin hajareaktanssi  $X_{\sigma 1}$ , roottorin hajareaktanssi  $X_{\sigma 2}$  sekä magneetoimisreaktanssi  $X_m$ . /5/.

### 3.2 Häviötehoja vastaavat vastuskomponentit ja virrat

Resistansseilla  $R_l$ ,  $R_r$ ,  $R'_2$  ja  $R'_{mek}$  kuvataan pätötehoa kuluttavaa komponenttia, joka voidaan havaita lämpenemänä tai mekaanisena tehona.  $R_l$  kuvaa staattorissa tapahtuvaa lämpöhäviötä käämijohtimissa. Se on merkitty sijaiskytkentään ”pitkittäiseksi” komponentiksi. Pitkittäiskomponentilla kuvataan sitä, että komponenttiin vaikuttaa moottorin virta  $I_l$ . Lämpöhäviöiden voidaan olettaa olevan verrannollisia moottorin virtaan nähden neliöllisiä. Sama pätee roottorin lämpöhäviöitä kuvaavaan  $R'_2$  komponenttiin. Roottorin lämpöhäviötä ja virtaa kuvaavat komponentit  $R'_2$  ja  $I'_2$  arvot on redusoitu kuvaamaan ensiöpuolen näkemää arvoa. /5/.

$R_r$  kuvaa rautahäviöitä rautasydämessä, mutta vain staattorin osalta. Roottorin rautahäviöitä ei oteta huomioon, koska ne ovat normaalitilanteessa vähäisiä johtuen siitä, että moottori pyörii miltei samaa nopeutta magneettikentän kanssa. Rautahäviöt on merkitty sijaiskytkentään poikittaisena komponenttina tarkoittaen, että komponenttiin vaikuttaa moottorin jännite ja virta  $I_r$ . Rautahäviöiden voidaan olettaa olevan verrannollisia vuontiheyden neliöön ja koska vuon tiheys on verrannollinen jännitteeseen voidaan olettaa, että rautahäviöt ovat verrannollisia jännitteen neliöön. /5/.

Mekaanista tehoa kuvaava vastuskomponentti  $R'_{mek}$  voidaan määritellä seuraavasti:

$$R'_{mek} = \frac{1-s}{s} * R'_2 \quad (1)$$

S on moottorin jättämä.

Yksivaiheisen sijaiskytkennän häviötehojen vastuskomponenttien vaikuttavat virrat saadaan seuraavasta kaavasta:

$$I_1 = I_0 + I'_2 \quad (2)$$

$I_0$  on rautahäviöihin vaikuttava kokonaisvirta, joka määritellään seuraavalla kaavalla:

$$I_0 = I_r + I_m \quad (3)$$

, missä  $I_m$  on keskinäisreaktanssiin vaikuttava virta. /5/.

### 3.3 Sijaiskytkennän häviötehot

Kun tiedetään vastuskomponentteihin vaikuttavat virrat, voidaan laskea häviöiden pätötehojen arvot. Staattorin tehohäviö  $P_{k1}$  saadaan kaavasta:

$$P_{k1} = 3 * I_1^2 * R_1 \quad (4)$$

Roottorin tehohäviö  $P_{k2}$  saadaan kaavasta:

$$P_{k2} = 3 * I'^2_2 * R'_2 \quad (5)$$

Rautahäviöiden häviöteho  $P_r$  saadaan kaavalla:

$$P_r = 3 * I_r^2 * R_r \quad (6)$$

Mekaaninen teho  $P_{mek}$  saadaan seuraavan kaavan avulla:

$$P_{mek} = 3 * \frac{1-s}{s} * I'^2_2 * R'_2 \quad (7)$$

$P_{mek}$  mikä käsittää molemmat tehot, moottorin antotehon  $P_2$  ja mekaanisen häviötehon  $P_\mu$ , seuraavan kaavan mukaan:

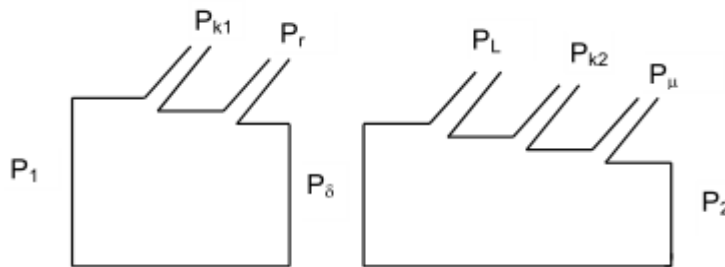
$$P_{mek} = P_2 + P_\mu \quad (8)$$

/5/.

### 3.4 Hyötysuhde ja häviötehot

Sähkömoottorit ovat teollisuudessa käytössä esimerkiksi erilaisina voimanlähteinä ja käyttävät ison osan teollisuuden käyttämästä kokonaissähkötehosta. Koska maailman energian tarve nousee yhä kiivaammin, on äärimmäisen tärkeää, että kulutettu energia voitaisiin käyttää mahdollisimman hyvin hyödyksi. Hyötysuhteeltaan parempi, mutta ostotilanteessa kalliimpi moottori, voi merkitä suuria säästöjä yritykselle energiakustannuksissa. Paremman hyötysuhteen moottorin valitsemisella on myös välitön vaikutus energiatuotannon ympäristövaikutuksiin, koska tuotettava energian määrä vähenee ja energian tuotannon päästöt vähenevät.

/6/.

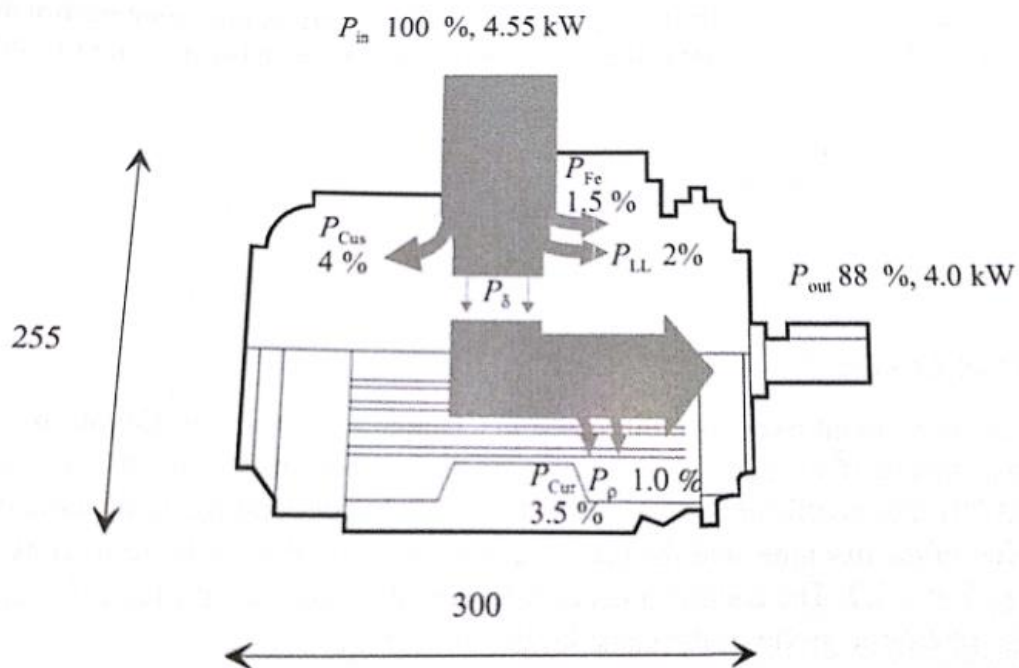


**Kuva 2.** Moottorin osahäviöt /5/.

Hyötysuhde  $\eta$  määritellään verkosta otetun tehon, eli ottotehon  $P_1$  ja akselilta saadun mekaanisen tehon, eli antotehon  $P_2$  suhteena (**Kuva 2.**). Kun moottorin ottotehosta vähennetään moottorin häviöt, saadaan antoteho. Seuraavassa kaavassa määritellään hyötysuhde sen osahäviöiden avulla.  $P_r$  kuvaa kaavassa rautahäviöitä,  $P_\mu$  kitkahäviöitä,  $P_{k1}$  staattorin lämpöhäviöitä,  $P_{k2}$  roottorin lämpöhäviöitä ja  $P_L$  lisähäviöitä. /5/.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - P_h}{P_1} = \frac{P_1 - (P_r + P_\mu + P_{k1} + P_{k2} + P_L)}{P_1} \quad (9)$$

Hyötysuhteen arvo kertoo, kuinka paljon saadaan tehoa ulos sähkömoottorin akselilta suhteessa siihen, millaisen tehon moottori ottaa sähköverkosta. Seuraava kuva esittää erään 4 kW leimausteholla olevan moottorin tehotasapainoa, missä  $P_{Cus}$  kuvaa virtalämpöhäviöitä staattorin kuparikäämityksessä,  $P_{Fe}$  rautahäviöitä,  $P_{LL}$  lisähäviöitä  $P_{\delta}$  ilmavälitehoa,  $P_{Cur}$  roottorin virtalämpöhäviöitä ja  $P_{\rho}$  kitkahäviötä (**Kuva 3.**). /7, s. 525/.



**Kuva 3.** Erään moottorin tehojen prosentuaalinen jakauma /7/.

### 3.4.1 Virtalämpöhäviöt

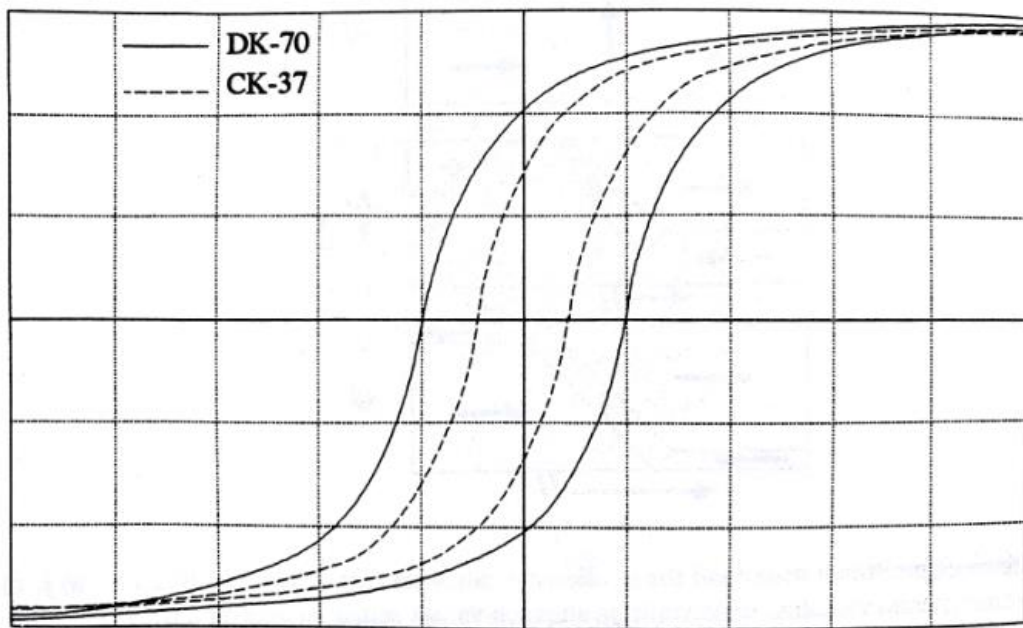
Kun virta kulkee johtimen läpi staattorissa tai roottorissa, se aiheuttaa johtimien lämpenemistä ja tätä lämpenemistä vastaavaa tehoa kutsutaan virtalämpöhäviöiksi. Kuvan 4 esimerkissä nähdään, että lämpöhäviöt staattorissa  $P_{Cus}$  ja roottorissa  $P_{Cur}$  saavat aikaan 7,5 % häviöt moottoriin syötetystä tehosta, mikä vastaa 341,25 W ja on kokonaishäviöistä (550 W) 62 % (**Kuva 3.**). /7, s. 524-525/.

### 3.4.2 Rautahäviöt

Tyypillisen oikosulkumoottorin staattori- ja roottoripaketti on valmistettu erillisistä rautayhdistelevyistä, mitkä on eristetty toisistaan eristemateriaalilla. Levyt

muodostavat yhdessä rautapiirin. Rautahäviöitä muodostuu moottorissa kaikkialla staattorin ja roottorin rautapiireissä. Ne muodostuvat pääosin hysteresis- ja pyörrevirtahäviöistä, mutta myös staattorihampaiden ja roottorin pinnalla yliaaltohäviöistä. Rautalevyissä käytetty materiaali vaikuttaa hysteresishäviöihin. Pyörrevirtahäviöihin vaikuttavat rautalevyjen paksuus sekä käytetyn materiaalin resistiivisyys. /6./

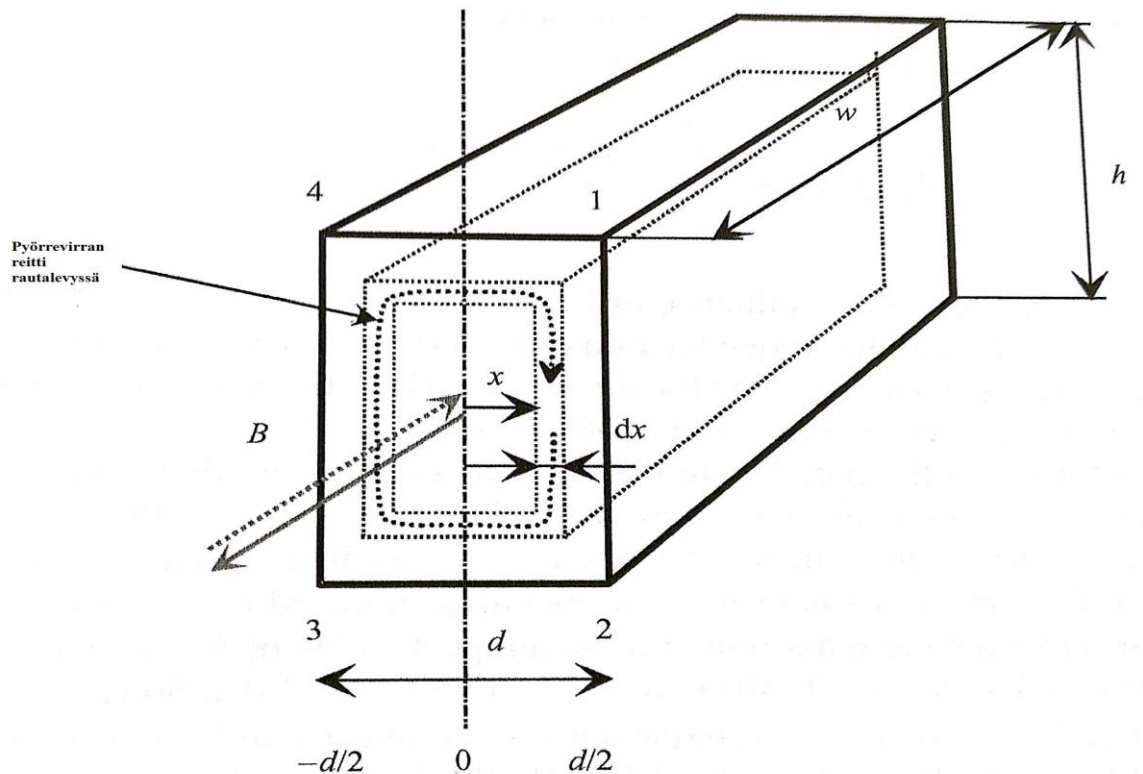
Hysteresishäviöt muodostuvat, kun rautasydämenä käytetyn ferromagneettisen aineen sisällä Weissin-alueiksi kutsutut alueet vaihtavat suuntaansa ulkoisen magneettikentän toimesta. Tämä muutos aiheuttaa materiaalin sisäistä kitkaa ja näin syntyy lämpöhäviöitä. Weissin-alueiden muutosta vastustavia ominaisuuksia ja näin myös sisäistä kitkaa, voidaan muuttaa käyttäen rautasydämen materiaalina tarkoin valittuja yhdisteitä. Kuvassa 4 on kaksi eri ferromagneettisen materiaalin hystereesikäyrää, missä käyrän sisään jäävä pinta-ala kuvaa yhden jakson aikana tapahtuvaa lämpöhäviötä, eli hystereesihäviötä. Materiaalin valinnalla on myös muita vaikutuksia magneettisiin ominaisuuksiin, joten oikeanlaisen materiaalin käyttö moottorissa on arvioitava tarkoin. /6./



**Kuva 4.** Kahden ferromagneettisen materiaalin hysteresisikäyrät /6/.

Pyörrevirtahäviöt muodostuvat magneettivuon vaihtelun vaikutuksesta. Muuttuva vuo indusoi rautamateriaaliin jännitteen, mikä saa aikaan pyörrevirran. Pyörrevirta pyrkii vastustamaan vuon muutosta rautamateriaalissa. Kuvassa 5 nähdään pyörrevirran kulkureitti magneettivuon B suuntaviivan ympärillä. Pyörrevirrat ovatkin iso syy sille, miksi rautasydän valmistetaan rautalevyistä, eikä yhdestä isosta kappaleesta. Pyörrevirrat muodostuisivat yhdessä kappaleessa erittäin suuriksi. /7, s. 198/.



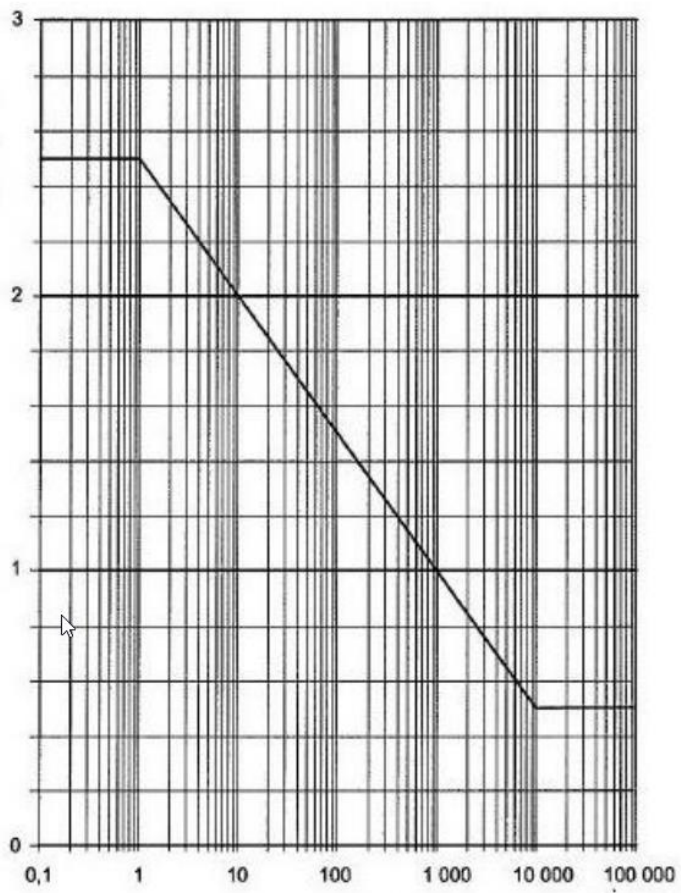


**Kuva 5.** Pyörrevirta rautalevyssä /7, s. 199/. (Kuvaa muokattu)

### 3.4.3 Lisähäviöt

Lisähäviöt määritellään vähentämällä moottorin kokonaishäviöstä mekaaniset häviöt, sekä edellä mainitut virtalämpö- ja rautahäviöt käyttäen mittaus- ja laskentatuloksia, mitkä on tehty IEC:n määrittelemän standardin IEC 60034-2-1. Lisähäviöt muodostuvat monista fysikaalisista ilmiöistä, joita voidaan mallintaa, mutta niitä on vaikea laskea tarkasti. Kuvassa 6 esitetään lisähäviöiden laskennallinen määrä ottotehosta suhteessa moottorin nimellistehoon.

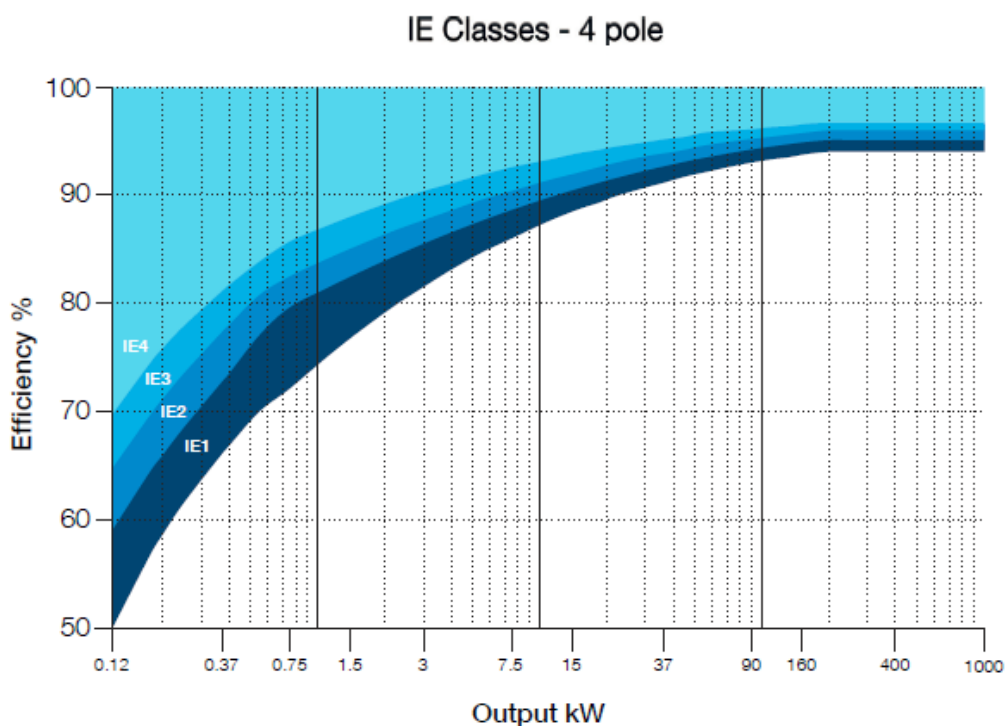
Lisähäviöt ottavat huomioon esimerkiksi käämityksen ja roottorin virranahtoilmion, mitä ei oteta huomioon virtalämpöhäviölaskelmissa, koska virtalämpöhäviöitä laskettaessa standardin IEC 60034-2-1 mukaan, käytetään resistanssin tasavirta-komponenttia. Lisähäviöihin kuuluu myös kuormituksesta johtuvia häviöitä, mitä ei voida ottaa huomioon häviötehon laskennassa. Esimerkiksi rautahäviöiden laskennassa, mittauksen yksinkertaistamiseksi, oletetaan roottorin rautahäviöt niin pieniksi, että niitä ei huomioida. /7, s. 526, 5/.



**Kuva 6.** Moottorin lisähäviöt suhteessa ottotehoon /5/.

## 4 STANDARDIT JA ALUEKOHTAISET SÄÄNNÖKSET

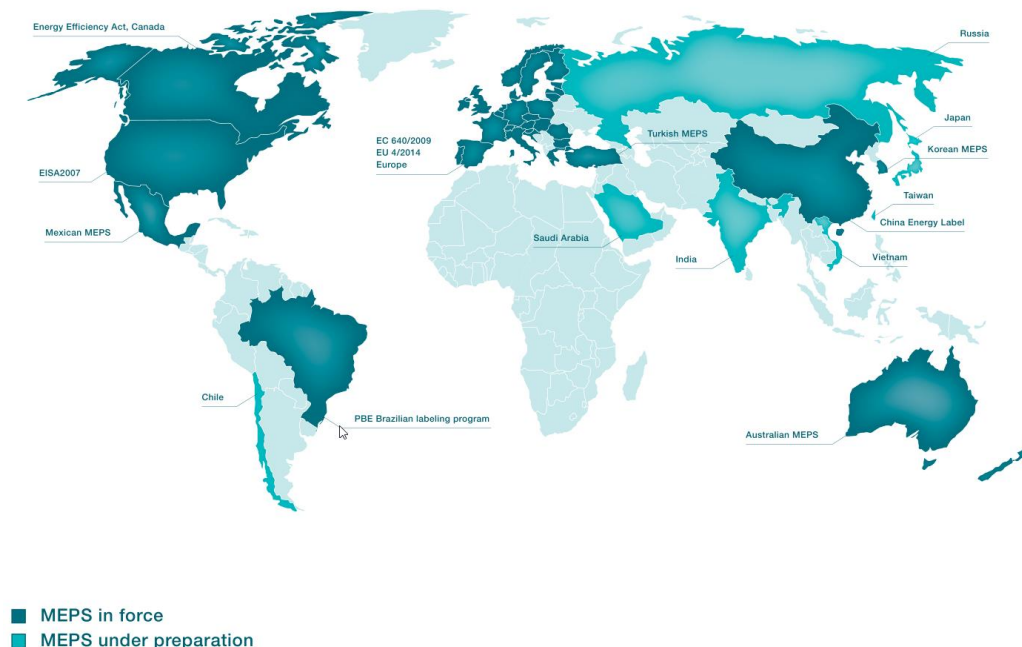
Vuodesta 2011 on Euroopan sähkömoottori markkinoita säädelty European Minimum Energy Performance Standard, (EU-MEPS) asetuksen avulla. Vuonna 2011 asetus määräsi, että Euroopan unioniin myydyistä sähkömoottoreista kaikki vastaavat The International Electrotechnical Commission (IEC) määrittelemää hyötysuhdestandardia IE2. Kuva 7 esittää IEC :n asettamaa IE-luokituksen teho- ja hyötysuhdekäyrästä (Kuva 7). /8/.



**Kuva 7.** IE-luokat /9/.

Vuoden 2011 jälkeen on EU-MEPS-asetuksia tiukennettu ja vuoden 2017 alusta on määrätty teholuokan 0,75 – 375 kW moottoreille, joko IE3-tai IE2-standardiluokka. IE2-luokka hyväksytään siinä tapauksessa, että moottoria syötetään nopeusohjaimella, kuten taajuusmuuttajalla. EU-MEPS-asetus ottaa kantaa vain Euroopan Unionin markkinoihin, mutta maailmalla on monia muita aluekoh-

taisia vaatimuksia, kuten Yhdysvaltojen ja Australian alueella. Kuvassa 8 nähdään maakohtaiset tilanteet, joissa on voimassa MEPS-asetus ja joissa asetus on valmistuilla. /8/.



**Kuva 8.** MEPS-asetusten maakohtainen tilanne /8/.

Seuraavaksi keskitytään kahteen IEC standardiin, jotka käsittävät sähkömoottorin hyötysuhteen määrittämisen (IEC 60034-30-1) ja hyötysuhteen määrittämiseen liittyvät mittaukset (IEC 60034-2-1).

#### 4.1 Standardien vaatimukset hyötysuhteeseen

Standardi IEC 60034-30-1 ottaa kantaa vain yksinopeusmoottoreihin, minkä virransyöttö toteutetaan suorasyötöllä, ilman taajuusmuuttajaa, koska taajuusmuuttajalla syötetyllä häviöt ovat vaihtelevia. Jotta hyötysuhteet olisivat vertailukelpoisia keskenään, pitää kaikki mittaukset suorittaa sinimuotoisella jännitesyötöllä. /10/.

Esimerkkitapauksissa, joissa moottori on leimattu laajennetulle jännitealueelle, (esim.  $400 \pm 10\%$ ) annetaan vain yksi IE-luokitus. Jos taas moottorille on annettu monta eri leimausta taajuus-jännite-teho-yhdistelmille, tulee jokaiselle yhdistel-

mälle määrätä oma leimaus hyötysuhteelle ja hyötysuhdeluokalle. Nämä tiedot tulee löytyä tuoteselosteesta, mutta vähintään matalin hyötysuhde ja sitä vastaava hyötysuhdeluokka tulee olla merkittynä moottorin arvokilvessä Hyötysuhdetta määriteltäessä, moottori tulee olla varustettuna alkuperäisellä jäähdytysjärjestelmällä. Jos moottorin erillinen jäähdytysjärjestelmä on oleellinen osa moottorin kokonaisuutta, tuuletinmoottorin häviöt on lueteltava moottorin hyötysuhdemäärittelyssä. /10/.

#### **4.2 Standardien vaatimukset mittauksiin**

IEC 60034-2-1-standardissa asetetaan vaatimuksia mittaukseen käytetyille laitteille ja itse mittaustilanteelle. Mittalaitteiden ympäristöllisiä vaatimuksia ei saa ylittää ja mittalaitteen valmistajan ilmoittamia lämpötilan korjauskertoimia on käytettävä. Digitaalisia mittareita on käytettävä aina kun mahdollista. Jos analogisia mittareita käytetään, tarkkailtavan arvon on oltava mittarin asteikon viimeisellä kolmanneksella. Jotta voidaan huomioida moottorin mitatun tehon ja muiden mitattavien arvojen vaihtelu, tulisi jokaisella kuormitusasteella ottaa useampi mittaustulos mittaavan laitteen toimesta. Tulokset tulisi ottaa useamman toimintajakson ajalta ja näiden tulosten keskiarvoa tulisi käyttää hyötysuhteen määrittämiseen. /11/.

Moottorissa tulisi olla kiinnitettynä kaikki välttämättömät osat, jotta voitaisiin saavuttaa mahdollisimman lähellä normaalia toimintatilannetta olevat olosuhteet. Ulkoa käsin irrotettavissa olevat eristysosat voidaan irrottaa moottorista, jos voidaan todentaa, että osien vierintävästusta lisäävä vaikutus on olematon pitkään kestävässä testissä. /11/.

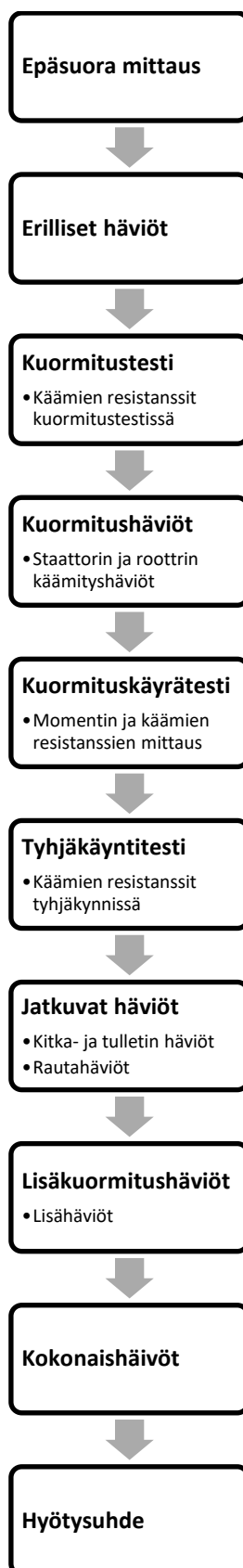
Hyötysuhteen määrittämiseksi tehtävät testit on suoritettava määrättyssä testausjärjestyksessä, mutta niitä ei tarvitse suorittaa peräjälkeen. Jos testien välissä moottorin lämpötila ehtii laskea, on todettava moottorin määritelty testilämpötila uudelleen, ennen mittauservojen ottamista. /11/.

### 4.3 Standardien asettamat suositellut hyötysuhteen mittaustavat

IEC 60034-2-1-standardin mukaan hyötysuhteen määrittämiselle on kolme suositeltua mittaamenetelmää. Mitä mittaustapaa käytetään, riippuu moottorin ominaisuuksista. Ensimmäinen mittaamenetelmä on niin sanottu suora mittaamenetelmä, missä moottoriin syötetty sähköinen teho ja akselilta saatu mekaaninen teho mitataan. Näiden kahden tehon avulla määritellään hyötysuhde. Standardi määrää tätä menetelmää käytettävän kaikilla yksivaiheisilla moottoreilla. ABB Oy Motors and Generators Vaasan yksikössä suoraa menetelmää käytetään hyötysuhteen määrittämiseen, kun moottoria syötetään taajuusmuuttajalla. /11-12/.

Standardin IEC 60034-2-1 toisessa suositellussa hyötysuhteen määrittämiseen käytettävässä mittaamenetelmässä pyritään määrittelemään moottorin eri häviötehot. Häviöiden määrittämiseksi tehdään useita eri mittauksia ja mittaustuloksista lasketaan häviötehojen arvot (**Kuva 9**). Yhteenlaskettujen häviötehojen avulla määritellään hyötysuhde. Tätä mittaustapaa kutsutaan hyötysuhteen epäsuoraksi mittaustavaksi. Tämä mittaustapa on käytössä ABB Oy:n Vaasan Motors and Generators-yksikössä yleisesti, jos moottorikaupalle ei muuta määrätä. Kuvassa 9 on kerrottu mittausten suoritusjärjestys ja määriteltävät mittausravot. /11-12/.

Kolmas mittaamenetelmä mitä IEC 60034-2-1-standardissa suositellaan hyötysuhteen määrittämiseksi, on hyvin samankaltainen kuin edellinenkin, mutta sitä suositellaan käytettävän, kun moottorin teho ylittää 2 MW. Edellisen tavoin hyötysuhde määritellään yhteenlaskettujen häviötehojen avulla. Mittaamenetelmä eroaa edellisestä vain kuormitus- ja tyhjäkäyntitestissä käytettävän syöttöjännitteen osalta. Kuormitustestissä käytetään madallettua jännitettä nimellinopeudella. Tyhjäkäyntikoe suoritetaan nimellinopeudella käyttäen sekä madallettua että nimellistä jännitettä. /11/.



**Kuva 9.** Epäsuoran hyötysuhdemittauksen testauskaavio /11/.

#### 4.4 Epäsuoran hyötysuhdemäärittämisen mittaukset

Mittaus aloitetaan moottorin käämien mittaamisella ympäröivässä lämpötilassa. Tämän jälkeen aloitetaan kuormitustesti. Moottoria ajetaan nimellisteholla, kunnes moottorin lämpötila on saavuttanut tasapainoaseman. Tämän jälkeen tehdään mittaukset roottorin ja staattorin käämityksen kuormitushäviöille. Mittausten avulla tehdään käämien kuormitushäviöille myös lämpötilakorjaus. /11/.

Kuormituskäyrätesti suoritetaan niin, että moottorin lämpötila ei poikkeaisi edellisen testin tasapainoasemasta. Jos testiä ei voida suorittaa heti kuormitustestin jälkeen on tasapainoasema saavutettava jälleen moottoria nimellisteholla kuormittamalla. Kuormituskäyrätestissä mitataan arvot roottorin ja staattorin käämihäviöitä varten 6 kuormitusasteella nimellisestä kuormasta: 125 %, 115 %, 100 %, 75 %, 50 %, 25 %. /11/.

Tyhjäkäyntitestissä määritellään mittausten arvojen avulla kitka- ja tuuletinhäviöt sekä rautahäviöt. Mittaus suoritetaan moottorin tasapainolämpötilassa 8 jännitearvolla nimellisjännitteestä: 110 %, 100 %, 95 %, 90 %, 60 %, 50 %, 40 %, 30 %. Neljää korkeinta jännitearvoa käytetään rautahäviöiden määrittämiseen ja muita jännitearvoja kitka- ja tuuletinhäviöiden määrittämiseen. /11/.

Lopuksi määritellään lisähäviöt ja saatujen häviöiden perusteella voidaan määrittää moottorin hyötysuhde. /11/.



## 5 TYÖN TOTEUTUS

SAP on ABB Oy Motors ja Generators Vaasan yksikössä käytössä oleva toiminnanohjausjärjestelmä. Tämän opinnäytetyön kaikki notifiikaatioanalyysit moottorien hyötysuhdepoikkeamista on tehty SAP-järjestelmään tehdyistä, sisäisistä notifiikaatioista (**Kuva 10.**). Ilmoitukset on tehty moottorin lopputestausvaiheessa koekentällä, kun on huomattu, että moottorin mitatuista arvoista tehdyt hyötysuhdelaskelmat eivät ole annetuissa toleranssirajoissa.

Notification No.	Notification Type	Notification Description
200290053	ZP	Hyötysuhde alle vaaditun
200289711	ZP	Hyötysuhde alle vaaditun
200289794	ZP	Hyötysuhde alle vaaditun
200284520	ZP	Hyötysuhde alle toleranssin
200283202	ZP	Hyötysuhde alle toleranssin
200282571	ZP	Hyötysuhde alle toleranssin
200282344	ZP	Hyötysuhde alle toleranssin
200280472	ZP	Hyötysuhde alle toleranssin
200280238	ZP	Hyötysuhde alle toleranssin
200278421	ZP	Hyötysuhde huono
200277046	ZP	Hyötysuhde jäi alle LD 07.03.2016
200275932	ZP	Hyötysuhde alle toleranssin
200275563	ZP	Hyötysuhde
200274996	ZP	Hyötysuhde alle toleranssin
200273097	ZP	Hyötysuhde alle toleranssin
200271757	ZP	Hyötysuhde huono
200270948	ZP	Hyötysuhde alle luvatus??
200270111	ZP	Hyötysuhde huono LD 05.02.2016
200269628	ZP	Hyötysuhde ei riitä
200269629	ZP	Hyötysuhde ei riitä
200269101	ZP	Hyötysuhde ei riitä

**Kuva 10.** SAP-tietokannan notifiikaatioita.

Notifiikaatiossa käy ilmi mitattujen arvojen pohjalta tehdyn hyötysuhdelaskelman arvot, sekä moottorille laskelmoitu minimivaatimus ja paljonko mitattu hyötysuhdelaskelma jää vaaditusta arvosta (**Kuva 11.**).

Reference object

Material 30 Configurable motor 3G

Revision Level Plant for mat. 0800 ABB Oy, M&G Vaasa

Serial Number 301F1404303707

Subject

Coding CODING 10 Poikkeama / Non-conformity

Description Hyötysuhde alle toleranssin

24.03.2016 07:59:26  
Hyötysuhde alle toleranssin. Eliapp hyötysuhde 91.94, joista toleranssin alaraja 90.78. Mitattu laakkelman hyötysuhde 90.34

29.03.2016 14:27:27

29.03.2016 12:46:21  
Hyötysuhde pudotettu 91.48, toleranssin alaraja 90.18. Ousi arvokilpi tilattu M&M600 arvokilvet // K&K. Tilauksenkäsitteilyä pyydetty laittamaan ZA-blokkiin päälle.

Item

Defect loc. NOTFA MXE Koestamo

Defect type NOTDWD 0300 Hyötysuhde

Entry 1 frm 1

**Kuva 11.** Erään notifiaktion selvityskeskustelu (kuvaa muokattu).

Tätä seuraa kommentteja, jossa eri vastuuhenkilöt kertovat ongelman ratkaisuprosessin tuloksista. Notifiaktion kommenttikentän lopussa on tyypillisesti vastuuhenkilö kertonut, millaisin tuloksin moottori on saatu eteenpäin asiakkaalle tai mikä on moottorin sen hetkinen tilanne, jos ongelma ei ole vielä ratkennut (**Kuva 12.**).

Reference object

Material 30 Configurable motor 3G

Revision Level Plant for mat. 0800 ABB Oy, M&G Vaasa

Serial Number

Subject

Coding CODING 10 Poikkeama / Non-conformity

Description Hyötysuhde ei nrä

13.01.2016 09:01:07 -- -- voi hoitaa tämän. Moottori löytyy K&K:n koekentältä.

14.01.2016 08:26:19  
Laakerit vaihdettu.

Taksaisin MXK ile.

Item

Defect loc. NOTFA MXE Koestamo

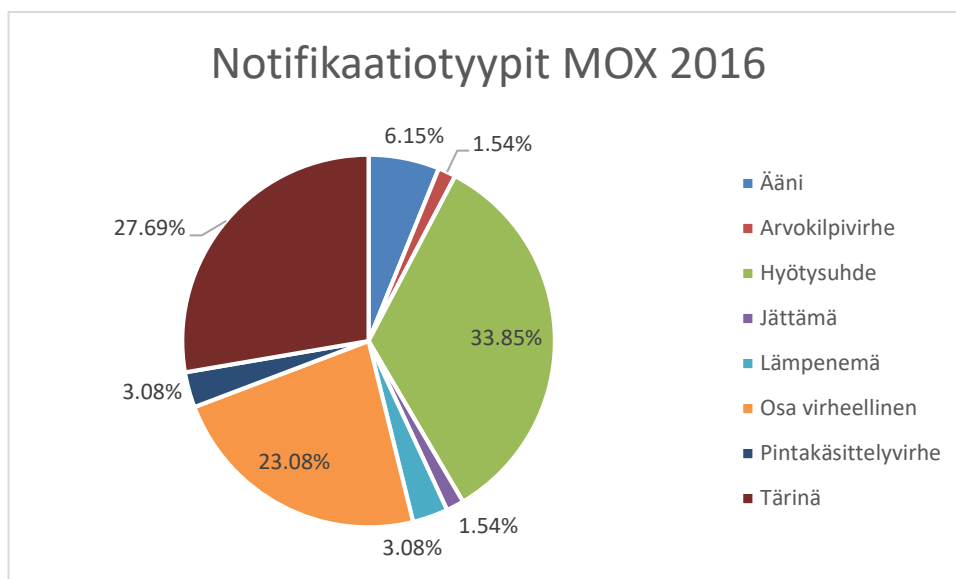
Defect type NOTDWD 0300 Hyötysuhde

Entry 1 frm 1

**Kuva 12.** Loppuun käsitelty hyötysuhdenotifiatio (kuvaa muokattu).

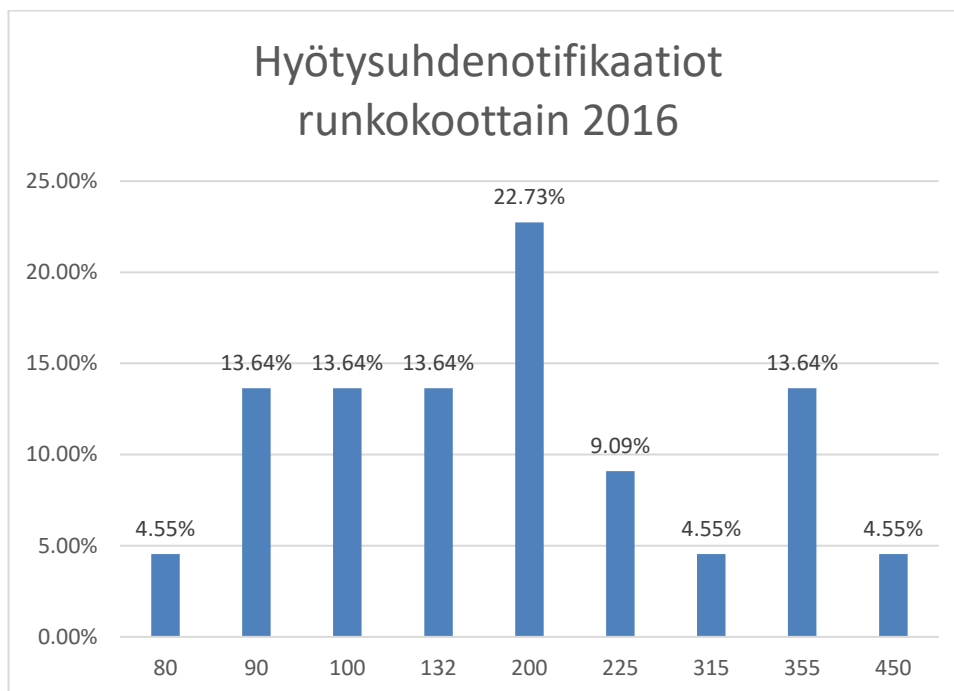
Opinnäytetyötä varten käytiin läpi vuosien 2016 – 2017 aikana kirjatut notifiatio koekentältä. Kuvasta 13 nähdään, että hyötysuhde on koekentältä kirjatusta

notifikaatiotyypeistä määrällisesti suurin. Tämä asia pohjustaa sitä, miksi tämän työn aihe on olennainen.



**Kuva 13.** Koekentällä tehtyjen notifikaatiotyyppien jakauma prosentteina vuonna 2016.

SAP -järjestelmästä oli mahdollista saada paljon tietoa notifikaatioon liittyvästä moottorista. Tässä työssä tietoa kerättiin vain moottorien kokoluokasta, että saatiin kuvan 14 mukainen jakauma. Näin voidaan havainnoida kuinka hyötysuhenotifikaatiot jakautuvat moottori kokojen välillä. Vuoden 2016 tehtyjen hyötysuhenotifikaatioiden osalta ei voida sanoa, että jostain moottorikoosta olisi tehty erityisen paljon notifikaatioita, ottaen huomioon pienempien moottorikokojen suurempi valmistusmäärä.



**Kuva 14.** Koekentän hyötysuhdenotifikaatioiden jakauma prosentuaalisesti runkokoottain 2016.

### 5.1 Ratkaisukaavion kuvaus

Opinnäytetyön lopullinen ratkaisumenetelmäkaavio on liitteessä. Kaavio kuvaa mitä hyötysuhdenotifikaatiolle tulisi tehdä ja missä järjestyksessä. Seuraavaksi käydään kaavion vaiheita läpi.

Kun testikentällä havaitaan ongelma moottorin hyötysuhteeseen liittyen, tehdään siitä SAP -järjestelmään notifikaatio. Tätä lähtee käsittelemään ensimmäisenä laatuinsinööri, joka arvioi tilanteen ja vie tiedon ongelmasta eteenpäin vastuuhenkilöille. Laatuinsinööri toimii siis eräänlaisena koordinaattorina tilanteessa ja saattaa ehdottaa myös tilanteeseen ratkaisua, mutta lopullisen ratkaisun tekevät pääsääntöisesti asiaa selvittävät vastuuhenkilöt. Ongelmasta tiedotetaan suunnittelutiimille ja mahdollisesti myös projektitiimille, esimerkiksi jos moottori on lähellä myöhästyä suunnitellusta aikataulusta ja voi näin aiheuttaa toimenpiteitä asiakkaan kanssa. Projektitiimi ja suunnittelu saattavat myös olla yhteistyössä keskenään, mutta pääsääntöisesti projektitiimi ottaa kantaa asioihin, vasta kun ongelman laatu on selvillä ja sille ei voida tehdä enää korjaavia toimenpiteitä. /13/.

Ongelmaa hyötysuhteessa lähdetään aina selvittämään aluksi vertailemalla moottorin mittausarvoja aiempiin mittaustuloksiin. Usein löydetään vertailukelpoisia mittaustuloksia, mutta joissain tapauksissa, joudutaan tekemään vertailua hieman poikkeavilla arvoilla. Mittaustuloksista saadaan vertailukohta hyötysuhteen lisäksi, hyötysuhdetta määrittävistä häviötehoista: mekaaninen häviöteho, virtalämpöhäviö teho, rautahäviö teho ja lisähäviö teho. Aiemman hyötysuhdetta käsittelevän teorian pohjalta voidaan siis päätellä, että joissain näissä häviötehoissa on oltava eroavaisuutta, jotta moottorin hyötysuhde ei vastaa aiemman mittaustuloksen hyötysuhdetta. Häviötehojen poikkeavuuksista voidaan tehdä päätelmiä kuten, mikä tai mitkä asiat aiheuttavat poikkeaman. /14/.

Pääosin eroa häviötehoihin voi tapahtua kolmesta syystä. Ensimmäinen suunnittelussa on voitu tehdä laskentavirhe, asettamalla jokin vakioarvo väärin laskennassa ja näin valmistettu moottori ei voi vastata suunniteltua. Toiseksi on voitu tehdä moottorin osien valmistuksessa tai moottorin kokoamisessa virhe mistä johtuu, että häviötehot eivät vastaa suunniteltua. /14/.

Mittausvirhe on kolmas mahdollinen syy, että häviötehot eivät vastaa aiempia mittauksia. Virhe voi tapahtua mittauksen toteuttavan henkilön toimesta mittauslaitteessa tai syy voi olla myös mittauksessa käytetyissä laitteissa. Laite voi olla esimerkiksi vioittunut ja näin antaa väärää mittaustuloksia. Mittausvirheen mahdollisuus onkin ensimmäisiä selvitettävissä olevia asioita mitä ongelman ratkaisemiseksi voidaan tehdä. Tämä varmistetaan usein heti notifiointiteon yhteydessä ilman, että sitä dokumentoidaan mitenkään. /14-15/.

Kun voidaan olettaa, että mittausvirheen mahdollisuus on olematon, lähdetään arvioimaan mistä muusta ongelmasta voisi johtua. Pääosin suunnittelijoiden toimesta pyritään arvioimaan, mikä häviöteho on verrannollisesti koholla. Joskus tätä vertailua tekevät jo ennen suunnittelijoita testikentän henkilöstö. /14-15/.

## **5.2 Mekaanisten häviöiden vähentäminen**

Kun häviötehojen vertailussa todetaan, että ongelmia on mekaanisessa häviötehoissa, ryhdytään silloin harkitsemaan osien, kuten laakerien vaikutusta häviöte-

hoon. Laakerin ohjeiden mukainen rasvaus ja rasvan oikea laatu voidaan tarkistaa melko vaivattomasti, kunhan moottorin rakenne sen sallii. Yksi mekaanisen häviötehoon vaikuttava toimenpide on moottorin laakerien vaihto. Laakeri on voinut vioittua työsuorituksessa moottorin kokoamisvaiheessa tai laakeri on voinut olla viallinen jo toimittajalta tullessa. Viallisen laakerin tavoin hankaushäviöitä eli mekaanisia häviöitä lisäävän vaikutuksen saavat aikaan myös väärin asennetut tai vääranäntyyppiset eristerenkaat. Tämän asian tarkistaminen tai korjaaminen on myös yksi harkittavissa oleva toimenpide häviötehojen pienentämiseksi. /15./

Mekaanisiin häviötehoihin vaikuttaa myös staattorin ja roottorin ilmaväliin vaikuttavat tekijät. Ilmaväli siis pyritään myös tarkistamaan ja tehdään helposti tehtävissä olevat toimenpiteet ilmavälin parantamiseksi, kuten mahdollisen eristämateriaalin poistaminen staattoripaketin sisäpinnalta. Ilmaväliin liittyviin toimenpiteisiin liittyy moottorin purkamista, laakerivaihdon tavoin, joten sen tuoma viivästys on otettava huomioon, kun toimenpiteitä harkitaan. Moottorin ilmaväliin vaikuttaa myös se, että kuinka hyvin roottorin ja staattorin työstäminen on onnistunut, joskus voi olla aiheellista esimerkiksi näiden osien uudelleen työstäminen tai kokonaan uuteen vaihtaminen. /15./

Mekaanisiin häviötehoihin on todettu vaikuttavan myös laakerikilven koneistuksen tarkkuus. Jos kilven reikää ei ole koneistuksessa saatu asennoitua oikein, aiheuttaa se moottorin vierintävastuksen kasvua. Joskus on siis mekaanisen häviötehon korjaavana toimenpiteenä vaihdettu laakerikilpiä. /15./

Kun moottori on tyypiltään sellainen, että jäähdytys on toteutettu tuulettimella, mikä on suoraan roottorin akseliin kiinnitetty, vaikuttaa tuulettimen koko suoraan mekaanisiin häviötehoihin. Joissain tilanteissa on voitu harkita mekaanisten häviötehojen vähentämiseksi tuulettimen koon pienentämistä. Ennen tätä vaihtoehtoa on kumminkin varmistettava, että moottori on muilta osin kunnossa ja parannusta hyötysuhteeseen ei voida muulla tavalla vaikuttaa. Suunnittelulta vaaditaan tuulettimen vaihto tilanteessa moottorin uudelleen laskelmointia. Suunnittelun on tarkistettava, että moottorin kaikki ominaisuudet pitävät luvatut vaatimukset ja etenkin lämpenemän uudelleen määrittely on tärkeää. /14./

### 5.3 Muiden häviötehojen vähentäminen

Kun todetaan, että jokin muu häviöteho on selvästi koholla ja mittaus- tai suunnitteluvirhettä ole tehty, ei häviötehon vähentämiseksi ole montaa mahdollista toimenpidettä. Koholla oleva virtalämpö-, rauta- tai lisähäviö viittaa väistämättä staattorin tai roottorin vikaan. Virtalämpöhäviöiden vaihtelua syntyy staattorin valmistuksessa, joten staattori on vaihdettava, jos virtalämpöhäviöitä halutaan vähentää. Lisähäviöiden vähentämiseksi on harkittava joko roottorin tai staattorin vaihtoa. Rautahäviöiden ollessa koholla, vaihdetaan staattori, koska roottorin vaikutus rautahäviöihin on vähäinen. /14/.

### 5.4 Ratkaisumenetelmien yhteenveto

Kun hyötysuhdenotifikaatiota lähdetään selvittämään, pyritään aina ensin varmistamaan, että ei ole tapahtunut mittausvirhettä. Sitten suunnittelun toimesta pyritään varmistamaan, että laskenta on suoritettu oikein. Usein ensimmäinen toimenpide on moottorin hyötysuhteen leimaaminen alemmas, että mitattu hyötysuhde saadaan vaadittujen toleranssien sisään. Tämä ei päde, jos jossain häviötehon arvossa on selvää poikkeama aiemmin mitatusta. Tämän jälkeen lähdetään arvioimaan komponenttien vaihtoon kohdistuvia ratkaisuja. Ensisijaisesti varmistetaan, että mekaanisista häviöistä ei saada vaadittavaa parannusta hyötysuhteeseen. Lopuksi arvioidaan mitä komponentteja ryhdytään vaihtamaan. /14./

Todellisuudessa häviötehoja vertaillessa harvoin tulee esille, että jokin tietty häviöteho poikkeaisi vertailukohdasta. Näin joudutaan usein arvioimaan epävarmoin perustein, mitä toimenpiteitä tulisi moottorille tehdä, että saataisiin hyötysuhde vaadittuihin arvoihin. Kun komponentteja vaihdetaan moottoriin, ei voida olla myöskään täysin varmoja siitä, mitkä asiat vaikuttavat moottorin häviöihin. Esimerkiksi jo pelkästään se, että moottori puretaan auki ja kootaan takaisin kasaan, voi aiheuttaa muutosta häviöissä. Epävarmuus häviötehoihin vaikuttavista tekijöistä, vaikeuttaa tulevien tapauksien käsittelyä. /14-15./

Työn aikana kävi ilmi, että moottorin koolla oli jonkin verran vaikutusta siihen, mitä ratkaisumenetelmiä hyötysuhteen parantamiseksi käytetään. Esimerkiksi suu-

rempien moottorikokojen (akselikorkeus 250 mm ja suuremmat) tapauksessa moottorin ilmaväli on jo niin iso, että poikkeama suunnitellusta ei vaikuta mekaanisiin häviöihin merkittävästi. Toinen vaikuttava tekijä isompien moottorien kohdalla oli mekaanisten häviöiden osuus kokonaishäviöistä. Muutos mitä mekaanisten häviöiden ratkaisumenetelmillä voitiin häviötehoon saada, ei välttämättä riittäisi hyötysuhteen parantumiseen. Mekaaniseen häviötehoon liittyviä toimenpiteitä siis harvemmin suoritetaan suurempien kokoluokkien moottoreille.



## 6 KEHITYSIDEOITA

Tähän asti on ollut hyvin vaikea löytää dokumentoitua tietoa, miten hyötysuhdepoikkeamatapauksissa on tilanne ratkaistu. Notifikaatioihin kirjattu tieto on suppeaa ja sisältö vaihtelee aina kirjaavan henkilöiden toimesta. Selvää käsitystä ei aina voi käytetyistä toimenpiteistä tehdä. Näin varmin tieto onkin vain avainhenkilöillä, jotka ovat ongelmatilanteita paljon selvittäneet. Jos avainhenkilö on pois paikalta, tai vaihtaa esimerkiksi työkuvaan, on tämä tietotaito todennäköisesti käyttämättömissä. Jotta voitaisiin saada kirjattua dataa, miten ongelmatilanteita on aikaisemmin hoidettu, tulisi dokumentointitapaa kehittää ja kirjattu data tulisi olla helpommin löydettävissä. Kirjaamistapaa ongelmatilanteiden ratkaisuisissa voitaisiin myös yhtenäistää, näin menettelytapoja olisi helpompi ymmärtää. Näin aiemmista tapauksista voitaisiin saada tukea hyötysuhdepoikkeama tapauksen ratkaisemiseksi.

Jos tietoa ratkaisutilanteista kirjattaisiin ylös, antaisi se myös paremmat mahdollisuudet laajemman datan keruuseen. Näin voitaisiin esimerkiksi kirjata ylös, mitä moottorin osia on vaihdettu ja mitkä vaihdetuista komponenteista ovat yleisimpiä. Tämä tieto antaisi mahdollisuuden tutkia juurisyitä miksi hyötysuhdepoikkeamia syntyy. Tällä voisi olla ennaltaehkäiseviä vaikutuksia hyötysuhdepoikkeaman syntymiselle ja toimintaa voitaisiin tehostaa.

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Opinnäytetyön aihe oli taustoilleni sopiva. Oma työuran ABB Oy Motors and Generators Vaasan yksikössä on antanut laajan tuntemuksen moottorivalmistuksen työvaiheista. Työuran aikana olen työskennellyt monessa tuotannon työtehtävässä ja erikokoisten moottorien valmistuksessa. Näin tunsin mielekkääksi löytää opinnäytetyöaihe, missä saan käyttää laajaa tuntemustani hyödyksi.

Koulutuksen antaman taustatiedon pohjalta oli helppo lähteä tutkimaan syvemmin hyötysuhteen mittaukseen ja määrittämiseen liittyviä standardeja. Sähkömoottorin teorian tuntemuksen kehittämisen myötä oli mahdollista ymmärtää paremmin hyötysuhdepoikkeaman ratkaisutilanteessa läpikäytävää arviointiprosessia. Teorian pohjalta oli myös mahdollista tehdä pohdintoja, mistä hyötysuhdepoikkeama saattaa johtua.

Haasteena tässä työssä oli löytää keskeiset asiat hyötysuhderatkaisumenetelmien arvioinnin taustalla ja rajata työ sopivaksi. Syitä sille, miksi moottorin hyötysuhdepoikkeaa suunnitellusta, on hyvin vaikea kohdistaa yksittäiseen asiaan. Näin ei voitu sisällyttää työhön laajemmin syitä hyötysuhdepoikkeaman synnylle. Etenkin kun hyötysuhdepoikkeama ei aina johdu tuotannossa tapahtuvista ongelmista. Suunnittelulla ja vertailtavalla aineistolla, kuten mittauksilla, on osansa hyötysuhdepoikkeaman synnylle. Myös se, että komponentteja tulee eri valmistajilta, estää komponentteihin kohdistuvan laatuarkastelun miltei kokonaan.

Lopulta keskeiset asiat hyötysuhdepoikkeamien ratkaisuista löytyivät henkilöstöltä, jotka ratkaisupäätöksiä ovat tekemässä. Näiden henkilöiden avustuksella pystyin keräämään mielestäni keskeiset asiat ratkaisumenetelmien taustalla. Haaste oli saada ajatukset koottua kaaviomaiseen muotoon, koska hyötysuhdepoikkeaman ratkaisuprosessi ei ole yksiselitteinen.

Opinnäytetyön tarkoitus oli muodostaa kaaviomainen dokumentti, jota voitaisiin käyttää tukena, kun hyötysuhdepoikkeamaa selvitetään. Kaaviolla pyritään myös osoittamaan, missä järjestyksessä selvitystilanteessa tulisi edetä. Näin ratkaisua voidaan etsiä poissulkevalla menetelmällä, jotta ei tuhlataisi resursseja purkutyö-

hön ja komponenttien uudelleen valmistamiseen. Uudelleen testaaminen ja purkutyöt aiheuttavat myös lisäkuormaa testikentälle ja tuotannolle.

## LÄHTEET

- /1/ ABB Motors and Generators internetsivut yleisesittelykalvot. Viitattu 6.6.2017.  
<http://fi.inside.abb.com/cawp/gad00092/76c35e2b5047905fc12575630046b5a7.aspx>
- /2/ ABB Suomessa. 2017 Verkkosivusto. Viitattu 4.6.2017. ABB.  
<http://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa>
- /3/ ABB Motors and Generators internetsivut ABB-yksiköt Suomessa. Viitattu 6.6.2017.  
<https://library.e.abb.com/public/e3f7cb2427e340b4a2177cabcf16a42a/Motors%20and%20Generators.pdf>
- /4/ Pyrhönen, J. 1999. Sähkökäytöt. Opetusmoniste. Lappeenranta. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu.
- /5/ Verkkonen, V. 2014. Säkömootorikäytöt; Epätahtikoneet. [esitelmä].
- /6/ Kurronen, P. 1994. Epätahtimootorin hyötysuhteen parantamisen taloudelliset mahdollisuudet. Teoksessa Tehokas sähkön käyttö, 17-46. Pyrhönen, J. & Partanen, J. Lappeenranta. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu.
- /7/ Pyrhönen, J., Jokinen, T. & Hrabovcová, V. 2014. Design of rotating electrical machines. 2.painos. Iso-Britannia. Wiley.
- /8/ EU-MEPS Efficiency requirements for low voltage motors Updated for stage 3 requirements from January 1, 2017. 2016 Esite. Viitattu 5.6.2017. ABB.  
[https://library.e.abb.com/public/0119fb1fa72f4b72b96801307ece2f54/13894\\_ABB\\_Motors\\_EU\\_MEPS\\_brochure\\_update\\_lowres.pdf](https://library.e.abb.com/public/0119fb1fa72f4b72b96801307ece2f54/13894_ABB_Motors_EU_MEPS_brochure_update_lowres.pdf)
- /9/ Low voltage motors Motor guide. 2014 Tuoteopas. Viitattu 5.6.2017. ABB.  
[https://library.e.abb.com/public/a7c16f0e10f4a826c1257c9000270ce0/MotorGuide\\_february2014\\_low\\_FINAL%20with%20bookmarks.pdf](https://library.e.abb.com/public/a7c16f0e10f4a826c1257c9000270ce0/MotorGuide_february2014_low_FINAL%20with%20bookmarks.pdf)
- /10/ IEC 60034-30-1. Rotating electrical machines Part 30-1: Efficiency classes of line operated AC motors (IE code). 2014. 54 s.
- /11/ IEC 60034-2-1. Rotating electrical machines Part 2-1: Standard methods for determining losses and efficiency from tests (excluding machines for traction vehicles). 2. 2014. 190 s.
- /12/ ABB Motors ja Generators sisäinen tietokanta. Viitattu 5.6.2017. FIMOT-ohjeet.
- /13/ Seppälä, J. Operative Quality Specialist. ABB Oy Motors and Generators. Haastateltu 2.5.2017

/14/ Peltonen, P, Team Leader, Electrical Engineering. ABB Oy Motors and Generators. Haastateltu 29.3.2017

/15/ Avantola, J-P, Quality & OpEx Specialist. ABB Oy Motors and Generators. Haastateltu 23.5.2017

## LIITE

