



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Asko Mäenpää

MOOTTORIKOKOJEN 71–250
RUTIINIKOESTUKSEN FPY:N
ONGELMIEN SELVITTÄMINEN

Tekniikka
2016

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty Vaasassa ABB Oy:n Moottorit ja Generaattorit-yksikölle. Päättötyön valvojina ovat toimineet Vaasan ammattikorkeakoulun lehtori Mikko Västi sekä ABB Oy:n Moottorit ja Generaattorit -yksikössä toiminut Jari-Pekka Avantola.

Haluan esittää kiitokseni Mikko Västille ja Jari-Pekka Avantolalle sekä muille opinnäytetyössä mukana olleille henkilöille. Erityiskiitokset sovellussuunnittelun työnjohtaja Pasi Peltoselle sekä laatuinsinööri Otto Rautiaiselle

Vaasassa 17.4.2016

Asko Mäenpää

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Asko Mäenpää
Opinnäytetyön nimi	Moottorikokojen 71–250 rutiinikoestuksen FPY:n ongelmien selvittäminen
Vuosi	2016
Kieli	suomi
Sivumäärä	69 + 51
Ohjaaja	Mikko Västi

Tämä opinnäytetyö tehtiin ABB Oy:n Vaasan Moottorit ja Generaattorit -yksikölle. Työn tarkoituksena oli selvittää ja ratkaista rutiinikoestuksen ongelmia, joilla AL3A- ja AL3B-linjan moottoreiden läpimenoa saataisiin parannettua.

Työ aloitettiin käymällä läpi rutiinikoestuksessa tehdyt notifikaatiot eli selvitykset syistä, joiden vuoksi moottorit eivät ole läpäisseet rutiinikoestusta. Sen jälkeen tiedot kerättiin Excelliin ja niiden pohjalta tehtiin selvitykset rutiinikoestuksen ongelmista eri linjoilla.

Työ koostuu käytännössä kahdesta osasta. Ensimmäisessä osassa selvitetään rutiinikoestuksen ongelmat kahdelta linjalta ja toisessa osassa lasketaan FPY ja tarjotaan kehitysehdotuksia ongelmien selvittämiseksi.

Työn tuloksena syntyi laaja selvitys rutiinikoestuksen ongelmista AL3A- ja AL3B-linjoilla. Tämän lisäksi saatiin laskettua FPY ja tehtiin kehitysehdotuksia, joilla FPY:tä saadaan tehostettua. Työn päätarkoituksena oli siis selvittää rutiinikoestuksen ongelmat AL3A- ja AL3B-linjoilla.

ABSTRACT

Author	Asko Mäenpää
Title	The Clarification of First Pass Yield Problems on Motor Sizes 71–250
Year	2016
Language	Finnish
Pages	69 + 51
Name of Supervisor	Mikko Västi

This thesis was carried out for the Motors and Generators department of ABB in Vaasa. The main purpose of this thesis was to clarify the problems regarding first pass yield on manufacturing lines AL3A and AL3B.

This thesis is based on the information gathered from the notifications made in routine tests. These notifications include information about the reasons why motors have not passed the routine test. The information of these routine test notifications were listed into an Excel file. The clarifications about the problems on routine testing on manufacturing lines AL3A and AL3B are based on that Excel file.

Basically the thesis consists of two different parts. The first part includes the analysis of the problems on routine testing and the second part includes the calculations of first pass yield and the methods to improve it.

An extensive clarification about the problems on routine testing was made as a result of this thesis. ABB also received the calculations needed to determinate the first pass yield of two manufacturing lines and methods to improve the first pass yield, which was the main purpose of this thesis.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	9
2	RUTIINIKOESTUKSEN ONGELMIEN SELVITTÄMINEN	10
3	OIKOSULKUMOOTTORIN RUTIINIKOESTUS ABB:LLÄ.....	11
3.1	ABB Oy	11
3.1.1	ABB Oy yleisesti	11
3.1.2	ABB Oy, Moottorit ja Generaattorit	11
3.2	Oikosulkumoottorin rakenne	12
3.3	Oikosulkumoottorin toimintaperiaate	14
3.4	Sähkömoottoreiden sovellussuunnittelu	15
3.4.1	Sovellussuunnittelu	15
3.4.2	Varianttikoodit	16
3.4.3	Moduulit.....	17
3.4.4	Laskelmat	17
3.4.5	Laskelmakohtaisten tarkistusarvojen laskeminen	19
3.4.6	Tarkistusarvojen laskentaan tarvittavia kaavoja	19
3.4.7	Adept.....	22
3.4.8	Tiedonkulku eri ohjelmien välillä	22
3.5	Rutiinikoestus	23
3.5.1	Oikosulkumoottorin rakenteen tarkastaminen	25
3.5.2	Silmämääräinen tarkastus.....	25
3.5.3	Vaihevastusten mittaaminen	26
3.5.4	Syöksyaaltokoe	26
3.5.5	Lisälaitetestit	26
3.5.6	Eristyskoestus.....	26
3.5.7	Eristysvastusmittaus	27
3.5.8	Tyhjäkäyntikoe.....	27
3.5.9	Oikosulkukoe	28
3.5.10	Laipan keskeisyys	28

4	RUTIINIKOESTUKSEN NOTIFIKAATIOIDEN ANALYSOIMINEN	29
4.1	Notifikaatioiden analysoiminen ja luokittelu.....	29
4.2	FPY:n määrittäminen ja laskenta	29
4.3	Havainnot AL3A-linjalla	30
4.3.1	Yhteenveto rutiinikoestuksen ongelmista	37
4.3.2	Ongelmat kokoluokittain.....	39
4.3.3	FPY:n määrittäminen	42
4.4	Havainnot AL3B-linjalla	45
4.4.1	Yhteenveto rutiinikoestuksen ongelmista	50
4.4.2	Ongelmat kokoluokittain.....	52
4.4.3	FPY:n määrittäminen	55
5	RUTIINIKOESTUKSEN KEHITYSIDEAT	58
5.1	Tyhjäkäynti- ja oikosulkuongelmat	58
5.2	Järjestelmävirheet	59
5.3	Staattoriin liittyvät ongelmat.....	60
5.4	Inhimilliset virheet	60
5.5	Muut kehitysideat.....	60
5.6	Uusi FPY kehitysideoiden toteuttamisen jälkeen	61
5.6.1	AL3A-linja	61
5.6.2	AL3B-linja	64
6	YHTEENVETO	68
	LÄHTEET	69
	LIITTEET	

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1.	Oikosulkumoottorin rakenne	s. 13
Kuva 2.	Oikosulkumoottorin käämitys	s. 14
Kuva 3.	Varianttikoodit tilauksella	s. 16
Kuva 4.	Tuuletinmoduuli	s. 17
Kuva 5.	Jännitekoodit	s. 18
Kuva 6.	Tiedonkulku eri ohjelmien välillä	s. 23
Kuva 7.	Esimerkki rutiinikoestusvaiheista eri moottorityypeille	s. 24
Kuva 8.	Eristysresistanssin mittaus	s. 27
Kuva 9.	AL3A-linjan rutiinikoestuksen ongelmat vuonna 2015	s. 38
Kuva 10.	AL3A-linjan rutiinikoestuksen ongelmat eri kokoluokilla	s. 38
Kuva 11.	Ongelmat 71-runkokoon moottoreilla	s. 39
Kuva 12.	Ongelmat 80-runkokoon moottoreilla	s. 39
Kuva 13.	Ongelmat 90-runkokoon moottoreilla	s. 40
Kuva 14.	Ongelmat 100-runkokoon moottoreilla	s. 40
Kuva 15.	Ongelmat 112-runkokoon moottoreilla	s. 41
Kuva 16.	Ongelmat 132-runkokoon moottoreilla	s. 41
Kuva 17.	AL3B-linjan rutiinikoestuksen ongelmat vuonna 2015	s. 51
Kuva 18.	AL3B-linjan rutiinikoestuksen ongelmat eri kokoluokilla	s. 51
Kuva 19.	Ongelmat 160-runkokoon moottoreilla	s. 52
Kuva 20.	Ongelmat 180-runkokoon moottoreilla	s. 53
Kuva 21.	Ongelmat 200-runkokoon moottoreilla	s. 53
Kuva 22.	Ongelmat 225-runkokoon moottoreilla	s. 54
Kuva 23.	Ongelmat 250-runkokoon moottoreilla	s. 54
Taulukko 1.	Eri linjojen koestusjännitetasot	s. 21
Taulukko 2.	AL3A-linjan notifikaatiot runkokoon mukaan	s. 31
Taulukko 3.	AL3A-linjan notifikaatiot	s. 31
Taulukko 4.	Tyhjäkäyntivirta-notifikaatioiden korjaukset	s. 33
Taulukko 5.	Oikosulkuvirta-notifikaatioiden korjaukset	s. 33

Taulukko 6.	Tarkistusarvojen merkitys AL3A-linjalla	s. 35
Taulukko 7.	Staattoriin ja moottoreihin liittyviä ongelmia	s. 36
Taulukko 8.	Valmistusvirheet ja inhimilliset virheet	s. 37
Taulukko 9.	71-runkokoon FPY AL3A-linjalla vuonna 2015	s. 42
Taulukko 10.	80-runkokoon FPY AL3A-linjalla vuonna 2015	s. 42
Taulukko 11.	90-runkokoon FPY AL3A-linjalla vuonna 2015	s. 43
Taulukko 12.	100-runkokoon FPY AL3A-linjalla vuonna 2015	s. 43
Taulukko 13.	112-runkokoon FPY AL3A-linjalla vuonna 2015	s. 44
Taulukko 14.	132-runkokoon FPY AL3A-linjalla vuonna 2015	s. 44
Taulukko 15.	FPY AL3A-linjalla vuonna 2015	s. 45
Taulukko 16.	AL3B-linjan notifikaatiot runkokoon mukaan	s. 46
Taulukko 17.	AL3B-linjan notifikaatiot	s. 46
Taulukko 18.	Tyhjäkäyntivirta-notifikaatioiden korjaukset	s. 47
Taulukko 19.	Oikosulkuvirta-notifikaatioiden korjaukset	s. 48
Taulukko 20.	Tarkistusarvojen merkitys AL3B-linjalla	s. 48
Taulukko 21.	Staattoriin ja moottoreihin liittyvät virheet	s. 49
Taulukko 22.	Valmistusvirheet ja inhimilliset virheet	s. 50
Taulukko 23.	160-runkokoon FPY AL3B-linjalla vuonna 2015	s. 55
Taulukko 24.	180-runkokoon FPY AL3B-linjalla vuonna 2015	s. 55
Taulukko 25.	200-runkokoon FPY AL3B-linjalla vuonna 2015	s. 56
Taulukko 26.	225-runkokoon FPY AL3B-linjalla vuonna 2015	s. 56
Taulukko 27.	250-runkokoon FPY AL3B-linjalla vuonna 2015	s. 57
Taulukko 28.	FPY AL3B-linjalla vuonna 2015	s. 57
Taulukko 29.	AL3A-linjan FPY vuodelta 2015	s. 61
Taulukko 30.	FPY ilman tarkistusarvomuutoksia	s. 62
Taulukko 31.	FPY ilman järjestelmävirheitä	s. 63
Taulukko 32.	FPY ilman tarkistusarvomuutoksia ja järjestelmävirheitä	s. 64
Taulukko 33.	AL3B-linjan FPY vuodelta 2015	s. 65
Taulukko 34.	FPY ilman tarkistusarvomuutoksia	s. 65
Taulukko 35.	FPY ilman järjestelmävirheitä	s. 66
Taulukko 36.	FPY ilman tarkistusarvomuutoksia ja järjestelmävirheitä	s. 67

KÄYTETYT LYHENTEET JA MERKINNÄT

A	Virran yksikkö, ampeeri [A]
ABB	Asean Brown Boveri
Adept	Advanced Electrical Design Program Tool, moottorinlaskentaohjelma
ATEM Test Browser	Ohjelma, jolla voidaan lukea vanhoja koestusarvoja
BP/GP/KP/JP/HP	Moottorityypin määritelmä, kirjainyhdistelmät kertovat koteloinnista ja rungosta sekä turvallisuusluokasta
Elapp	Selainpohjainen arvokilpien luomistyökalu
FPY	First Pass Yield, rutiinikoestuksen ensimmäisellä kerralla läpäisseiden moottoreiden määrä prosentteina
HDP-moottori	High Dynamic Performance motor, korkeadynaamisen suorituskyvyn moottori
I_k	Oikosulkuvirta
I_0	Tyhjäkäyntivirta
IEC	International Electrotechnical Commission, kansainvälinen sähköteknillinen komissio
IEC 60034-1	Rotating electrical machines. Part 1: Rating and performance, pyörivät sähkökoneet. Osa 1: mitoitus ja suorituskyky
Jännitekoodi	Syöttöjännitteen määritelmä
LV/MV/HV	Pien-, keski- ja suurjännite
MofTest	Ohjelma, johon koestaja syöttää koestusarvot
Trinity	Adeptin aliohjelma, joka sisältää mm. laskelman tarkistusarvot

1 JOHDANTO

Tässä päättötyössä pyritään selvittämään ja ratkaisemaan AL3A- ja AL3B-linjojen ongelmia, joita on koestusvaiheessa esiintynyt. Tarve tälle opinnäytetyölle tuli työnantajalta eli ABB Oy:n Moottorit ja Generaattorit -liikeyksiköltä. Työn tarkoituksena on selvittää mahdollisimman laaja-alaisesti eri moottoreiden FPY ongelmien syitä ja mahdollisesti keksiä kehitysehdotuksia, joilla moottorien läpimenoa koestusvaiheessa pystyttäisiin tulevaisuudessa parantamaan.

Opinnäytetyössä kerätty tieto toimii myös apuna myöhemmin tehtävissä parannuksissa koestusvaiheen prosessiin, sillä tieto on aiemmin ollut vaikeasti saatavissa. Työn laskelmien avulla eri ongelmakohdista saadaan laaja-alainen selvitys, joka auttaa myöhemmin kiinnittämään huomiota suurimpiin ongelma-kohtiin.

Kyseinen opinnäytetyön aihe oli minulle jo entuudestaan tuttu, koska olen työskennellyt aikaisemmin AL3A-linjalla eli vanhalla AL10-linjalla. Pääasiassa työskentelin linjalla runkoonpuristajana, mutta muutaman kesän aikana tutustuin aikailloilla jokaiseen linjan työvaiheeseen. Tällä hetkellä työskentelen sovellussuunnittelussa Moottorit ja Generaattorit -yksikössä.

2 RUTIINIKOESTUKSEN ONGELMIEN SELVITTÄMINEN

Opinnäytetyö aloitettiin keräämällä taustatietoa erilaisista moottoreista ja niiden tyypeistä. Päättötyön tarkoituksena oli pitää sisällään mahdollisimman laaja kategoria erilaisia moottoreita. Työssä päädyttiin keskittymään kuitenkin yleisimpiin moottorimalleihin, jotka ovat kipinöimättömät moottorit (GP), paloturvalliset moottorit (JP/KP), prosessimoottorit (BP) sekä korkeamman turvallisuustason moottorit (HP). Työstä jätettiin pois mm. uudet alumiinimoottorit sekä HDP -moottorit. Päättötyö aloitettiin tutkimalla vuonna 2015 esiintyneitä syitä sille, miksi moottorit ovat pysähtyneet linjalla koestusvaiheen jälkeen.

Mahdollisia ongelmia etsittiin notifikaatioista, jotka koestaja on tehnyt linjalla rutiinikoestusvaiheen jälkeen. Rutiinikoestus tehdään jokaiselle linjalta lähtevälle moottorille. Mikäli moottori ei läpäise tätä koestusvaihetta, niin siitä tehdään ilmoitus eli notifikaatio SAP -tietojärjestelmään. Siihen kirjoitetaan selvitys siitä, miksi moottori ei ole läpäissyt koestusvaihetta. Notifikaatioiden analysoiminen on tärkeää, koska opinnäytetyöntavoitteena on pyrkiä selvittämään 71–250 runkokokojen rutiinikoestuksen läpimenon ongelmia. Notifikaatioiden selvittäminen molemmilta linjoilta antaa myös hyvän kokonaiskäsityksen siitä, että minkälaisia ongelmia esiintyy milläkin moottorityypillä ja -koolla.

Rutiinikoestuksen ongelmista tehtiin kaksi Excel-listaa, joihin on kerätty tiedot kaikista AL3A- ja AL3B-linjan rutiinikoestuksen notifikaatioista vuodelta 2015. Liitteeseen 1 on kerätty tiedot ongelmista molemmilta linjoilta ja liitteessä 2 on laskettu linjojen FPY.

3 OIKOSULKUMOOTTORIN RUTIINKOESTUS ABB:LLÄ

3.1 ABB Oy

3.1.1 ABB Oy yleisesti

ABB Oy on globaali teollisuuskonserni, jonka päätoimialueet ovat sähkövoima- ja automaatiotekniikka. Yhtiön pääkonttori sijaitsee Zürichissä Sveitsissä. ABB Oy toimii globaalisti yli 100 maassa ja työllistää maailmanlaajuisesti yli 135 000 henkilöä. Henkilöstö on töissä useissa erilaisissa työtehtävissä aina asennustöistä suunnitteluun ja myyntiin. Suomessa ABB Oy työllisti noin 5100 henkilöä vuonna 2015. Suomessa toimivan ABB Oy:n osuus liikevaihdosta oli yhteensä 2,2 miljardia euroa vuonna 2015. Koko teollisuuskonsernin liikevaihto oli 35,5 miljardia dollaria vuonna 2015. /1/ /2/

3.1.2 ABB Oy, Moottorit ja Generaattorit

ABB:llä on maailmanlaajuisesti moottoritehtaita Suomessa, Ruotsissa, Kiinassa, Espanjassa ja Puolassa. Suomessa moottoritehtaat keskittyvät tekemään asiakaskohtaisia moottoreita eli moottoreita, jotka on räätälöity asiakkaiden tilausten perusteella heille sopiviksi. Valmistettavista moottoreista valtaosa on pienen runkoon valurautamoottoreita. Suomessa valmistettavien pienjännitesähkömoottoreiden kokoluokka vaihtelee 80 millimetrin akselikorkeudesta aina 450 millimetriin asti. Muiden maiden tuotanto keskittyy pääasiassa ns. varastomoottoreiden tekemiseen.

Suomessa ABB Oy:n Moottorit ja Generaattorit -yksiköt ovat sijoittuneet kahdelle paikkakunnalle, Helsinkiin ja Vaasaan. Helsingin moottoritehtailla valmistetaan MV- ja HV -moottorit, kun taas Vaasassa keskitytään valmistamaan LV-moottoreita. Vaasassa ABB Oy:n Moottorit ja Generaattorit -yksikkö on vielä jakautunut kahteen eri tehtaaseen, MM- ja KK- rakennukseen. 71–250 akselikorkeuden moottorit valmistetaan KK -rakennuksessa AL3A- ja AL3B-linjoilla. Vaa-

san moottoritehtaat vastaavat pääosin ulkomaan myynnistä ja antavat mm. teknistä tukea eri maiden myyntiyksiköille.

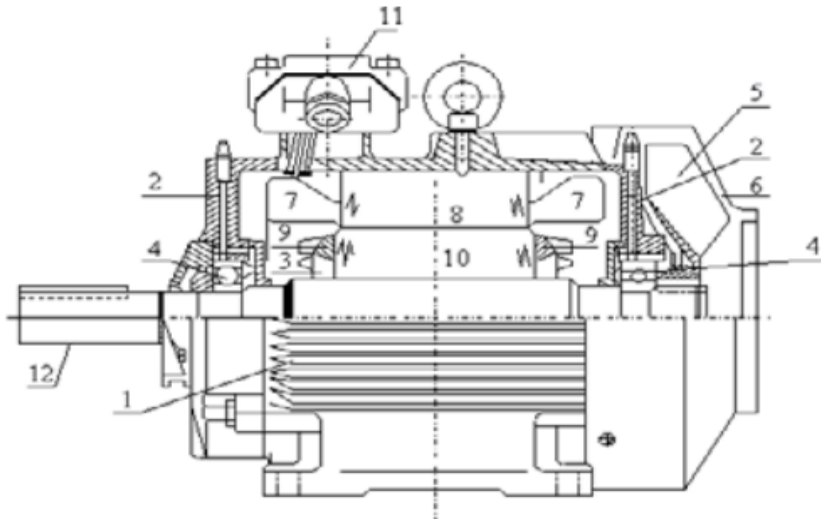
Suurin osa Vaasassa valmistetuista moottoreista menee kaasu-, öljy- tai hiiliteollisuuteen. Tämän vuoksi moottoreiden oikeanlainen toimivuus on erittäin tärkeää, koska kyseessä ovat räjähdysvaarallisiin tiloihin toimitetut moottorit. Moottoreiden toimivuutta on pyritty parantamaan ja seuraamaan tekemällä rutiinikoestus jokaiselle moottorille tuotantolinjan lopussa. Rutiinikoestuksen tarkoitus onkin löytää jo valmistusvaiheessa mahdollisia vikoja ja virheitä.

3.2 Oikosulkumoottorin rakenne

Oikosulkumoottorin pääasiallinen tehtävä on muuttaa sähköenergia mekaaniseksi energiaksi. Mekaanisen energian tuottamiseen oikosulkumoottori käyttää pääasiassa seuraavia osia: staattorin runkoa, staattoria, roottoria, laakereita, laakerikilpiä ja liitinkoteloä. Osien suhteellisen vähäinen määrä tekee oikosulkumoottorista luotettavan voimakoneen. /3/

Oikosulkumoottorin komponenttien sijoittuminen on nähtävissä kuvassa 1. Oikosulkumoottori koostuu siis roottorista, joka lepää roottorin akseliin sijoitettujen laakereiden varassa staattoriaukossa. Roottori siis sijaitsee staattorin sisällä siten, että sen ja staattorin väliin jää ilmaväli. Tämä mahdollistaa roottorin pyörimisen laakereiden varassa. Oikosulkumoottori on koottu siten, että staattori on puristettu staattorin runkoon muodostaen moottorin rungon. Laakerit on kiinnitetty puristamalla laakerikilpiin, jotka on ruuvattu kiinni staattorin rungon päihin. Tämä mahdollistaa roottorin pyörimisen staattorin sisällä laakereiden varassa ja rungon sisällä suojassa. Oikosulkumoottorin roottorissa on häkkikäämitys ja staattorissa kolmivaihekäämitys. Staattorin rungon toisessa päässä on yleensä tuuletin, joka viilentää moottoria roottorin pyöriessä. Joissakin tapauksissa oikosulkumoottorin tuuletus hoidetaan käyttämällä erillistä puhallinmoottoria staattorin rungon päässä, joka mahdollistaa päämoottorin korkeamman kuormittamisen. Liitinkotelo sijait-

see yleensä oikosulkumoottorin päällä tai kyljessä. Liitinkotelon sisälle kytketään moottoriin tulevat syöttökaapelit. /3/ /4/



Oikosulkumoottorin rakenne. 1 staattorin runko, 2 laakerikilvet, 3 roottori, 4 laakerit, 5 tuuletin, 6 tuulettimen suojus, 7 staattorikäämitys, 8 staattorin levypaketti, 9 roottorin käämitys, 10 roottorin levypaketti, 11 liitäntäkotelo, 12 akseli.

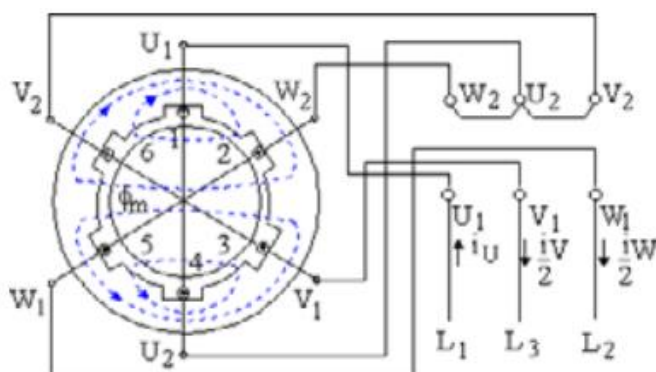
Kuva 1. Oikosulkumoottorin rakenne. /4/

Kuvassa 1 esitetty oikosulkumoottorin rakenne on yleisin, mutta siitä on olemassa myös erilaisia variaatioita. Vaasan moottoritehtailla valmistetut moottorit koostuvat pääosin myös samoista komponenteista, mutta yleensä joitakin niistä on muokattu asiakkaan toiveiden mukaisesti tai moottoriin on lisätty joitakin ylimääräisiä komponentteja, kuten takometrejä tai erillispuhallinmoottoreita. Näitä asiakaskoh-
taisia muutoksia kutsutaan Moottorit ja Generaattorit -yksikössä varianttikoodei-
si. Kaksi hyvin yleistä varianttikoodia, joita Vaasan moottoritehtaan asiakkaat li-
säävät tilaukselleen, ovat koodit +209 ja +405. Molemmat varianttikoodit liittyvät
staattoripaketin rakenteeseen. +209 varianttikoodilla asiakas tilaa staattoripaketin,
jonka käämitys on spesifioitu kyseisen moottorin syöttöjännitteelle ja taajuudelle.
Toinen syy +209 varianttikoodin tilaamiselle on moottorin starttivirran rajoittami-

nen johonkin tiettyyn arvoon. +405 varianttikoodilla asiakas tilaa staattoripaketin, joka soveltuu paremmin taajuusmuuttajakäyttöön. Tällöin mm. staattoripaketin eristystä pitää parantaa. Näiden sekä muutaman muun varianttikoodin vaikutusta koestusprosessiin ja sen ongelmiin on selitetty opinnäytetyön myöhemmissä kappaleissa. /4/

3.3 Oikosulkumoottorin toimintaperiaate

Oikosulkumoottorit toimivat vaihtovirralla. Oikosulkumoottorin staattoriin syntyy pyörivä magneettikenttä, kun moottoriin kytketään kolmivaihejännite. Pyörivän magneettikentän staattorin sisälle synnyttää siis staattorin kolmivaihekäämitys ja -jännite. Oikosulkumoottorin roottorivirta syntyy, kun pyörivä magneettikenttä leikkaa staattorin urissa sijaitsevia sauvoja, joka indusoi sähkömotorisen jännitteen sauvojen ja vyyhtien johdinkierroksiin. Oikosulkumoottorin roottorin saa puolestaan pyörimään roottorivirran ja staattorijännitteen aiheuttama magneettikenttä ja sen välinen vuorovaikutus. Oikosulkumoottoria kutsutaan myös epätahdikoneeksi, koska moottorin roottori pyörii epätahdissa staattorin syöttötaajuuteen nähden. Kuvassa 2 on esitetty yksinkertaistettu oikosulkumoottorin käämitys. /3/ /4/



Kolmivaiheisen vaihtosähkökoneen yksinkertaistettu käämitys.

Kuva 2. Oikosulkumoottorin käämitys. /4/

3.4 Sähkömoottoreiden sovellussuunnittelu

Tässä kappaleessa on tarkoitus käydä lyhyesti läpi sähkömoottoreiden sovellussuunnittelu sekä sen vaiheet, jotka ovat tämän työn kannalta merkittäviä. Sovellussuunnittelun vaiheiden selvittäminen auttaa ymmärtämään paremmin rutiinikoestuksen prosessia.

3.4.1 Sovellussuunnittelu

Sähkömoottoreiden sovellussuunnittelu koostuu käytännössä Moottorit ja Generaattorit -yksikössä kolmesta eri vaiheesta. Aluksi tarkistetaan moottorin rakenne ja sille tilatut varianttikoodit eli asiakaskohtaiset muutokset. Kun varianttikoodien aiheellisuus ja oikeellisuus on tarkistettu, niin varmistetaan se, että oikeanlaiset moduulit eli osakokonaisuudet ovat konfiguroituneet rakenteelle ja täten työkortille. Esimerkiksi jos moottorille on tilattu metallinen tuuletin varianttikoodilla +068, niin moottorin rakenteelle pitäisi konfiguroitua sellainen moduuli, joka sisältää metallisen tuulettimen ja siihen tarvittavat osat eli ruuvit ja kiinnikkeet. Lopuksi kun moottorin moduulit on varmistettu, niin luodaan työkortti, jossa ei enää käsitellä moduuleita vaan pelkästään erillisiä komponentteja.

Viimeisessä vaiheessa moottorille luodaan arvokilpi ja lisäkilvet selainpohjaisessa kilpiensuunnittelu-ohjelmassa Elapissa. Arvokilvelle leimataan tiedot, jotka tilaustenkäsittelijä on lisännyt OMSiin kyseiselle moottorille. OMS on selainpohjainen ohjelma, joka sisältää kaiken tiedon tilaukselta, kuten sen mitä varianttikoodoja tilaukselle on haluttu ja mikä leimausrivi moottorille halutaan.

Käytännössä moottori koostuu siis laskelmasta ja varianteista, jotka määräävät moottorin mekaanisen rakenteen ja lisälaitteet. Laskelma sisältää myös moottorin sähköiset ominaisuudet eli tiedot staattorista ja roottorista.

3.4.2 Varianttikoodit

Varianttikoodilla tarkoitetaan sovellussuunnittelussa tilauksella näkyviä koodeja, joista suunnittelija tietää, mitä komponentteja moottoriin halutaan lisättävän. Varianttikodeja on olemassa hyvin erilaisia ja niiden toteutuksen haastavuus vaihtelee suuresti. Esimerkiksi varianttikoodilla +068 suunnittelijan pitää varmistaa, että moottorin rakenteella ja työkortilla on metallinen tuuletin sekä kaikki metallisen tuulettimen tarvitsemat kiinnikkeet. Toisen ääripään esimerkki on varianttikoodi +209, jolla asiakas tilaa tietyn starttivirtarajan alittaman staattorin ja käämityksen moottorilleen. Tällöin suunnittelija etsii jo olemassa olevista laskelmista sopivan tai tekee itse sopivan laskelman staattorille muuttamalla mm. lankalukua ja muita sähköisiin ominaisuuksiin vaikuttavia arvoja ja varmistaa, että lopullinen laskelma on konfiguroitunut moottorin rakenteelle ja täten työkortille oikein. Kuvassa 3 on esitetty esimerkki varianttikoodilistasta tilauksella.

```

1  BASIC CODE AND VARIANT CODES Texts
2  -----
3
4  Basic code: 3GGP164410-ADH - M3GP 160MLA 8
5  Variant codes:
6  209 - Non-standard voltage or frequency, (special winding).
7  440VD+/-6%-50Hz+/-2,5%:3kW@55°C, Is/In(><<<)>=6, XYU111115D02_1-HEMAN1
8  178 - Stainless steel / acid proof bolts.
9  786 - Special design shaft upwards (V3, V36, V6) for outdoor mounting.
10 448 - Draining holes with metal plugs.
11 525 - External earthing bolts on motor feet
12 135 - Mounting of additional identification plate, stainless.
13 - Efficiency
14 - Locked rotor current: %In
15 - Locked rotor torque: %Tn
16 - Allowable run-up time: (sec)
17 126 - Tag plate 17-126A-EM-001 A
18 754 - Painting system C5M acc. to ISO 12944-2:1998
19 114 - Special paint color, standard grade BS 4800 10 A 03
20 222 - Torque/speed curve, type test and multi-point load test with
21 report for one motor from specific delivery batch.
22 762 - Noise level test for one motor from specific delivery batch.
23 066 - Modified for specified mounting position differing from IM B3
24 (1001), IM B5 (3001), B14 (3601), IM B35 (2001), IM B34 (2101)
25
26
27 TYPE DESIGNATION Texts
28 -----
29
30 M3GP 160MLA 8

```

Kuva 3. Varianttikoodit tilauksella.

3.4.3 Moduulit

Moduulit ovat osakokonaisuuksia, jotka sisältävät tietyn varianttikoodin mukaiset komponentit. Jokaiselle tietyn kokoluokan omaavalle moottorille on luotu perusmoduuleita, jotka sisältävät tietyn moottorityypin (JP/KP/GP/HP/BP) peruskomponentit. Esimerkiksi perusmoduuli saattaa sisältää muovisen tuulettimen, joka vaihdetaan pelkästään, jos asiakas välttämättä haluaa tilata kyseiselle moottorille metallisen tuulettimen. Kuvassa 4 on esitetty mitä komponentteja yksinkertainen tuuletinmoduuli sisältää.

Result						
Lv	Item	Component number	Qty	Un	ICat	AGrp ObDp
Description						
<input type="checkbox"/>	2	0000 3GZF101014-5				
FAN MODULE						
<input type="checkbox"/>	3	0010 3GZF304116-3	1,000		PC	L
FAN, PLASTIC D260						
<input type="checkbox"/>	3	0020 9ABA135-26	1,000		PC	L
RETAINING RING						

Kuva 4. Tuuletinmoduuli.

3.4.4 Laskelmat

Laskelma sisältää kaikki staattorin ja roottorin tekniset tiedot, sekä sähköiset arvot. Roottorit ja staattorit valmistetaan laskelman teknisten tietojen mukaan. Tämän lisäksi moottorinlaskentaohjelma Adeptilla voidaan laskea staattorille sähköiset arvot. Adeptilla voidaan siis esimerkiksi laskea vaikka samasta staattorista sen virta 440 V jännitteellä ja 60 Hz:n taajuudella kolmiokytkennässä tai sen saman staattorin virta 690 V jännitteellä, 50 Hz:n taajuudella tähtikytkennässä. Adept -laskentaohjelma sisältää kaikki laskelman tekniset tiedot, kuten tiedot staattorin ja roottorin rakenteesta ja materiaaleista, uramuodoista jne.

Jokaiselle moottorityypille voi siis käytännössä olla todella monta laskelmaa, koska vaihtoehtoja moottorin syöttöjännitteelle ja -taajuudelle on useita. Esimerkiksi

erilaisille jännitekoodeille voidaan tehdä vastaava laskelma. Jännitekoodit on esitetty kuvassa 5. Jännitekoodi kuvaa moottorin syöttöjännitettä ja taajuutta. Tämä tarkoittaa siis sitä, että jännitekoodien mukaiset laskelmat on optimoitu kyseiselle syöttöjännitteelle ja -taajuudelle.

Positio 13 — Jännite ja taajuus	
Yksinopeusmoottorit (& jarrumoottorit)	
A =	380 VY 50 Hz
B =	380 VD 50 Hz
D =	400 VD 50 Hz (keskialue)
E =	500 VD 50 Hz
F =	500 VY 50 Hz
G =	415 VY 50 Hz
H =	415 VD 50 Hz
J =	690 VY / 400 VD 60 Hz
K =	440 VD 50 Hz
P =	346 VY / 200 VD 60 Hz
R =	380 VY / 220 VD 60 Hz
S =	400 VY 50 Hz (keskialue)
T =	660 VD 50 Hz
U =	690 VD 50 Hz
W =	660 VY / 380 VD 60 Hz
V =	220 VDD / 440 VD 60 Hz (Manilla)
Z =	575 VD 60 Hz
X =	Muu jännite tai taajuus
Moninopeusmoottorit	
A =	220 V 50 Hz
B =	380 V 50 Hz
C =	220 V 60 Hz
D =	400 V 50 Hz (380-400 V alue)
E =	500 V 50 Hz
H =	415 V 50 Hz (400-415 V alue)
J =	690 VY 60 Hz
K =	440 VD 50 Hz
R =	380 V 60 Hz
S =	230 V 50 Hz (220-230 V alue)
T =	660 V 50 Hz
U =	690 V 50 Hz
W =	660 V 60 Hz
X =	Muu jännite tai taajuus
Nema-moottorit:	
D =	460 V 60 Hz
E =	575 V 60 Hz

Kuva 5. Jännitekoodit. /5/

Jännitekoodikohtaisten laskelmien lisäksi käytännössä jokaiselle moottorityypille voidaan tilata varianttikoodi +209 tai +405. Tämä tarkoittaa sitä, että jännitekoodikohtaisten laskelmien lisäksi voi olla laskelmia, jotka on tehty sopiviksi taajuusmuuttajakäyttöön tai laskelmia, joissa on rajoitettu starttivirtaa tiettyyn arvoon. Näiden lisäksi on vielä olemassa korkeamman eristysluokan laskelmat. Tämä laskelmien määrä jokaista moottorityyppiä kohden on myös yksi ongelma, joka rutiinikoestusta hankaloittaa. Uusien laskelmien tekeminen ja niiden tarkistusarvojen laskeminen on ongelma rutiinikoestukselle, koska uusista laskelmista ei

ole vielä koestustuloksia ja täten lasketut tarkistusarvot eivät välttämättä vastaa todellisia koestettuja arvoja.

3.4.5 Laskelmakohtaisten tarkistusarvojen laskeminen

Laskelma sisältää kaikkien sähköisten arvojen sekä roottorin ja staattorin teknisten tietojen lisäksi myös tarkistusarvot, jotka lasketaan ja syötetään Adept -laskentaohjelman kautta Trinityyn. Trinity on Adeptin aliohjelma, jolla voidaan laskea mm. uusia pääarvokilven leimausrivejä Elappiin. Tarkistusarvot ovat laskennallisia arvoja, joihin moottorin rutiinikoestuksen tuloksia vertaillaan. Tarkistusarvojen laskennan tulisi olla niin tarkkaa, että lasketut arvot vastaisivat koestettuja arvoja toleranssien sallimissa rajoissa. Yleensä pienillä moottoreilla (akselikorkeus 71–250) näin ei kuitenkaan aina ole, koska pienikin virhe tarkistusarvojen lähtöarvoissa aiheuttaa tarpeeksi suuren laskentavirheen niin, että koestustulokset ovat tarkistusarvojen ja niiden toleranssien ulkopuolella. Tätä ongelmaa tullaan selventämään myöhemmissä kappaleissa.

Tarkistusarvojen laskentaan käytetään yleensä korjauskertoimia eli esimerkiksi uuden laskelman tarkistusarvoja laskettaessa vertaillaan alkuarvoja yleensä vastaavan moottorityypin D-jännitekoodin laskelmaan. Tällä pyritään samaan tarkempia laskenta-arvoja. Kaavassa 8 on esitetty esimerkki, kuinka arvoja vertaillaan eri laskelmien välillä. Osa tarkistusarvojen lähtöarvoista saadaan myös laskettua Adept -moottorinlaskentaohjelmalla.

3.4.6 Tarkistusarvojen laskentaan tarvittavia kaavoja

Tässä kappaleessa on esitetty kaavoja, joilla tarkistusarvoihin liittyvät luvut saadaan laskettua. Kaavassa 1 on esitetty tyhjäkäyntivirran I_0 magnetointivirran osuuden laskenta. Tyhjäkäyntivirran I_0 magnetointivirran osuus tulee pääosin il-mavälin ja levypakettien magnetoinnista. Kaavassa 1 I_{q0} tarkoittaa magnetointivir-taa, p napaparilukua, m_0 kokopiirin magnetomotorista voimaa, m_1 vaihelukua, ξ_1 staattorin käämikerrointa ja $2N_{11}$ tehollista johdinlukua vaiheessa. /6/

$$I_{q0} = \frac{\pi \cdot p \cdot m_0}{\sqrt{2} \cdot m_1 \cdot 2N_{1t} \cdot \xi_1} \quad (1)$$

Kaavassa 2 on esitetty tyhjäkäyntivirran I_0 reaktiivisen osuuden laskenta. Reaktiivinen osuus johtuu pääosin rauta- ja kitkahäviöistä. Kaavassa 2 I_{p0} tarkoittaa tyhjäkäyntivirran reaktiivista osuutta, P_{Fe} staattoripaketin rautahäviötä, P_p kitkahäviötä, m_1 vaihelukua ja U_{V1} vaihejännitettä. /6/

$$I_{p0} = \frac{P_{Fe} + P_p}{m_1 \cdot U_{V1}} \quad (2)$$

Kaavassa 3 on esitetty tyhjäkäyntivirran I_0 -laskenta. Lopullinen tyhjäkäyntivirta lasketaan siis tyhjäkäyntivirran magnetointivirrasta ja reaktiivisesta osuudesta. Kaavassa 3 I_0 tarkoittaa tyhjäkäyntivirtaa, I_{q0} magnetointivirtaa ja I_{p0} tyhjäkäyntivirran reaktiivista osaa. /6/

$$I_0 = \sqrt{I_{q0}^2 + I_{p0}^2} \quad (3)$$

Kaavassa 4 on esitetty tyhjäkäyntitehokertoimen laskenta. Kaavassa 4 $\cos \varphi_0$ tarkoittaa tyhjäkäyntitehokerrointa, P_0 tyhjäkäyntitehoa, U_0 tyhjäkäyntijännitettä ja I_0 tyhjäkäyntivirtaa. /6/

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \cdot U_0 \cdot I_0} \quad (4)$$

Kaavassa 5 on esitetty tyhjäkäyntitehon laskenta. Tyhjäkäyntiteho lasketaan tyhjäkäyntijännitteen, -virran ja -tehokertoimen avulla. /6/

$$P_0 = \sqrt{3} \cdot U_0 \cdot I_0 \cdot \cos \varphi_0 \quad (5)$$

Kaavassa 6 on esitetty oikosulkuvirran laskenta. U_N tarkoittaa moottorin nimellistä jännitettä, U_{km} ja I_{km} ovat redusoituja jännitteen ja virran arvoja. /6/

$$I_k = \frac{U_N}{U_{km}} * I_{km} \quad (6)$$

Kaavassa 7 on esitetty oikosulkutehon laskenta. Oikosulkuteho lasketaan oikosulkuvirran, -jännitteen ja -tehokertoimen avulla. /6/

$$P_k = \sqrt{3} * U_{km} * I_{km} * \cos \varphi_k \quad (7)$$

Kaavassa 8 on esitetty eri arvojen vertailua vakio- eli yleensä D-jännitekoodin laskelmaan. Kaikki laskennassa käytetyt arvot pitäisi laskea korjauskertoimilla. Tämä laskenta tulisi siis suorittaa arvoille I_0 , I_{km} , $\cos \varphi_0$, $\cos \varphi_k$ ja U_{km} . /6/

$$\frac{I_{\text{testattu Atem:sta}}}{I_{\text{vakio laskelma}}} * I_{\text{muokattu laskelma}} = \text{Uusi testausarvo} \quad (8)$$

Taulukossa 1 on esitetty koestusjännitetasot linjoittain. Taulukosta selviää, että kaikilla kokoonpanolinjoilla ei ole mahdollisuutta tehdä koetuksia, kuin muuttamalla jännitetasolla.

Taulukko 1. Eri linjojen koestusjännitetasot. /7/

	Linja	Testilaitteisto	Testattavat moottorit	Huom	Tyhjäkäyntikoejännitteet: U0 (50Hz)				Oikosulkukoejännitteet:Ukm (50Hz)					
FIMOT	AL3A	SPS	CI 71-132	1)	-	400	500	690	55	66	82	95	-	-
	AL3A	ent. AL10	CI 71-132	2)	230	400	500	690	2)					
	AL3A	ent. ESMOT	CI 71-132		?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
	AL3B	ent. AL15	CI 160-250		230	400	500	690	55	66	82	95	114	141
	AL3C	SPS ent. SEMOT	AA 71-132	1)	-	400	500	690	55	66	82	95	-	-
	AL3D	ent. PLL3 tulossa	AA 160-250		230	400	500	690	55	66	82	95	114	141
	AL3?	HDP&SynRM	71-250		Tyhjäkäyntitesti tehdään taajuusmuuttajalla				-					
	AL1A	AL1A ent. AL30	280-315		230	400	500	690	55	66	82	95	114	141
	AL1B	AL1B ent. AL35	280-315		230	400	500	690	55	66	82	95	114	141
L2A	L2A	355-500		230	400	500	690	55	66	82	95	114	141	
L2B	L2B	355-500		230	400	500	690	55	66	82	95	114	141	
PLMOT	LM3	ent. PLL3			230	400	500	690	55	66	82	95	114	141
	FF2	ent. PLL2	160-250	3)	230	400	500	690	55	66	82	95	-	-
	FF1	ent. PLL1	71-132	4)	230	400	500	690	55	66	82	95	-	-

3.4.7 Adept

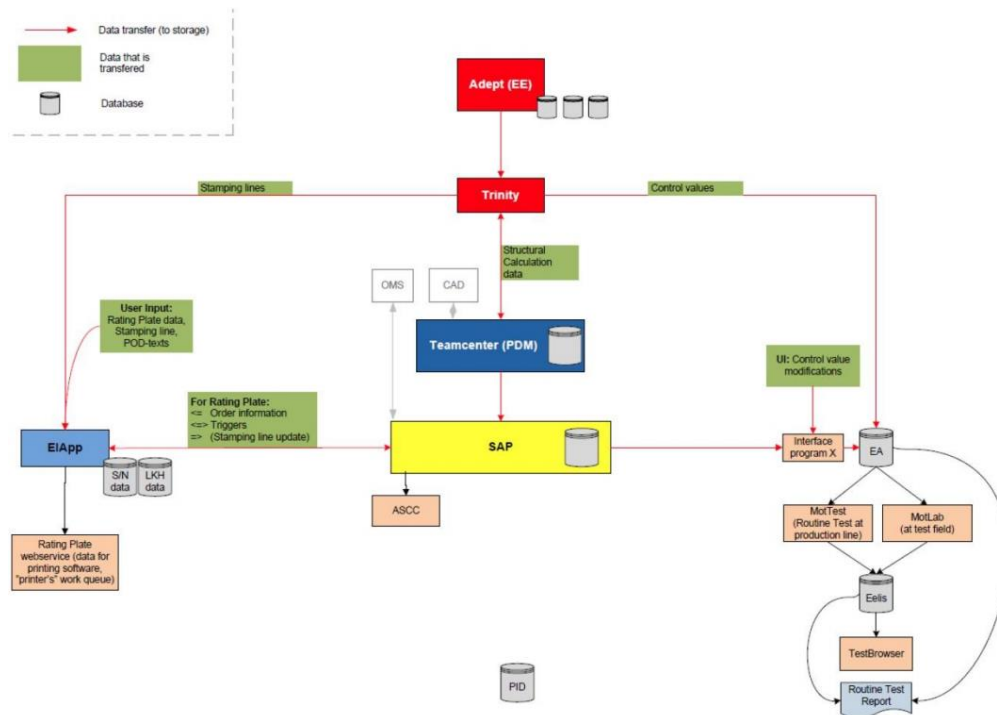
Adept on monipuolinen moottorinlaskentaohjelma, jolla voidaan laskea kaikki moottorin sähköiset arvot. Adept sisältää useita eri laskentaprofiileita, jotka käyttävät laskentaan hieman erilaisia menetelmiä. Yleisimpiä laskentaprofiileita, joita sovellussuunnittelussa käytetään, ovat S113, FCSmek ja Neuro.

S113- laskentaprofiilin laskenta perustuu yksivaiheisen sijaiskytkennän ratkaisuun. S113- ohjelma sisältää myös Neurotune -toiminnon, jonka avulla laskettuja arvoja korjataan tarkemmaksi vanhojen koestettujen arvojen perusteella. Tämä toiminto siis tekee S113- laskentaprofiilin laskennasta hieman käytännönläheisempää ja tarkempaa. /8/

FCSmek -laskentaprofiilin laskenta perustuu elementtimenetelmä-ratkaisuun. Tämä tarkoittaa sitä, että laskettava alue jaetaan osiin ja jokaisesta osasta muodostetaan oma yhtälönsä. Laskentaprofiilin etuna on se, että elementtiverkkoa voidaan tihentää. /8/

3.4.8 Tiedonkulku eri ohjelmien välillä

Työssä on esitetty useita eri ohjelmia ja niiden toimintoja. Kuvassa 6 on esitetty kaavio tiedonkulusta näiden eri ohjelmien välillä. Kuva auttaa hahmottamaan sitä, kuinka vaativaa tiedonsiirtoa sovellussuunnittelun työkalujen välillä esiintyy. Siitä selviää myös, että yhden ohjelman mahdolliset tietojärjestelmäviat voivat vaikuttaa useampaan ohjelmaan ja hankaloittaa täten työn tekemistä.



Kuva 6. Tiedonkulku eri ohjelmien välillä. /9/

3.5 Rutiinikoestus

Vaasan moottoritehtailla jokaiselle moottorille tehdään tuotantolinjan lopussa rutiinikoestus. Rutiinikoestuksen perustana toimii ABB:n oma laatujärjestelmä ja IEC -standardi 60034-1 (**Kuva 7**). Standardissa on määritelty mm. mitä testejä eri moottorityypeille pitää tehdä.

IEC Standardin 60034-1 mukaiset rutiinikoestukset				
Numero	Testi	Induktiomoottori	Synkronimoottori	DC moottori
1	Käämien resistanssi (kylmä)	X	X	X
2	Tyhjäkäyntihäviöt ja virta	X		
3a	Tyhjäkäyntihäviöt yhtenäisellä tehokertoimella		X	
3b	Tyhjäkäynti magnetointivirta annetulla jännitteellä		X	
4	Magnetointivirta			X
5	Virta paikoilleen lukitussa moottorissa	X		
6a	Pyörimissuunta	X		X
6b	Vaihejärjestys			
7	Eristyskoe	X	X	X

Kuva 7. Esimerkki rutiinikoestusvaiheista eri moottorityypeille. /10/

Seuraavissa kappaleissa on esitelty oikosulkumoottorin rutiinikoestuksen vaiheet. Rutiinikoestuksen tarkoituksena on selvittää, ettei moottorissa ole mitään vikaa ja että se on tehty työkortin mukaisesti. Rutiinikoestuksissa testatut arvot tallennetaan MotTest -ohjelmaan, joka puolestaan tallentaa kaikki syötetyt arvot tietokantaan. Tietokannasta tietoa voidaan etsiä ATEM Test Browser -ohjelmalla. Sillä pystytään etsimään esim. moottorin sarjanumeron tai tilausnumeron perusteella, että minkälaisia arvoja moottorista on rutiinikoestuksessa mitattu. ATEM Test Browser -ohjelmasta näkee myös, että onko kyseinen moottori läpäissyt rutiinikoestusvaiheen ensimmäisellä yrittämällä vai onko moottoria jouduttu esim. korjaamaan tuotantolinjalla ja sen jälkeen koestamaan uudestaan.

3.5.1 Oikosulkumoottorin rakenteen tarkastaminen

Ensimmäisenä vaiheena rutiinikoestuksessa on tarkistaa, että moottori on tehty työkortin mukaisesti. Työkortit ovat moottorikohtaisia ja ne sisältävät kaiken oleellisen tiedon moottorin komponenteista, rakenteesta ja työvaiheista. Työkortti sisältää mm. seuraavat tiedot: minkä tyyppinen moottori on kyseessä (JP/KP/GP/HP), mitenkä moottori tulee kytkeä, minkälainen roottori ja akseli moottorissa on, mitä muita komponentteja kyseinen moottori sisältää ja millä laskelmalla staattorikäänitys on käännetty. Moottorikohtainen laskelma sisältää kaiken oleellisen tiedon moottorin staattorista ja roottorista, kuten tiedot staattoriraudan koosta, tyypistä, mitoista, uraluvusta ja lankaluvusta eli kuinka paljon kuparia on käytetty johtimissa. Laskelma sisältää myös tiedot staattorissa käytetystä kuparilangasta ja eristeistä sekä roottoriraudan tiedot, rautamuodot, roottorin tekemisessä käytetyn materiaalin ominaisuudet ja paljon muuta. Kun moottori on tarkistettu ja sen on todettu olevan työkortin mukainen, niin tarkistetaan vielä moottorin arvokilven leimausrivi, moottorin mahdolliset lisäkilvet ja merkinnät ja niiden oikeellisuus sekä asentomerkki. /11/

3.5.2 Silmämääräinen tarkastus

Silmämääräisessä tarkistuksessa tarkastetaan, että moottori on pääasiallisesti koottu oikein. Tarkistetaan, että kaikki laakerikilven ruuvit ovat kiinni ja että akseli on kunnossa ulkopuolisesti eli siinä ei näy ulkoisia naarmuuntumia tai halkeamia. Jalallisissa moottoreissa tarkistetaan jalkojen oikeanlainen kiinnitys. Lisäksi tarkastetaan laakereiden voitelu ja varmistetaan, että voitelutapa on oikea moottorityypille. Silmämääräisesti tarkistetaan myös staattorin rungon ripojen ja liitäntäkotelon valuosien kunto. Lopuksi tarkistetaan vielä vaihemerkinnät ja liitäntäalustan oikea tyyppi. /11/

3.5.3 Vaihevastusten mittaaminen

Moottorin vaiheiden vastukset mitataan vastusmittarilla. Moottoreilla vaihevastukset mitataan kertaalleen jo liitännässä. Eri vaiheiden vastusarvojen erot saavat olla 2 %. Vaihevastuksen ero laskennalliseen vastuseroon saa olla $\pm 6\%$. /11/

3.5.4 Syöksyaaltokoe

Syöksyaaltokoe suoritetaan yleensä 3000 voltilla. Syöksyaaltokokeen tarkoituksena on paikallistaa eristeen yli tapahtuvia jännitteenpurkauksia. Tavalliset yksinopeusmoottorit kytketään yhdistämällä vaiheet U2, V2 ja W2 tähtikytkentään ja syöttämällä testausjännite U1, V1 ja W1 vaiheiden välille. Koe suoritetaan siten, että kahteen vaiheeseen syötetään 3000 V:n vaimeneva jännitepulssi. Käämityksen kunto pystytään tulkitsemaan syöksyaaltotesterin oskilloskooppikuvasta. Oskilloskooppi esittää kuvat kolmesta eri vaiheesta, josta voidaan päätellä läpi-lyönnin syyt. Kuvista voidaan päätellä, onko käämitys ollut riittävän hyvä, onko purkaus tapahtunut staattorin runkoon vai toiseen vaiheeseen ja onko kaikki kuparilangan päät kytketty ja käämilankavyyhdet kytketty samansuuntaisesti. /11/

3.5.5 Lisälaitetestit

Lisälaitetestissä tarkistetaan, että kaikki työkortissa näkyvät lisälaitteet on todella kytketty ja asennettu oikein. Itse lisälaitteiden kunto tarkistetaan resistanssimitauksella. Lisälaitteiden vastusarvot on taulukoitu, joten koestajan on helppo todeta, että lisälaite toimii odotetulla tavalla. Yleisimpiä lisälaitteita ovat lämmitys-
vastukset ja mittausvastukset sekä termistorit. /11/

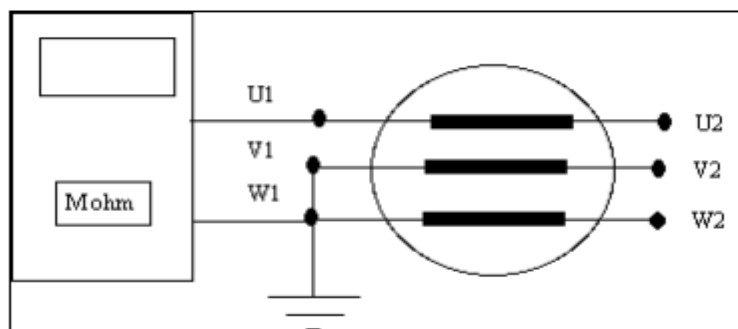
3.5.6 Eristyskoestus

Eristyskoestus suoritetaan käämitykselle siten, että eristyskoestuslaitteella kohdistetaan 2400 voltin jännite minuutin ajaksi testattavan eristetyn osan ja muiden testauksen aikana runkoon kytkettyjen osien välille. Lisälaitteille koestus suoritetaan 1500 V jännitteellä 15 sekunnin ajan. Moottorit ja lisälaitteet läpäisevät eristys-

koestuksen, jos ne kestävät kokeen ilman läpilyöntiä. Läpilyönti ilmenee eristyskoestuslaitteen pois laukaisuna. /11/

3.5.7 Eristysvastusmittaus

Eristysvastusmittauksessa mitataan 1000 V:lla 60 sekunnin ajan ja minimissään eristysvastuksen tulisi olla 1-2 G Ω riippuen suhteellisesta ilmakestävyydestä. Koestus suoritetaan käämi käämiä vastaan sekä käämitys runkoa vastaan. Kuvassa 8 on esitetty eristysvastusmittaus.



Kuva 8. Eristysresistanssin mittaus. /11/

3.5.8 Tyhjäkäyntikoe

Koe suoritetaan valitulla jännitealueella ja kytkennällä. Tehonsyötön kaapelit kytketään moottoriin pikaliittimillä. Ennen kokeen aloitusta tarkistetaan koestettavan moottorin ympäristö, ettei ole vaaraa kaapelien tai muiden esineiden tartumisesta akseliin tai tuulettimeen. Aluksi sähkömoottori käynnistetään ja tarkastetaan laakerien kunto ja moottorin oikea pyörimissuunta. Samalla mitataan moottorin täri- nät ja tyhjäkäyntivirta I_0 . Tyhjäkäyntivirrassa käytetään 10 % toleranssia eli tyhjä- käyntivirran mitattu arvo saa heittää ± 10 % tarkistusarvosta. Vaihe-ero saa olla samassa moottorissa myös maksimissaan 5 %. /11/

3.5.9 Oikosulkukoe

Oikosulkukoe suoritetaan siten, että moottorille kytketään tehonsyöttökaapelit ja moottorin akselille kiinnitetään roottorinlukituslaite. Tämän jälkeen mitataan oikosulkuvirran arvo I_k . Moottoreille käytetään oikosulkuvirran toleranssina 15 %:n rajaa. Tämä tarkoittaa siis sitä, että mitattu oikosulkuvirran arvo saa heittää ± 15 % tarkistusarvosta. Vaihe-ero saa olla samassa moottorissa myös maksimissaan 5 % . /11/

3.5.10 Laipan keskeisyys

Laippakoneissa mitataan näiden edellä mainittujen arvojen lisäksi akselipään heitto ja laipan keskeisyys taulukoitujen normien mukaisesti. Rutiinikoestus on valmis, kun kaikki nämä vaiheet on suoritettu moottorille. /11/

4 RUTIINIKOESTUKSEN NOTIFIKAATIOIDEN ANALYSOIMINEN

4.1 Notifikaatioiden analysoiminen ja luokittelu

Työ aloitettiin tutkimalla SAP- tietojärjestelmästä rutiinikoestusvaiheessa tehtyjä notifikaatioita vuodelta 2015 AL3A- ja AL3B-linjoilta. Kaikki kyseiset notifikaatiot käytiin läpi ja listattiin Exceliin (LIITE 1). Listaus tehtiin linjakohtaisesti kuukausitasolla. Exceliin listattiin myös moottorien koot, napaluvut, tuotekoodit, sukupolvikoodit, moottorien määrä tilauksen positiolla, tilausnumero, tilausnumeron positio, moottorin laskelma, syy rutiinikoestuksen epäonnistumiseen, notifikaation tyyppi, notifikaation numero ja kuinka notifikaatio on selvitetty, eli mitä toimenpiteitä moottoreille on tehty ennen rutiinikoestuksen läpäisemistä. Nämä samat asiat listattiin siis joka kuukaudelta ja molemmilta linjoilta.

Notifikaatiot oli jaoteltu rutiinikoestuksessa seuraaviin luokkiin: I_0 -, I_k -, I_{ksp} -, tarkistusarvot puuttuu-notifikaatiot ja tuplanotifikaatiot, vastusvirheet, maasulkuvirheet, eristysvastusvirheet, vaihesulkuvirheet, lisälaittevirheet, virheet äänessä tai moottorin tärinässä, osa virheellinen, käsittelyvirhe, virhe työsuorituksessa, virhe työkortilla ja pieni virhe, eli notifikaatiot oli jaoteltu yhteensä 17 eri luokkaan.

4.2 FPY:n määrittäminen ja laskenta

FPY on lyhenne englanninkielisistä sanoista *first pass yield*. Sillä tarkoitetaan moottorien lukumäärää tai prosenttilukua niistä moottoreista, jotka ovat läpäisseet rutiinikoestuksen ensimmäisellä kerralla eli ts. moottoreista, joissa ei ole ollut mitään ongelmia rutiinikoestusvaiheessa.

Ensin Exceliin (LIITE 2) listattiin rutiinikoestuksen ensimmäisellä kerralla läpäisseiden moottoreiden määrä, koko, rutiinikoestuksen ID -numerot, työnumerot, moottoreiden sarjanumerot, rutiinikoestuksen versiot, moottorityypit, laskelmat

sekä koestustulokset. Näin saatiin kerättyä kaikki tarvittavat taustatiedot FPY:n laskemiseksi.

FPY laskettiin selvittämällä notifi kaatioiden määrä linjoittain ja sen jälkeen katsottiin ATEM Test Browser -ohjelmalla, kuinka monta moottoria oli läpäissyt rutiinikoestuksen ensimmäisellä kerralla. FPY saatiin siis laskettua vähentämällä notifi kaation saaneet moottorit koko tuotantolinjan rutiinikoestuksen ensimmäisellä kerralla läpäisseistä moottoreista. Tulokset listattiin Exce liin (LIITE 2) kuukausittain ja linjakohtaisesti. FPY:n laskennassa ei otettu huomioon tuplanotifi kaatioita, koska ne ovat todennäköisesti järjestelmävirheitä ja eivät vaikuta rutiinikoestuksen läpimeno on.

4.3 Havainnot AL3A-linjalla

AL3A-linjalla valmistetaan moottoreita, joiden moottorikoko vaihtelee 71 ja 132 välillä. Taulukossa 2 nähdään notifi kaatioiden lukumäärät runkokoon mukaan. Vasemman puoleisessa taulukossa on laskettu kaikki 2015 vuoden notifi kaatiot ja oikeanpuoleisessa taulukossa on laskettu kaikki notifi kaatiot ottamatta huomioon tuplanotifi kaatioita. Oikeanpuoleisen taulukon mukaan laskettiin FPY AL3A-linjalle (LIITE 2).

Taulukko 2. AL3A-linjan notifikaatiot runkokoon mukaan.

AL3A (10-linja)	Notifikaatiot tyyppin mukaan							Notifikaatiot tyyppin mukaan ilman tuplanotifikaatioita						
	Moottorityyppi						Yhteensä	Moottorityyppi						Yhteensä
	71	80	90	100	112	132		71	80	90	100	112	132	
Tammikuu	1	11	13	14	21	11	71	1	11	13	14	21	10	70
Helmikuu	0	12	5	23	4	13	57	0	12	5	23	4	13	57
Maaliskuu	0	7	15	0	19	23	64	0	7	15	0	19	23	64
Huhtikuu	0	12	1	3	11	11	38	0	12	1	3	11	11	38
Toukokuu	3	5	14	9	28	35	94	3	5	14	9	28	35	94
Kesäkuu	5	42	58	19	34	88	246	4	34	51	17	27	81	214
Heinäkuu	11	24	27	37	45	53	197	10	20	25	33	41	49	178
Elokuu	35	30	32	20	27	32	176	28	26	27	19	22	24	146
Syyskuu	15	37	40	39	55	55	241	14	35	37	31	51	45	213
Lokakuu	1	16	45	17	18	43	140	1	15	41	13	14	36	120
Marraskuu	0	20	18	39	47	22	146	0	20	17	39	47	22	145
Joulukuu	1	16	8	10	12	27	74	1	14	8	8	12	21	64
Yhteensä:	72	232	276	230	321	413	1544	62	211	254	209	297	370	1403

Tarkempi ongelmien selvittäminen aloitettiin tarkastelemalla I_0 -, I_k -, I_{ksp} -, tarkistusarvot puuttuu- sekä tuplanotifikaatiota. Taulukosta 3 nähdään heti, että I_0 - ja I_k -notifikaatioiden määrä on suhteellisen suuri verrattuna muihin notifikaatioihin.

Taulukko 3. AL3A-linjan notifikaatiot.

Kuukausi	Adept -virheet		SPS -virheet	Järjestelmävirheet	
	I_0	I_k	I_{ksp}	Tarkistusarvot puuttuvat	Tuplanotifikaatiot
Tammikuu	48	0	0	4	1
Helmikuu	48	0	0	2	0
Maaliskuu	43	0	0	11	0
Huhtikuu	22	0	0	11	0
Toukokuu	49	0	0	31	0
Kesäkuu	72	45	56	33	32
Heinäkuu	70	46	20	26	19
Elokuu	52	32	8	20	30
Syyskuu	53	42	27	65	28
Lokakuu	57	24	20	4	20
Marraskuu	77	47	10	6	1
Joulukuu	17	22	12	2	10
Yhteensä:	608	258	153	215	141

Lisäksi taulukossa 3 nähdään muutos oikosulkuvirtojen notifikaatioiden määrässä touko- ja kesäkuun vaihteessa. Tämä johtuu siitä, että koestuslaitteisto vaihdettiin AL3A-linjalle. Vanhan koestuslaitteen rinnalle tuli uudempi SPS -koestuslaite. Tämä mahdollisti myös tarkempien oikosulkuvirtatestien tekemisen. Aikaisemmin oikosulkuvirtatestit jouduttiin suorittamaan hieman eri tavalla. Tämän vuoksi pienimmät virheet oikosulkutesteissä eivät tulleet näkyville.

I_{ksp} -notifikaatiot ovat oikosulkuun liittyviä ongelmia, jotka on ratkaistu laskemalla tarkistusarvot uudestaan. Notifikaatiot johtuivat siitä, että koestuslaitteisto muuttui kesken vuoden ja siksi ne on listattu erikseen. Vanhoille laskelmille oli laskettu tarkistusarvot erikoestusjännitteille, kuin uudella koestuslaitteistolla pystyttiin mittaamaan. Uudella koestuslaitteella ei pystytty testaamaan 100 V:n jännitteellä ja siksi tarkistusarvot on jouduttu laskemaan uudestaan vastaamaan esim. 95 V:n jännitettä.

Tarkistusarvot puuttuu- ja tuplanotifikaatioiden suuri määrä rutiinikoestuksessa on mielenkiintoinen havainto. Tarkistusarvot lasketaan ja tallennetaan sovellussuunnittelussa eli käytännössä yhdestäkään laskelmasta ei pitäisi puuttua tarkistusarvoja enää koestusvaiheessa. Tämä ongelma siis todennäköisesti johtuu tiedonsiirtohäiriöistä eri ohjelmien välillä. Joko niin, että tarkistusarvojen tallentaminen Trini-tyyn ei ole onnistunut tai koestusohjelma MotTest ei pysty vastaanottamaan tai löytämään tallennettuja tarkistusarvoja. Selvitettyäni asiaa ilmeni, että tietokannassa oli ollut ongelmia aiemmin, mikä voi osin selittää havaintoja.

Tyhjäkäynti- ja oikosulkuvirtojen ongelmat korostuivat notifikaatioista selkeästi eniten, jonka vuoksi niiden syyt on hyvä selvittää tarkemmin. Taulukoissa 4 ja 5 on esitetty kuinka nämä notifikaatiot on ratkaistu AL3A-linjalla.

Taulukko 4. Tyhjäkäyntivirta-notifikaatioiden korjaukset.

Kuukausi	I ₀ -notifikaatioiden korjaustavat					
	I ₀ , yhteensä	Tarkistusarvoja muutettu	Roottori vaihdettu	Staattori vaihdettu	Muut korjaustavat	Tarkistusarvojen osuus I ₀ -notifikaatioista
Tammikuu	48	40	7	1	0	83,33 %
Helmikuu	48	37	3	5	3	77,08 %
Maaliskuu	43	35	4	0	4	81,40 %
Huhtikuu	22	18	1	1	2	81,82 %
Toukokuu	49	42	3	1	3	85,71 %
Kesäkuu	72	57	7	4	4	79,17 %
Heinäkuu	70	65	3	1	2	92,86 %
Elokuu	52	46	1	3	2	88,46 %
Syyskuu	53	50	1	1	1	94,34 %
Lokakuu	57	45	5	0	7	78,95 %
Marraskuu	77	49	9	0	19	63,64 %
Joulukuu	17	10	2	0	5	58,82 %
Yhteensä:	608	494	46	17	52	81,25 %

Taulukko 5. Oikosulkuvirta-notifikaatioiden korjaukset.

Kuukausi	I _k -notifikaatioiden korjaustavat					
	I _k , yhteensä	Tarkistusarvoja muutettu	Roottori vaihdettu	Staattori vaihdettu	Muut korjaustavat	Tarkistusarvojen osuus I _k -notifikaatioista
Tammikuu	0	0	0	0	0	0,00 %
Helmikuu	0	0	0	0	0	0,00 %
Maaliskuu	0	0	0	0	0	0,00 %
Huhtikuu	0	0	0	0	0	0,00 %
Toukokuu	0	0	0	0	0	0,00 %
Kesäkuu	101	98	0	0	3	97,03 %
Heinäkuu	66	65	0	0	1	98,48 %
Elokuu	40	33	1	0	6	82,50 %
Syyskuu	69	68	0	0	1	98,55 %
Lokakuu	44	43	0	0	1	97,73 %
Marraskuu	57	55	0	0	2	96,49 %
Joulukuu	34	33	0	0	1	97,06 %
Yhteensä:	411	395	1	0	15	96,11 %

Taulukoista 4 ja 5 voi havaita selkeästi, että suurin osa tyhjäkäynti- ja oikosulkuvirtatestien ongelmista on selvitetty laskemalla tarkistusarvot uudestaan. Tämä voidaan tehdä esim. vertailemalla niitä muihin samalla laskelmalla koestettuihin moottoreihin.

Laatuongelmat ja inhimilliset virheet tulevat esiin niissä moottoreissa, joissa on pitänyt vaihtaa roottori tai staattori esim. laatuvirheiden vuoksi, jotta moottorit ovat läpäisseet rutiinikoestuksen. Taulukoissa 4 ja 5 näkyvät muut korjaustavat liittyvät yleensä epäselvyyksiin notifikaatioissa, eli niistä ei välttämättä selviä, miten moottori on saatu rutiinikoestuksesta läpi.

Muihin korjaustapoihin kuuluu myös se, että moottori on hyväksytty eteenpäin ilman tarkistusarvomuutoksia eli kone on ollut juuri ja juuri toleranssin rajalla ja on päätetty, että kone hyväksytään ilman muutoksia tarkistusarvoihin. Tähän on saattanut johtaa myös se, että samalla laskelmalla on koestettu paljon erilaisia tuloksia eli itse komponenteissa on ollut paljon heittoa. Tällöin tarkistusarvoja on ollut vaikea määrittää tarkasti koestuksien perusteella.

Taulukossa 6 on esitetty kuinka suuri osuus kaikista AL3A-linjan notifikaatioista on selvitetty tarkistusarvoja muuttamalla. Luku on todella suuri, noin 58 %. Tämä on selvä merkki siitä, että laskentaa olisi hyvä kehittää. Laskentaan liittyvät ongelmat vaikuttavat olevan riippuvaisia Adept -laskentatyökalusta sekä itse tarkistusarvojen laskentaprosessista.

Taulukko 6. Tarkistusarvojen merkitys AL3A-linjalla.

Kuukausi	Tarkistusarvojen merkitys AL3A -linjan notifikaatioissa		
	I ₀ /yhteensä %	I _k /yhteensä %	I ₀ ja I _k tarkistusarvojen määrä/yhteensä %
Tammikuu	67,61 %	0,00 %	56,34 %
Helmikuu	84,21 %	0,00 %	64,91 %
Maaliskuu	67,19 %	0,00 %	54,69 %
Huhtikuu	57,89 %	0,00 %	47,37 %
Toukokuu	52,13 %	0,00 %	44,68 %
Kesäkuu	29,27 %	18,29 %	63,01 %
Heinäkuu	35,53 %	23,35 %	65,99 %
Elokuu	29,55 %	18,18 %	44,89 %
Syyskuu	21,99 %	17,43 %	48,96 %
Lokakuu	40,71 %	17,14 %	62,86 %
Marraskuu	52,74 %	32,19 %	71,23 %
Joulukuu	22,97 %	29,73 %	58,11 %
Yhteensä:	39,38 %	16,71 %	57,58 %
I ₀ /yhteensä % = I ₀ notifikaatioiden määrä koko kuukauden notifikaatioista prosentteina			
I _k /yhteensä % = I _k notifikaatioiden määrä koko kuukauden notifikaatioista prosentteina			
I ₀ ja I _k tarkistusarvojen määrä/yhteensä % = Kuinka monta prosenttia I ₀ - ja I _k -notifikaatioista on ratkaistu tarkistusarvoja muuttamalla			

Taulukossa 7 on esitetty staattoriin ja itse moottoriin liittyviä notifikaatioita. Nämä virheet yleensä johtuvat huonoista komponenteista. Esimerkiksi jotkut toimitetut staattorit ovat olleet viallisia. Vastusvirheet voivat johtua myös laskennallisista ongelmista, koska vastuksista mitattuja resistansseja vertaillaan myös tarkistusarvoihin.

Moottorien ääneen ja tärinään liittyvissä ongelmissa on monta eri tekijää. Osa johtuu huonoista laakereista, kun taas osa tärinävirheistä johtuu moottorin huonosta alustasta ja itse tärinämittauksesta. Ongelmia voi aiheutua myös siitä, että staattorin sisäpinta on hieman epätasainen ja se aiheuttaa hinkkaavaa ääntä staattorin ja roottorin välille. Nämä ongelmat yleensä selviävät sillä, että staattorin pintaa hiotaan kokoonpanolinjalla.

Taulukko 7. Staattoriin ja moottoreihin liittyviä ongelmia.

Kuukausi	Staattoriin liittyvät virheet					Moottoriin liittyvät virheet	
	Vastusvirhe	Maa-sulku	Eristysvastus	Vaihe-sulku	Lisälaittevirhe	Ääni	Tärinä
Tammikuu	8	1	0	0	0	1	1
Helmikuu	3	0	1	0	0	1	0
Maaliskuu	0	0	1	1	1	1	1
Huhtikuu	1	0	0	0	0	0	0
Toukokuu	5	1	0	8	0	0	0
Kesäkuu	2	2	1	0	0	0	3
Heinäkuu	2	0	2	1	0	0	11
Elokuu	20	4	1	2	0	0	7
Syyskuu	9	11	0	1	1	0	4
Lokakuu	1	6	0	3	4	0	1
Marraskuu	1	2	0	1	0	0	1
Joulukuu	1	1	7	0	0	0	2
Yhteensä:	53	28	13	17	6	3	31

Taulukossa 8 on esitetty valmistusvirheet ja inhimilliset virheet AL3A-linjalla. Näitä on suhteellisen vähän. Osa virheellinen -notifikaatiot tarkoittavat yleensä sitä, että joku komponentti on ollut huonossa kunnossa tai siihen on tullut esim. säröjä tai halkeamia, eikä osia olisi saanut käyttää lopulta moottorin kokoamisessa.

Inhimillisiin virheisiin kuuluu virheet työsuorituksessa ja työkortilla. Nämä johtuvat esim. epäselvistä ohjeista ja näitä virheitä voivat tehdä mm. uudet työntekijät. Inhimillisiä virheitä tehdään todennäköisesti enemmänkin, mutta ne eivät aina välttämättä päädy notifikaatioiksi asti, tai ne menevät eri notifikaatio -kategorian alle.

Pieni virhe tai virhe työsuorituksessa voi syntyä esim. silloin, kun tuotantolinjalla runkoonpuristaja on vahingossa ruuvannut staattorin runkoon jalat kiinni, vaikka moottorin ei pitäisi olla jalallinen moottori vaan laippamoottori. Nämä ongelmat yleensä selvitetään itse kokoonpanolinjalla tai rutiinikoestuksen yhteydessä ja niistä ei välttämättä tehdä notifikaatiota.

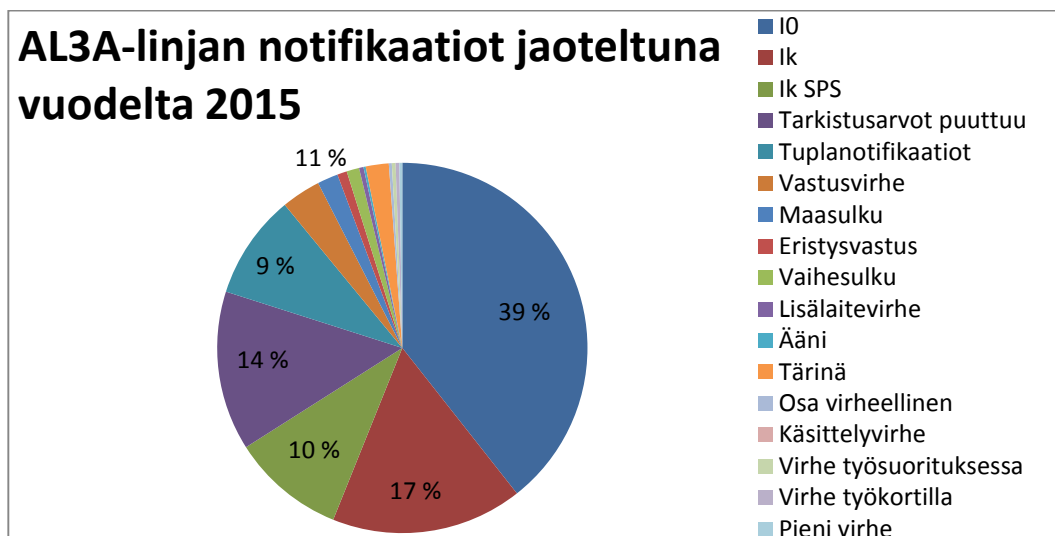
Taulukko 8. Valmistusvirheet ja inhimilliset virheet.

Kuukausi	Valmistusvirheet		Inhimilliset virheet		
	Osa virheellinen	Käsittelyvirhe	Virhe työsuorituksessa	Virhe työkortilla	Pieni virhe
Tammikuu	8	1	0	0	0
Helmikuu	3	0	1	0	0
Maaliskuu	0	0	1	1	1
Huhtikuu	1	0	0	0	0
Toukokuu	5	1	0	8	0
Kesäkuu	2	2	1	0	0
Heinäkuu	2	0	2	1	0
Elokuu	20	4	1	2	0
Syyskuu	9	11	0	1	1
Lokakuu	1	6	0	3	4
Marraskuu	1	2	0	1	0
Joulukuu	1	1	7	0	0
Yhteensä:	53	28	13	17	6

Virheet työkortilla voivat tarkoittaa esimerkiksi sitä, että jokin asiakkaan tilaama varianttikoodi ja sen vaativat komponentit eivät ole päätyneet työkortille. Pahimmassa tapauksessa kaupalle ei ole muistettu vaihtaa oikeaa laskelmaa, jonka asiakas on tilannut ja moottori joudutaan tekemään uudestaan. Nämä virheet syntyvät siis yleensä sovellussuunnittelussa.

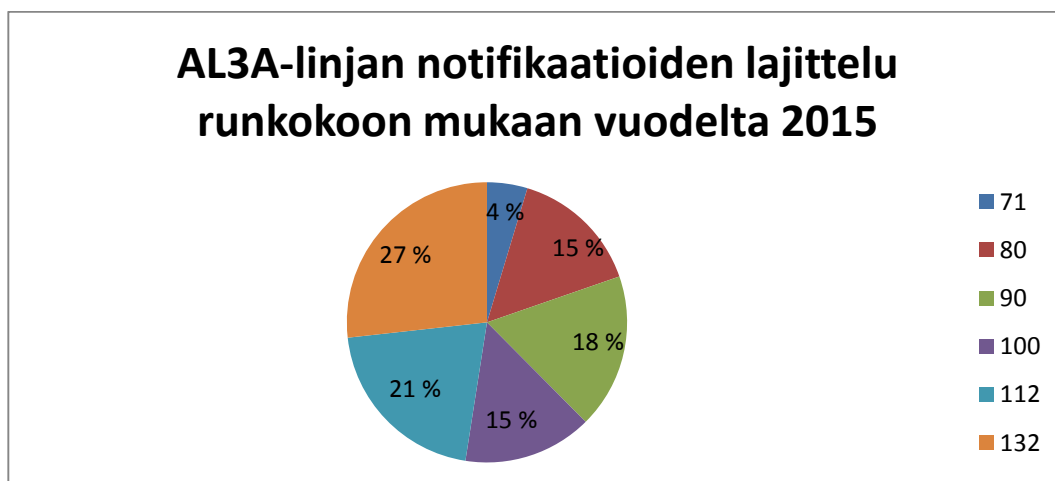
4.3.1 Yhteenveto rutiinikoestuksen ongelmista

Kuvassa 9 on esitetty vielä yhteenveto AL3A-linjan rutiinikoestuksen ongelmista vuonna 2015. Siitä selviää, että suurimmat haasteet linjalla liittyvät tyhjäkäynti- ja oikosulkutesteihin, staattoreihin liittyviin ongelmiin sekä järjestelmävirheisiin.



Kuva 9. AL3A-linjan rutiinikoestuksen ongelmat vuonna 2015.

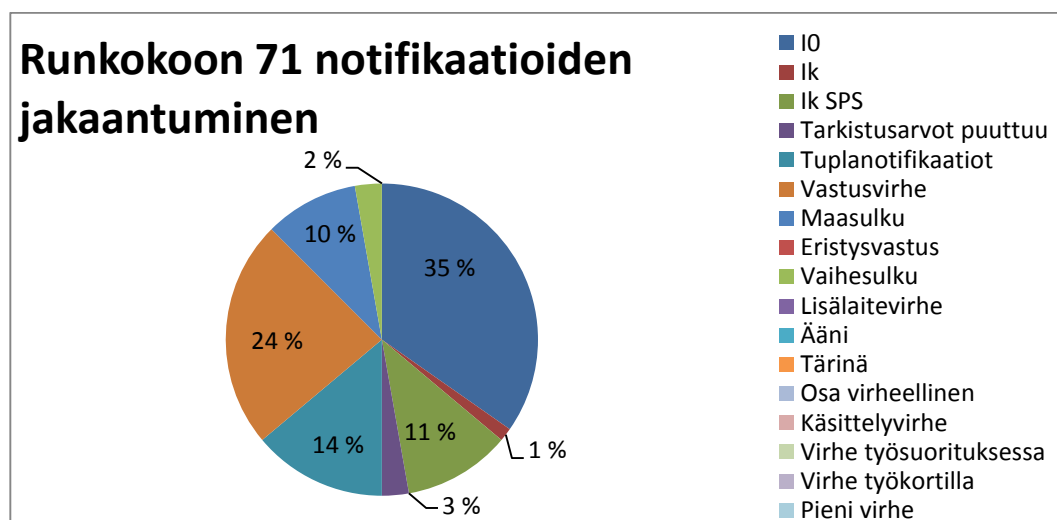
Kuvasta 10 nähdään, että ongelmat jakautuvat suhteellisen tasaisesti valmistettävien kokoluokkien kesken. Mainittavaa on, että 132-runkokokoa valmistetaan eniten AL3A-linjalla ja 71-runkokokoa vähiten. Näin myös niiden ongelmien osuus korostuu tai vähenee taulukossa.



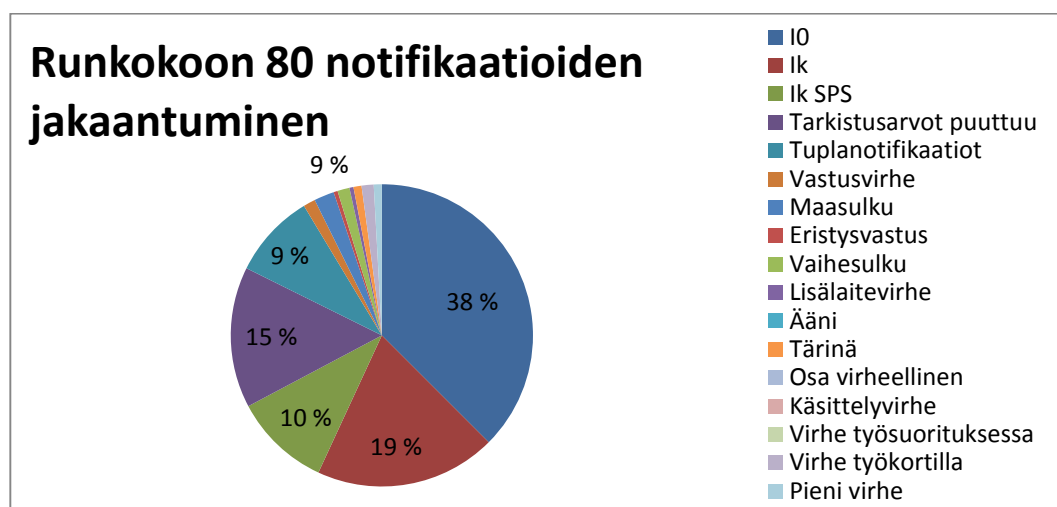
Kuva 10. AL3A-linjan rutiinikoestuksen ongelmat eri kokoluokilla.

4.3.2 Ongelmat kokoluokittain

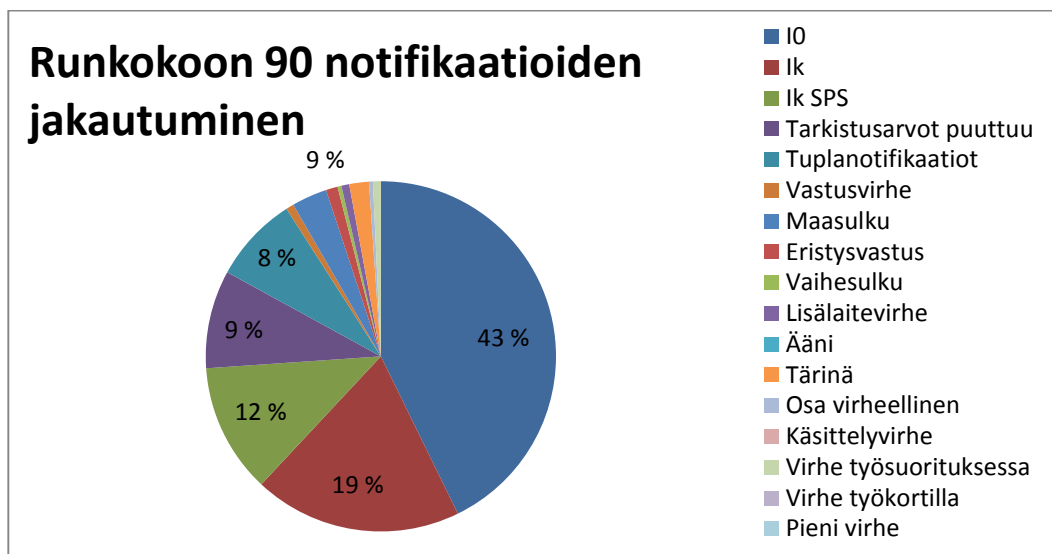
Tässä kappaleessa eritellään ongelmat vielä eri moottorikokoluokkien mukaan. Kuvissa 11–16 on eritelty ongelmat runkokoon mukaan. Ongelmien suuruudet vaihtelevat jonkin verran, mutta jokaisella kokoluokalla tyhjäkäynti- ja oikosulkuongelmat korostuvat.



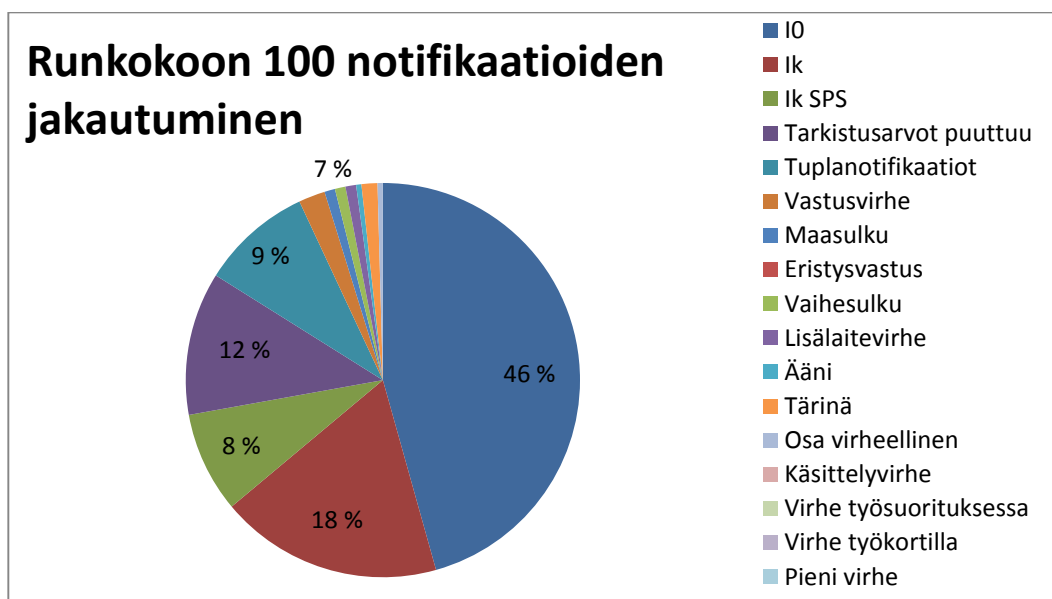
Kuva 11. Ongelmat 71-runkokoon moottoreilla.



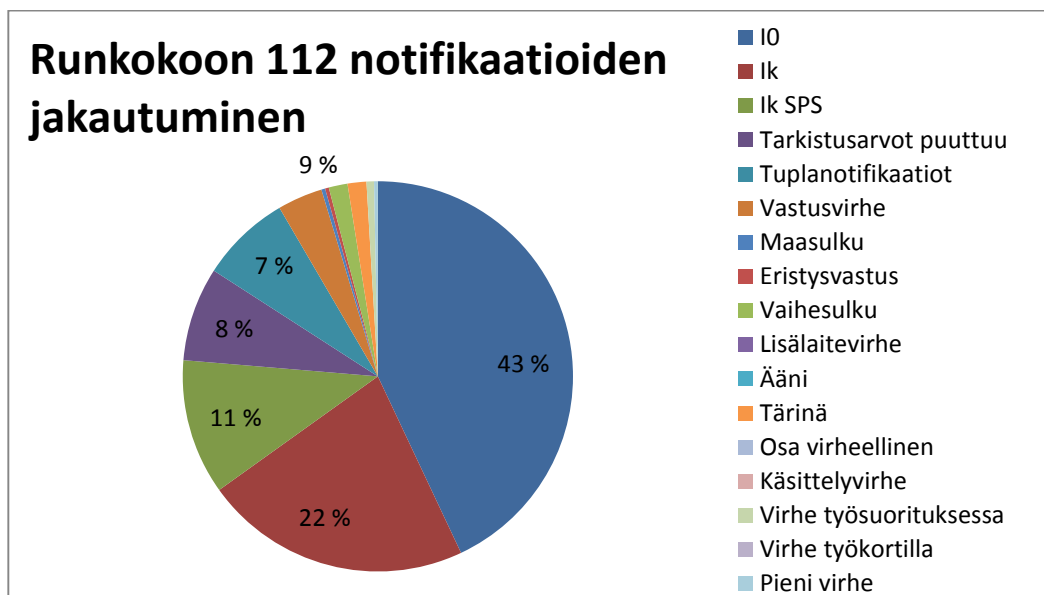
Kuva 12. Ongelmat 80-runkokoon moottoreilla.



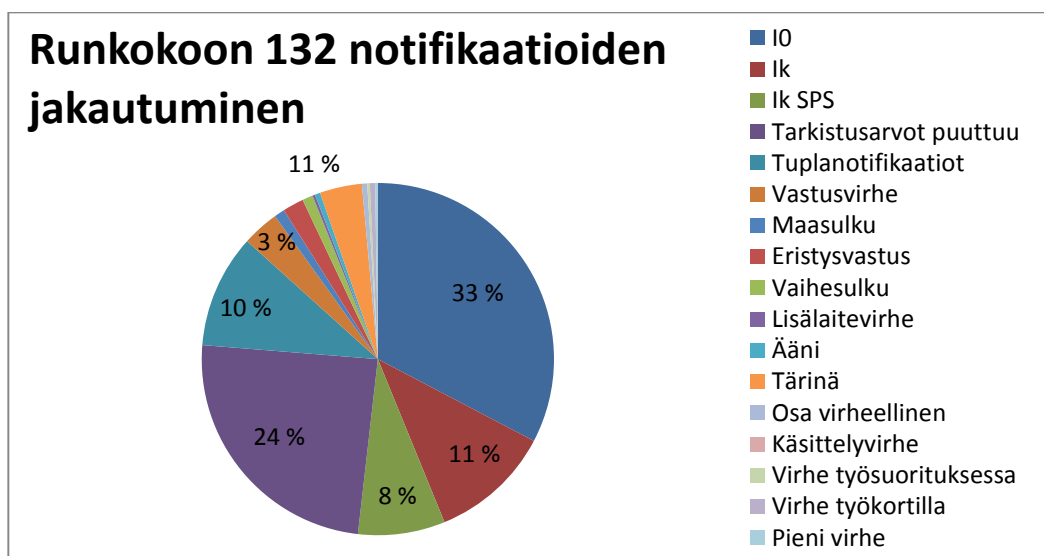
Kuva 13. Ongelmat 90-runkokoon moottoreilla.



Kuva 14. Ongelmat 100-runkokoon moottoreilla.



Kuva 15. Ongelmat 112-runkokoon moottoreilla.



Kuva 16. Ongelmat 132-runkokoon moottoreilla.

4.3.3 FPY:n määrittäminen

Tässä kappaleessa on esitetty FPY:n laskentataulukot. Taulukoissa 9–14 on laskettu FPY:t eri runkokokojen mukaan. Taulukossa 15 nähdään koko AL3A-linjan FPY vuonna 2015, joka on 91,66 %. Tämä tarkoittaa sitä, että 91,66 % kaikista valmistettavista moottoreista AL3A-linjalla läpäisi rutiinikoestuksen ensimmäisellä kerralla.

Taulukko 9. 71-runkokoon FPY AL3A-linjalla vuonna 2015.

71-runkokoon moottoreiden FPY				
Kuukausi	Notifikaatioita	Moottoreita koestettu	Moottoreita läpäissyt koestuksen ensimmäisellä kerralla	FPY
Tammikuu	1	46	45	97,83 %
Helmikuu	0	13	13	100,00 %
Maaliskuu	0	25	25	100,00 %
Huhtikuu	0	54	54	100,00 %
Toukokuu	3	60	57	95,00 %
Kesäkuu	4	19	15	78,95 %
Heinäkuu	10	108	98	90,74 %
Elokuu	28	96	68	70,83 %
Syyskuu	14	46	32	69,57 %
Lokakuu	1	66	65	98,48 %
Marraskuu	0	56	56	100,00 %
Joulukuu	1	58	57	98,28 %
Yhteensä:	62	647	585	90,42 %

Taulukko 10. 80-runkokoon FPY AL3A-linjalla vuonna 2015.

80-runkokoon moottoreiden FPY				
Kuukausi	Notifikaatioita	Moottoreita koestettu	Moottoreita läpäissyt koestuksen ensimmäisellä kerralla	FPY
Tammikuu	11	284	273	96,13 %
Helmikuu	12	327	315	96,33 %
Maaliskuu	7	303	296	97,69 %
Huhtikuu	12	296	284	95,95 %
Toukokuu	5	280	275	98,21 %
Kesäkuu	34	381	347	91,08 %
Heinäkuu	20	196	176	89,80 %
Elokuu	26	290	264	91,03 %
Syyskuu	35	314	279	88,85 %
Lokakuu	15	296	281	94,93 %
Marraskuu	20	307	287	93,49 %
Joulukuu	14	313	299	95,53 %
Yhteensä:	211	3587	3376	94,12 %

Taulukko 11. 90-runkokoon FPY AL3A-linjalla vuonna 2015.

90-runkokoon moottoreiden FPY				
Kuukausi	Notifikaatioita	Moottoreita koestettu	Moottoreita läpäissyt koestuksen ensimmäisellä kerralla	FPY
Tammikuu	13	349	336	96,28 %
Helmikuu	5	198	193	97,47 %
Maaliskuu	15	207	192	92,75 %
Huhtikuu	1	160	159	99,38 %
Toukokuu	14	236	222	94,07 %
Kesäkuu	51	297	246	82,83 %
Heinäkuu	25	249	224	89,96 %
Elokuu	27	255	228	89,41 %
Syyskuu	37	203	166	81,77 %
Lokakuu	41	283	242	85,51 %
Marraskuu	17	268	251	93,66 %
Joulukuu	8	242	234	96,69 %
Yhteensä:	254	2947	2693	91,38 %

Taulukko 12. 100-runkokoon FPY AL3A-linjalla vuonna 2015.

100-runkokoon moottoreiden FPY				
Kuukausi	Notifikaatioita	Moottoreita koestettu	Moottoreita läpäissyt koestuksen ensimmäisellä kerralla	FPY
Tammikuu	14	243	229	94,24 %
Helmikuu	23	254	231	90,94 %
Maaliskuu	0	189	189	100,00 %
Huhtikuu	3	279	276	98,92 %
Toukokuu	9	190	181	95,26 %
Kesäkuu	17	156	139	89,10 %
Heinäkuu	33	233	200	85,84 %
Elokuu	19	214	195	91,12 %
Syyskuu	31	214	183	85,51 %
Lokakuu	13	229	216	94,32 %
Marraskuu	39	364	325	89,29 %
Joulukuu	8	184	176	95,65 %
Yhteensä:	209	2749	2540	92,40 %

Taulukko 13. 112-runkokoon FPY AL3A-linjalla vuonna 2015.

112-runkokoon moottoreiden FPY				
Kuukausi	Notifikaatioita	Moottoreita koestettu	Moottoreita läpäissyt koestuksen ensimmäisellä kerralla	FPY
Tammikuu	21	194	173	89,18 %
Helmikuu	4	136	132	97,06 %
Maaliskuu	19	238	219	92,02 %
Huhtikuu	11	162	151	93,21 %
Toukokuu	28	204	176	86,27 %
Kesäkuu	27	150	123	82,00 %
Heinäkuu	41	174	133	76,44 %
Elokuu	22	197	175	88,83 %
Syyskuu	51	220	169	76,82 %
Lokakuu	14	218	204	93,58 %
Marraskuu	47	233	186	79,83 %
Joulukuu	12	130	118	90,77 %
Yhteensä:	297	2256	1959	86,84 %

Taulukko 14. 132-runkokoon FPY AL3A-linjalla vuonna 2015.

132-runkokoon moottoreiden FPY				
Kuukausi	Notifikaatioita	Moottoreita koestettu	Moottoreita läpäissyt koestuksen ensimmäisellä kerralla	FPY
Tammikuu	10	410	400	97,56 %
Helmikuu	13	302	289	95,70 %
Maaliskuu	23	450	427	94,89 %
Huhtikuu	11	273	262	95,97 %
Toukokuu	35	471	436	92,57 %
Kesäkuu	81	475	394	82,95 %
Heinäkuu	49	469	420	89,55 %
Elokuu	24	317	293	92,43 %
Syyskuu	45	370	325	87,84 %
Lokakuu	36	412	376	91,26 %
Marraskuu	22	391	369	94,37 %
Joulukuu	21	299	278	92,98 %
Yhteensä:	370	4639	4269	92,02 %

Taulukko 15. FPY AL3A-linjalla vuonna 2015.

FPY yhteensä linjalla AL3A				
Kuukausi	Notifikaatioita	Moottoreita koestettu	Moottoreita läpäissyt koestuksen ensimmäisellä kerralla	FPY
Tammikuu	70	1526	1456	95,41 %
Helmikuu	57	1230	1173	95,37 %
Maaliskuu	64	1412	1348	95,47 %
Huhtikuu	38	1224	1186	96,90 %
Toukokuu	94	1441	1347	93,48 %
Kesäkuu	214	1478	1264	85,52 %
Heinäkuu	178	1429	1251	87,54 %
Elokuu	146	1369	1223	89,34 %
Syyskuu	213	1367	1154	84,42 %
Lokakuu	120	1504	1384	92,02 %
Marraskuu	145	1619	1474	91,04 %
Joulukuu	64	1226	1162	94,78 %
Yhteensä:	1403	16825	15422	91,66 %

4.4 Havainnot AL3B-linjalla

Rutiinikoestuksen ongelmat listattiin samalla tavalla myös AL3B-linjan kohdalla. AL3B-linja valmistaa moottoreita, joiden kokoluokka vaihtelee 160 ja 250 välillä. Exceliin (LIITE 1) kerättiin samat tiedot kuin AL3A-linjalla. Lopuksi laskettiin FPY koko linjalle vuonna 2015 (LIITE 2). Taulukossa 16 on esitetty rutiinikoestuksen ongelmien jakautuminen eri runkokokojen mukaan.

Taulukko 16. AL3B-linjan notifiikaatiot runkokoon mukaan.

AL3B (15-linja)	Notifiikaatiot tyyppin mukaan						Notifiikaatiot tyyppin mukaan ilman tuplanotifiikaatioita					
	Moottorityyppi					Yhteensä	Moottorityyppi					Yhteensä
Kuukausi	160	180	200	225	250		160	180	200	225	250	
Tammikuu	13	2	3	3	3	24	13	2	3	3	3	24
Helmikuu	7	12	4	5	2	30	7	12	4	5	2	30
Maaliskuu	9	3	12	10	6	40	9	3	12	10	6	40
Huhtikuu	2	10	3	6	6	27	2	10	3	6	6	27
Toukokuu	8	2	5	14	0	29	8	2	5	13	0	28
Kesäkuu	7	8	4	3	5	27	6	5	4	3	5	23
Heinäkuu	16	3	7	15	26	67	14	3	5	12	19	53
Elokuu	6	4	4	4	2	20	5	3	4	4	2	18
Syyskuu	14	7	7	1	3	32	14	5	6	1	3	29
Lokakuu	12	7	5	4	10	38	11	7	5	3	6	32
Marraskuu	26	16	8	14	18	82	26	16	8	13	16	79
Joulukuu	11	3	15	12	8	49	11	2	13	12	7	45
Yhteensä:	131	77	77	91	89	465	126	70	72	85	75	428

Taulukossa 17 on esitetty I_0 -, I_k -, I_{ksp} -, tarkistusarvot puuttuu- ja tuplanotifiikaatioiden määrät. I_{ksp} -notifiikaatioita ei ole AL3B-linjalla ollenkaan, koska linjalla on oma koestuslaite, joka ei ole vaihtunut.

Taulukko 17. AL3B-linjan notifiikaatiot.

Kuukausi	Adeptiin liittyvät virheet		SPS virheet	Järjestelmävirheet	
	I_0	I_k	I_{ksp}	Tarkistusarvot puuttuvat	Tuplanotifiikaatiot
Tammikuu	6	1	0	2	0
Helmikuu	6	5	0	8	0
Maaliskuu	17	3	0	3	0
Huhtikuu	2	9	0	1	0
Toukokuu	2	7	0	2	1
Kesäkuu	4	6	0	0	4
Heinäkuu	10	17	0	6	14
Elokuu	1	6	0	3	2
Syyskuu	1	8	0	10	3
Lokakuu	9	4	0	1	6
Marraskuu	29	13	0	8	3
Joulukuu	16	5	0	2	4
Yhteensä:	103	84	0	46	37

Tyhjäkäynti- ja oikosulkuongelmat ovat selvästi pienempiä kuin AL3A-linjalla. Tämä johtuu osittain siitä, että kun moottorin kokoluokka suurenee, niin tyhjäkäynti- ja oikosulkuvirran mitatut arvot ja tarkistusarvot alkavat myös olla suurempia. Suuremmilla moottoreilla myös toleranssien asettamat virtarajat ovat laiveammat, kun käytössä on prosentuaalinen laskentatapa.

AL3B-linjalla tehtiin samanlainen tarkastelu myös syistä, joista tyhjäkäynti- ja oikosulkuongelmat johtuvat. Taulukoista 18 ja 19 nähdään, että suurin osa oikosulku- ja tyhjäkäyntiongelmista ratkaistiin samaan tapaan tarkistusarvoja uudelleen laskemalla.

Taulukko 18. Tyhjäkäyntivirta-notifikaatioiden korjaukset.

Kuukausi	I ₀ -notifikaatioiden korjaustavat					
	I ₀ , yhteensä	Tarkistusarvoja muutettu	Roottori vaihdettu	Staattori vaihdettu	Muut korjaustavat	Tarkistusarvojen osuus I ₀ -notifikaatioista
Tammikuu	6	4	2	0	0	66,67 %
Helmikuu	6	4	0	0	2	66,67 %
Maaliskuu	17	12	0	1	4	70,59 %
Huhtikuu	2	2	0	0	0	100,00 %
Toukokuu	2	1	0	0	1	50,00 %
Kesäkuu	4	3	0	1	0	75,00 %
Heinäkuu	10	8	2	0	0	80,00 %
Elokuu	1	1	1	0	0	100,00 %
Syyskuu	1	0	0	0	1	0,00 %
Lokakuu	9	9	0	0	0	100,00 %
Marraskuu	29	28	1	0	0	96,55 %
Joulukuu	16	14	0	0	2	87,50 %
Yhteensä:	103	86	6	2	10	83,50 %

Taulukko 19. Oikosulkuvirta-notifikaatioiden korjaukset.

Kuukausi	I_k notifikaatioiden korjaustavat					
	I _k , yhteensä	Tarkistusarvoja muutettu	Roottori vaihdettu	Staattori vaihdettu	Muut korjaustavat	Tarkistusarvojen osuus I _k -notifikaatioista
Tammikuu	1	0	1	0	0	0,00 %
Helmikuu	5	3	2	0	0	60,00 %
Maaliskuu	3	3	0	0	0	100,00 %
Huhtikuu	9	9	0	0	0	100,00 %
Toukokuu	7	2	0	0	5	28,57 %
Kesäkuu	6	3	4	0	0	50,00 %
Heinäkuu	17	16	1	0	0	94,12 %
Elokuu	6	6	0	0	0	100,00 %
Syyskuu	8	7	1	0	0	87,50 %
Lokakuu	4	3	1	0	0	75,00 %
Marraskuu	13	12	1	1	0	92,31 %
Joulukuu	5	4	0	0	1	80,00 %
Yhteensä:	84	68	11	1	6	80,95 %

Taulukosta 20 nähdään, että 33,12 % kaikista AL3B-linjan ongelmista on selvitetty tarkistusarvojen uudelleen laskennalla. Määrä on suhteellisen suuri.

Taulukko 20. Tarkistusarvojen merkitys AL3B-linjalla.

Kuukausi	Tarkistusarvojen merkitys AL3B -linjan notifikaatioihin		
	I ₀ /yhteensä %	I _k /yhteensä %	I ₀ ja I _k tarkistusarvojen määrä/yhteensä %
Tammikuu	25,00 %	4,17 %	16,67 %
Helmikuu	20,00 %	16,67 %	23,33 %
Maaliskuu	42,50 %	7,50 %	37,50 %
Huhtikuu	7,41 %	33,33 %	40,74 %
Toukokuu	6,90 %	24,14 %	10,34 %
Kesäkuu	14,81 %	22,22 %	22,22 %
Heinäkuu	14,93 %	25,37 %	35,82 %
Elokuu	5,00 %	30,00 %	35,00 %
Syyskuu	3,13 %	25,00 %	21,88 %
Lokakuu	23,68 %	10,53 %	31,58 %
Marraskuu	35,37 %	15,85 %	48,78 %
Joulukuu	32,65 %	10,20 %	36,73 %
Yhteensä:	22,15 %	18,06 %	33,12 %
I ₀ /yhteensä % = I ₀ notifikaatioiden määrä koko kuukauden notifikaatioista prosentteina			
I _k /yhteensä % = I _k notifikaatioiden määrä koko kuukauden notifikaatioista prosentteina			
I ₀ - ja I _k - tarkistusarvojen määrä/yhteensä % = Kuinka monta prosenttia I ₀ - ja I _k -notifikaatioista on ratkaistu tarkistusarvoja muuttamalla			

Taulukossa 21 on esitetty staattoriin ja moottorin ääneen, sekä tärinään liittyvät notifikaatiot. Staattoriin liittyvät ongelmat ovat samaa luokkaa kuin AL3A-linjalla. Nämä siis johtuvat suurimmassa määrin komponenttien huonosta laadusta. Moottoreiden ääniongelmat ovat selvästi suuremmat kuin AL3A-linjalla. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että hankaavat äänet kuullaan helpommin isoista moottoreista. Ääniongelmat selviävät yleensä hiomalla staattoria tai vaihtamalla laakeri, riippuen siitä, mistä hinkkaava ääni moottorissa kuuluu.

Taulukko 21. Staattoriin ja moottoreihin liittyvät virheet.

Kuukausi	Staattoriin liittyvät virheet					Moottoriin liittyvät virheet	
	Vastusvirhe	Maasulku	Eristysvastus	Vaihesulku	Lisälaitevirhe	Ääni	Tärinä
Tammikuu	4	2	3	1	2	0	2
Helmikuu	2	1	1	0	0	2	0
Maaliskuu	4	7	0	0	0	2	2
Huhtikuu	0	1	0	1	1	2	6
Toukokuu	3	9	1	1	0	2	1
Kesäkuu	3	3	0	0	1	4	2
Heinäkuu	5	2	8	0	1	4	0
Elokuu	1	1	3	0	0	1	2
Syyskuu	1	4	0	0	0	5	0
Lokakuu	3	4	0	0	3	0	8
Marraskuu	18	3	0	0	2	2	4
Joulukuu	10	0	0	0	5	3	4
Yhteensä:	54	37	16	3	15	27	31

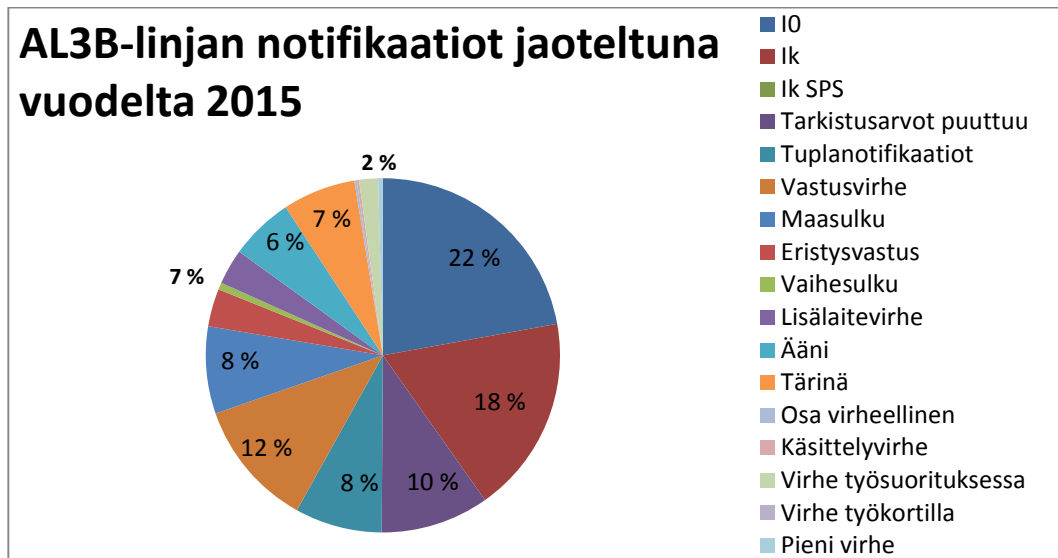
Taulukossa 22 on esitetty valmistusvirheet ja inhimilliset virheet AL3B-linjalla. Inhimillisten virheiden määrä on suurin piirtein sama kuin AL3A-linjalla. Valmistusvirheiden ja käsittelyvirheiden määrä on käytännössä mitätön.

Taulukko 22. Valmistusvirheet ja inhimilliset virheet.

Kuukausi	Valmistusvirheet		Inhimilliset virheet		
	Osa virheellinen	Käsittelyvirhe	Virhe työsuorituksessa	Virhe työkortilla	Pieni virhe
Tammikuu	1	0	0	0	0
Helmikuu	0	1	2	0	2
Maaliskuu	0	0	2	0	0
Huhtikuu	0	0	4	0	0
Toukokuu	0	0	0	0	0
Kesäkuu	0	0	0	0	0
Heinäkuu	0	0	0	0	0
Elokuu	0	0	0	0	0
Syyskuu	0	0	0	0	0
Lokakuu	0	0	0	0	0
Marraskuu	0	0	0	0	0
Joulukuu	0	0	0	0	0
Yhteensä:	1	1	8	0	2

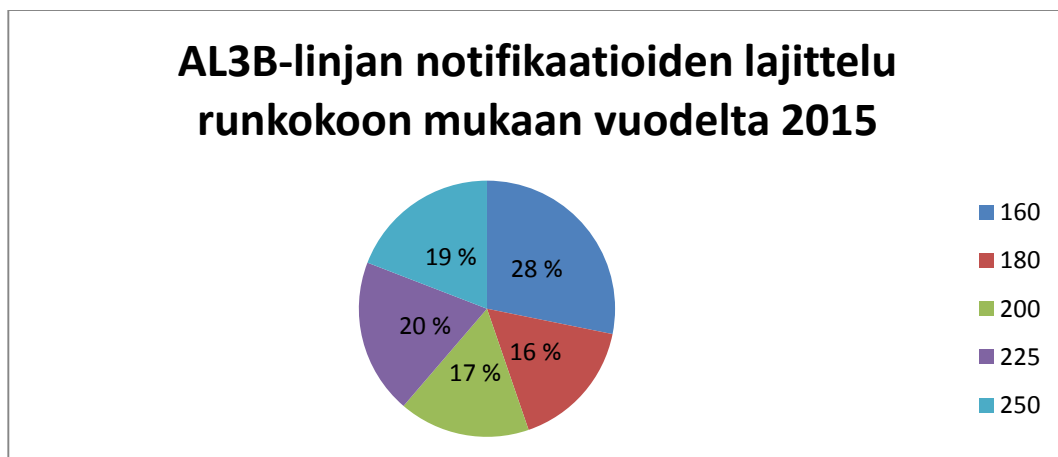
4.4.1 Yhteenveto rutiinikoestuksen ongelmista

Kuvassa 17 on esitetty vielä yhteenveto AL3B-linjan rutiinikoestuksen ongelmista vuonna 2015. Tästä selviää, että suurimmat haasteet linjalla liittyvät tyhjäkäynti- ja oikosulkutesteihin sekä järjestelmävirheisiin. Myös vastusvirheiden määrä on suhteellisen suuri, mutta osa vastusvirheistäkin liittyy laskentaan ja tarkistusarvoihin.



Kuva 17. AL3B-linjan rutiinikoestuksen ongelmat vuonna 2015.

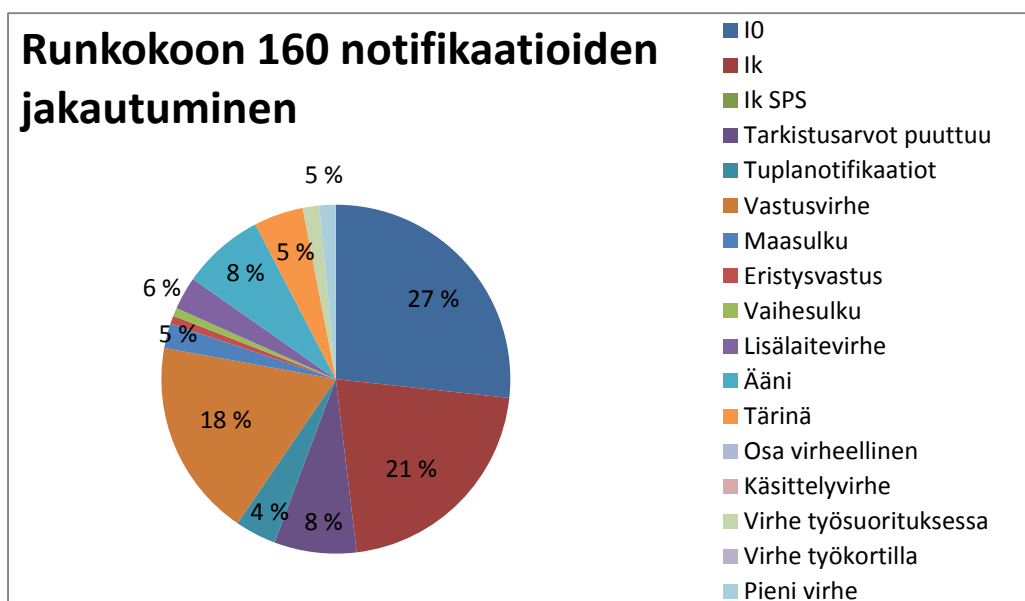
Kuvasta 18 nähdään, että ongelmat jakautuvat suhteellisen tasaisesti valmistettävien kokoluokkien kesken. Ongelmien jakautuminen on selvästi tasaisempaa AL3B-linjalla, kuin AL3A-linjalla.



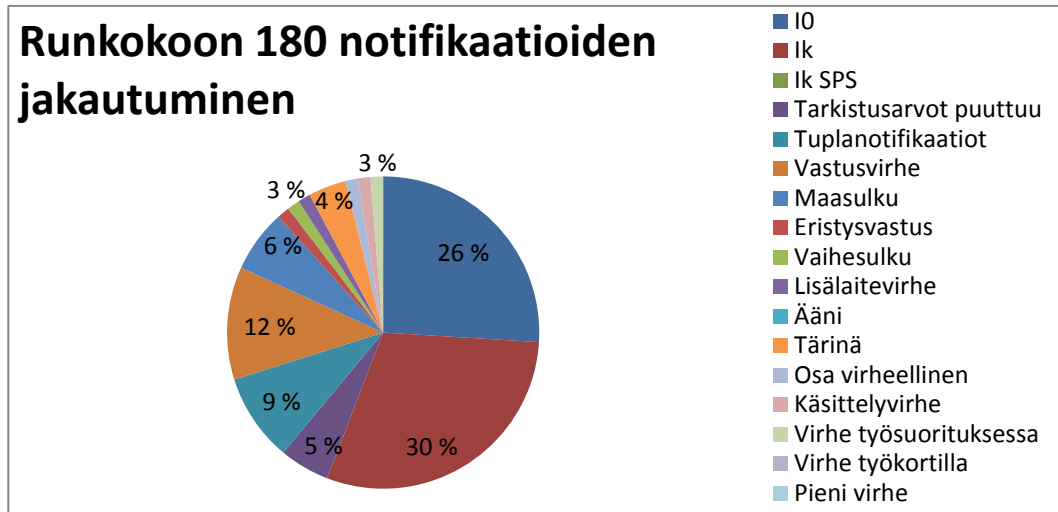
Kuva 18. AL3B-linjan rutiinikoestuksen ongelmat eri kokoluokilla.

4.4.2 Ongelmat kokoluokittain

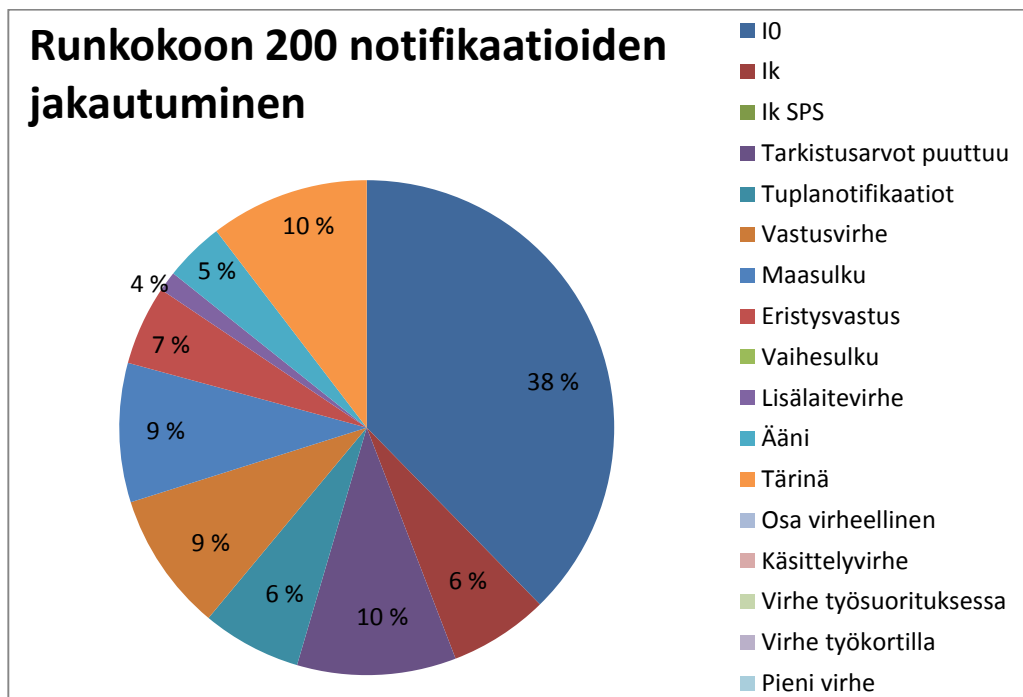
Tässä kappaleessa eritellään ongelmat vielä eri moottorikokoluokkien mukaan. Kuvissa 19–23 on eritelty ongelmat runkokoon mukaan. Ongelmien suuruudet vaihtelevat jonkin verran, mutta jokaisella kokoluokalla tyhjäkäynti- ja oikosulkuongelmat korostuvat.



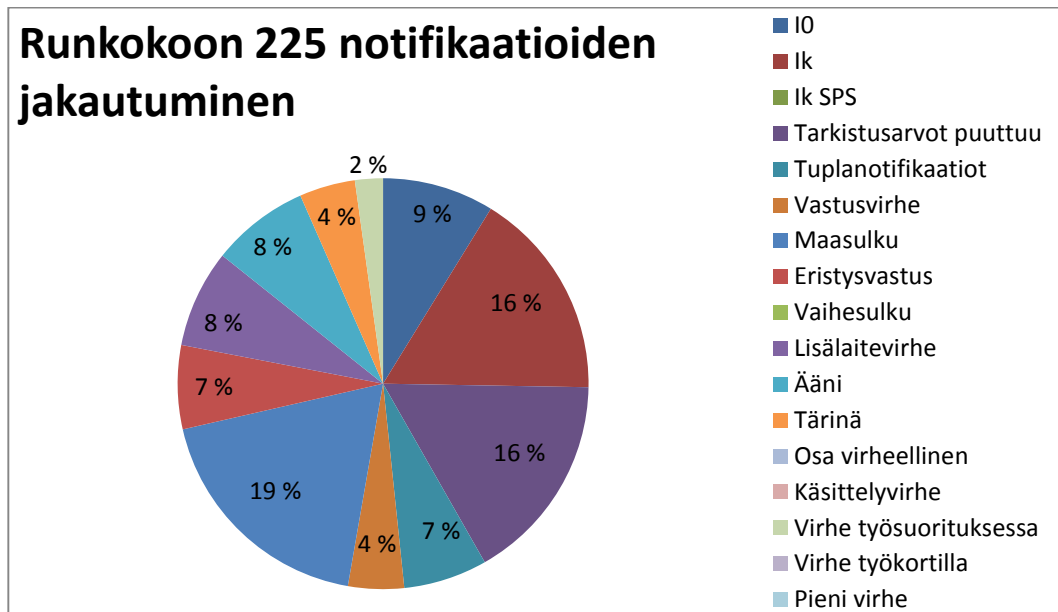
Kuva 19. Ongelmat 160-runkokoon moottoreilla.



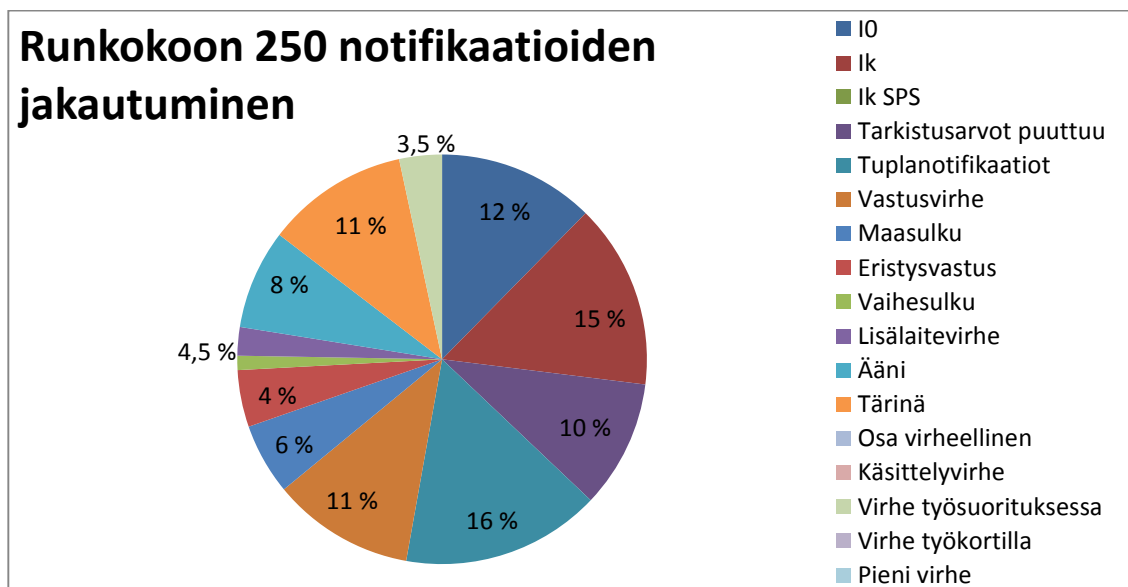
Kuva 20. Ongelmat 180-runkokoon moottoreilla.



Kuva 21. Ongelmat 200-runkokoon moottoreilla.



Kuva 22. Ongelmat 225-runkokoon moottoreilla.



Kuva 23. Ongelmat 250-runkokoon moottoreilla.

4.4.3 FPY:n määrittäminen

Tässä kappaleessa on esitetty FPY:n laskentataulukot. Taulukoissa 23–27 on laskettu FPY:t eri runkokokojen mukaan. Taulukossa 28 nähdään koko AL3B-linjan FPY vuonna 2015, joka on 96,51 %. Tämä tarkoittaa sitä, että 96,51 % kaikista valmistettavista moottoreista AL3B-linjalla läpäisi rutiinikoestuksen ensimmäisellä kerralla.

Taulukko 23. 160-runkokoon FPY AL3B-linjalla vuonna 2015.

160-runkokoon moottoreiden FPY				
Kuukausi	Notifikaatioita	Moottoreita koestettu	Moottoreita läpäissyt koestuksen ensimmäisellä kerralla	FPY
Tammikuu	13	256	243	94,92 %
Helmikuu	7	324	317	97,84 %
Maaliskuu	9	345	336	97,39 %
Huhtikuu	2	287	285	99,30 %
Toukokuu	8	256	248	96,88 %
Kesäkuu	6	285	279	97,89 %
Heinäkuu	14	277	263	94,95 %
Elokuu	5	255	250	98,04 %
Syyskuu	14	239	225	94,14 %
Lokakuu	11	223	212	95,07 %
Marraskuu	26	275	249	90,55 %
Joulukuu	11	233	222	95,28 %
Yhteensä:	126	3255	3129	96,13 %

Taulukko 24. 180-runkokoon FPY AL3B-linjalla vuonna 2015.

180-runkokoon moottoreiden FPY				
Kuukausi	Notifikaatioita	Moottoreita koestettu	Moottoreita läpäissyt koestuksen ensimmäisellä kerralla	FPY
Tammikuu	2	174	172	98,85 %
Helmikuu	12	182	170	93,41 %
Maaliskuu	3	166	163	98,19 %
Huhtikuu	10	152	142	93,42 %
Toukokuu	2	183	181	98,91 %
Kesäkuu	5	134	129	96,27 %
Heinäkuu	3	140	137	97,86 %
Elokuu	3	125	122	97,60 %
Syyskuu	5	139	134	96,40 %
Lokakuu	7	233	226	97,00 %
Marraskuu	16	289	273	94,46 %
Joulukuu	2	310	308	99,35 %
Yhteensä:	70	2227	2157	96,86 %

Taulukko 25. 200-runkokoon FPY AL3B-linjalla vuonna 2015.

200-runkokoon moottoreiden FPY				
Kuukausi	Notifikaatioita	Moottoreita koestettu	Moottoreita läpäissyt koestuksen ensimmäisellä kerralla	FPY
Tammikuu	3	204	201	98,53 %
Helmikuu	4	232	228	98,28 %
Maaliskuu	12	187	175	93,58 %
Huhtikuu	3	166	163	98,19 %
Toukokuu	5	177	172	97,18 %
Kesäkuu	4	181	177	97,79 %
Heinäkuu	5	119	114	95,80 %
Elokuu	4	155	151	97,42 %
Syyskuu	6	234	228	97,44 %
Lokakuu	5	134	129	96,27 %
Marraskuu	8	566	558	98,59 %
Joulukuu	13	652	639	98,01 %
Yhteensä:	72	3007	2935	97,61 %

Taulukko 26. 225-runkokoon FPY AL3B-linjalla vuonna 2015.

225-runkokoon moottoreiden FPY				
Kuukausi	Notifikaatioita	Moottoreita koestettu	Moottoreita läpäissyt koestuksen ensimmäisellä kerralla	FPY
Tammikuu	3	249	246	98,80 %
Helmikuu	5	296	291	98,31 %
Maaliskuu	10	236	226	95,76 %
Huhtikuu	6	218	212	97,25 %
Toukokuu	13	208	195	93,75 %
Kesäkuu	3	111	108	97,30 %
Heinäkuu	12	163	151	92,64 %
Elokuu	4	86	82	95,35 %
Syyskuu	1	190	189	99,47 %
Lokakuu	3	292	289	98,97 %
Marraskuu	13	171	158	92,40 %
Joulukuu	12	134	122	91,04 %
Yhteensä:	85	2354	2269	96,39 %

Taulukko 27. 250-runkokoon FPY AL3B-linjalla vuonna 2015.

250-runkokoon moottoreiden FPY				
Kuukausi	Notifikaatioita	Moottoreita koestettu	Moottoreita läpäissyt koestuksen ensimmäisellä kerralla	FPY
Tammikuu	3	80	77	96,25 %
Helmikuu	2	83	81	97,59 %
Maaliskuu	6	131	125	95,42 %
Huhtikuu	6	120	114	95,00 %
Toukokuu	0	75	75	100,00 %
Kesäkuu	5	165	160	96,97 %
Heinäkuu	19	97	78	80,41 %
Elokuu	2	104	102	98,08 %
Syyskuu	3	106	103	97,17 %
Lokakuu	6	92	86	93,48 %
Marraskuu	16	195	179	91,79 %
Joulukuu	7	161	154	95,65 %
Yhteensä:	75	1409	1334	94,68 %

Taulukko 28. FPY AL3B-linjalla vuonna 2015.

FPY yhteensä linjalla AL3B				
Kuukausi	Notifikaatioita	Moottoreita koestettu	Moottoreita läpäissyt koestuksen ensimmäisellä kerralla	FPY
Tammikuu	24	963	939	97,51 %
Helmikuu	30	1117	1087	97,31 %
Maaliskuu	40	1065	1025	96,24 %
Huhtikuu	27	943	916	97,14 %
Toukokuu	28	899	871	96,89 %
Kesäkuu	23	876	853	97,37 %
Heinäkuu	53	796	743	93,34 %
Elokuu	18	725	707	97,52 %
Syyskuu	29	908	879	96,81 %
Lokakuu	32	974	942	96,71 %
Marraskuu	79	1496	1417	94,72 %
Joulukuu	45	1490	1445	96,98 %
Yhteensä:	428	12252	11824	96,51 %

5 RUTIINIKOESTUKSEN KEHITYSIDEAT

Yhtenä osuutena työssä oli keksiä kuinka rutiinikoestuksen läpimenoa saataisiin parannettua. Vaikka aikaisemmin onkin käsitelty kahta eri linjaa erikseen, niin silti ongelmat, jotka linjoilla esiintyvät ovat samat. Tämän takia seuraavissa kappaleissa käsitellään kehitysideat samanaikaisesti molemmille linjoille.

5.1 Tyhjäkäynti- ja oikosulkuongelmat

Tyhjäkäynti- ja oikosulkuongelmat vaikuttavat olevan laskennallisia ongelmia. Aikaisemmissa taulukoissa näkyy selvästi se, että vain pienellä osalla tyhjäkäynti- tai oikosulkuoikeuksissa pysähtyneissä moottoreissa on ollut ongelmia staattorin tai roottorin kanssa. Suurin osa tyhjäkäynti- tai oikosulkuoikeuksista on selvitetty laskemalla tarkistusarvot uudestaan.

Selvitettyäni ongelmaa tarkemmin selvisi, että erilaisten laskentaprofiilien kautta Adeptia on mahdollista kehittää laskemaan arvot ainakin pienillä moottorikokoluokilla (71–132) tarkemmin. Adeptin laskentaprofiilien kehittäminen vaatisi uutta tiedonkeruuta. Selvitettäviä arvoja olisi: laskelmanumero, jännite, kytkentä, mittauksen lukumäärä, keskimäärin mitattu I_0 , I_0 keskihajonta, keskimäärin mitattu I_k , I_k keskihajonta, keskimäärin mitattu P_0 , P_0 keskihajonta, keskimäärin mitattu $\cos \varphi_0$, $\cos \varphi_0$ keskihajonta sekä mahdollisesti myös muita mittaustuloksia.

Kyseisen ongelman selvittämisestä voisi teettää toisen opinnäyte- tai diplomityön jollakin opiskelijalla. Tämän työn yhteydessä kyseisiä arvoja ei kerätty.

Toinen kehitysehdotus liittyy laskelmien toleransseihin ja niiden laimentamiseen. Erityisesti voisi olla hyvä selvittää se, pystytäänkö toleransseja säätämään tarkemmiksi tai voitaisiinko niitä kasvattaa, etenkin pienillä moottoreilla. Tällä hetkellä ongelma on siinä, että jos tarkistusarvoksi on laskettu esimerkiksi $I_0 = 1 \text{ A}$ ja koestustulokseksi saadaan $I_0 = 1,2 \text{ A}$ niin koestustulos ei mene toleranssien sisään,

koska heittoa on 20 %. Pienillä arvoilla pienikin heitto korostuu kun toleranssi määritetään prosenteissa. Toleranssit voitaisiin mahdollisesti säätää kyseisen mitatun yksikön mukaan eikä prosenttilukuina, eli esimerkiksi pienille moottoreille sallittaisiin 1 A heitto arvoissa.

Yksi ongelmaan vaikuttava tekijä on tarkistusarvojen laskentaan liittyvät ohjeet sovellussuunnittelussa. Tarkistusarvojen laskennasta on tehty myös opinnäytetyönä ohje ABB:lle. Tämän ohjeen voisi laittaa yleiseen jakeluun sovellussuunnittelussa, koska sen olemassaolo ei ole välttämättä kaikille sovellussuunnittelijoille selvä. Osa sovellussuunnittelijoista saattaa esimerkiksi laskea tarkistusarvot ilman korjauskertoimia. /6/

5.2 Järjestelmävirheet

Järjestelmävirheiksi lasketaan tässä tapauksessa tarkistusarvot puuttuu- ja tuplanotifikaatiot. Tuplanotifikaatiot johtuvat MES-järjestelmästä, joka sallii notifikaation tuplakirjaamisen järjestelmään. Ongelmaa on yritetty selvittää, mutta tois-taiseksi siihen ei ole keksitty ratkaisua. Järjestelmävirheiden ongelmien tarkempi selvittäminen jätettiin tämän opinnäytetyön ulkopuolelle, sillä opinnäytetyössä keskityttiin rutiinikoestuksen yleisiin ongelma-kohtiin.

Tarkistusarvot puuttuu-notifikaatiot ovat myös mielenkiintoisia. Kun sovellussuunnittelussa tehdään uusi laskelma, niin laskelmalle lasketaan myös tarkistusarvot ja tallennetaan ne Adeptin kautta Trinityyn. Silti tarkistusarvot eivät ole välttämättä näkyvissä MotTest -koestusohjelmassa. Osa ongelmista voi johtua siitä, että moottorin lajimerkki syötetään käsin ohjelmaan. Esim. kirjoitusvirheen sattuessa tarkistusarvot eivät välttämättä ole näkyvissä MotTest -ohjelmassa. Prosessia voisi kehittää mahdollisesti siten, että moottorin lajimerkki tulisi automaattisesti.

5.3 Staattoriin liittyvät ongelmat

Staattorien laaduntarkkailua voitaisiin kenties parantaa. Alihankkijalta toimitetuissa staattoreissa vaikuttaa olevan ongelmia notifikaatioiden mukaan. Alihankkijoiden kanssa voitaisiin yhdessä selvittää, voitaisiinko laaduntarkkailua parantaa esimerkiksi heidän toimipisteissään joillakin testeillä tai tarkastuksilla. Yksi staattoreihin liittyvä ongelma on myös niiden tuotekoodien merkitseminen staattoripaketin kylkeen. Välillä staattoreiden ja roottoreiden merkinnät saattavat olla linjalla niin heikkoja tai huonoja, että on mahdollista vahingossa laittaa väärä staattori runkoon tai roottori staattoriin. Tuotekoodien selkeä merkitseminen vähentäisi ongelmia jonkin verran molemmilla linjoilla.

5.4 Inhimilliset virheet

Vaikka inhimillisten virheiden määrä olikin suhteellisen vähäinen molemmilla linjoilla, olisi hyvä panostaa siihen, että määrät pysyisivät pieninä myös jatkossa. Koulutusta ja työhön perehdytystä voitaisiin lisätä ainakin uusien sovellussuunnittelijoiden kohdalla.

Ohjeiden laatiminen ja päivittäminen voisi olla myös yksi keino, jolla saataisiin jatkossakin pidettyä inhimillisten virheiden määrä alhaisena. Osa työohjeista on vanhentuneita ja asioita tehdään nykyään osin eri tavalla kuin ennen. Kunnon työohjeiden laatiminen takaisi yhtenäisemmän ja selkeämmän toiminnan jokaisessa prosessin vaiheessa.

5.5 Muut kehitysideat

Notifikaatioita itsessään voitaisiin kenties kehittää. Niissä esiintyvät tiedot ovat välillä vajavaisia ja epäselviä. Tämän lisäksi notifikaatioissa kaikki tieto ei ole löydettävissä helposti, vaan jotkut tiedot, kuten esim. moottorissa käytetty laskel-

ma pitää etsiä eri paikasta. Tiedon kerääminen samaan paikkaan helpottaisi jatkossa notifikaatioiden läpikäymistä ja ongelmien seuraamista.

5.6 Uusi FPY kehitysideoiden toteuttamisen jälkeen

Seuraavissa kappaleissa on selvitetty, kuinka paljon FPY paranisi, jos laskentavirheet ja järjestelmävirheet saataisiin minimoitua. Uudet FPY arvot on laskettu molemmille linjoille erikseen.

5.6.1 AL3A-linja

Taulukossa 29 on esitetty vuoden 2015 FPY eli laskettu lähtötilanne. FPY vuonna 2015 oli 91,66 % AL3A-linjalla.

Taulukko 29. AL3A-linjan FPY vuodelta 2015.

FPY yhteensä linjalla AL3A				
Kuukausi	Notifikaatioita	Moottoreita koestettu	Moottoreita läpäissyt koestuksen ensimmäisellä kerralla	FPY
Tammikuu	70	1526	1456	95,41 %
Helmikuu	57	1230	1173	95,37 %
Maaliskuu	64	1412	1348	95,47 %
Huhtikuu	38	1224	1186	96,90 %
Toukokuu	94	1441	1347	93,48 %
Kesäkuu	214	1478	1264	85,52 %
Heinäkuu	178	1429	1251	87,54 %
Elokuu	146	1369	1223	89,34 %
Syyskuu	213	1367	1154	84,42 %
Lokakuu	120	1504	1384	92,02 %
Marraskuu	145	1619	1474	91,04 %
Joulukuu	64	1226	1162	94,78 %
Yhteensä:	1403	16825	15422	91,66 %

Taulukossa 30 on laskettu FPY ilman tarkistusarvomuutoksia. Uusi FPY -prosentti olisi 96,95 % eli FPY kasvaisi 5,28 %.

Taulukko 30. FPY ilman tarkistusarvomuutoksia.

FPY ilman tarkistusarvon muutoksia linjalla AL3A					
Kuukausi	Notifikaatioita	Moottoreita koestettu	Moottoreita läpäissyt koestuksen ensimmäisellä kerralla	FPY	FPY:n kehitys %
Tammikuu	30	1526	1496	98,03 %	2,62 %
Helmikuu	20	1230	1210	98,37 %	3,01 %
Maaliskuu	29	1412	1383	97,95 %	2,48 %
Huhtikuu	20	1224	1204	98,37 %	1,47 %
Toukokuu	52	1441	1389	96,39 %	2,91 %
Kesäkuu	59	1478	1419	96,01 %	10,49 %
Heinäkuu	48	1429	1381	96,64 %	9,10 %
Elokuu	67	1369	1302	95,11 %	5,77 %
Syyskuu	95	1367	1272	93,05 %	8,63 %
Lokakuu	32	1504	1472	97,87 %	5,85 %
Marraskuu	41	1619	1578	97,47 %	6,42 %
Joulukuu	21	1226	1205	98,29 %	3,51 %
Yhteensä:	514	16825	16311	96,95 %	5,28 %

Taulukossa 31 on esitetty uusi FPY ilman järjestelmävirheitä. Uusi FPY -prosentti olisi 92,94 % eli FPY kasvaisi 1,28 %.

Taulukko 31. FPY ilman järjestelmävirheitä.

FPY ilman järjestelmävirheitä linjalla AL3A					
Kuukausi	Notifikaatioita	Moottoreita koestettu	Moottoreita läpäissyt koestuksen ensimmäisellä kerralla	FPY	FPY:n kehitys %
Tammikuu	66	1526	1460	95,67 %	0,26 %
Helmikuu	55	1230	1175	95,53 %	0,16 %
Maaliskuu	53	1412	1359	96,25 %	0,78 %
Huhtikuu	27	1224	1197	97,79 %	0,90 %
Toukokuu	63	1441	1378	95,63 %	2,15 %
Kesäkuu	181	1478	1297	87,75 %	2,23 %
Heinäkuu	152	1429	1277	89,36 %	1,82 %
Elokuu	126	1369	1243	90,80 %	1,46 %
Syyskuu	148	1367	1219	89,17 %	4,75 %
Lokakuu	116	1504	1388	92,29 %	0,27 %
Marraskuu	139	1619	1480	91,41 %	0,37 %
Joulukuu	62	1226	1164	94,94 %	0,16 %
Yhteensä:	1188	16825	15637	92,94 %	1,28 %

Taulukossa 32 on esitetty varovainen arvio siitä, paljonko FPY paranisi, jos tarkistusarvoja ei tarvitsisi laskea kahteen kertaan ja järjestelmävirheitä ei olisi. Taulukon arvoissa on yritetty ottaa huomioon myös komponenttien vaihtelu, joka on läsnä tyhjäkäynti- ja oikosulkutesteissä. Arvot on laskettu siten, että ne on kerrottu kertoimella, joka on saatu jakamalla komponenttinvirheiden määrä kaikilla I₀- ja I_k-notifikaatioilla. Näin ollen arvoissa on yritetty ottaa huomioon ne tapaukset, joissa on oikeasti ollut vikaa eli staattoria tai roottoria on jouduttu vaihtamaan. Laskussa on siis yritetty ottaa huomioon sitä, kuinka paljon laatuvihtelua komponenteissa esiintyy tulevaisuudessa, vuoden 2015 kerätyn tiedon perusteella. Uusi FPY olisi 98,03 % eli FPY paranisi 6,37 %.

Taulukko 32. FPY ilman tarkistusarvomuutoksia ja järjestelmävirheitä.

FPY ilman tarkistusarvo- ja järjestelmävirheitä linjalla AL3A					
Kuukausi	Notifikaatioita	Moottoreita koestettu	Moottoreita läpäissyt koestuksen ensimmäisellä kerralla	FPY	FPY:n kehitys %
Tammikuu	28	1526	1498	98,17 %	2,76 %
Helmikuu	19	1230	1211	98,43 %	3,07 %
Maaliskuu	20	1412	1392	98,60 %	3,13 %
Huhtikuu	10	1224	1214	99,16 %	2,27 %
Toukokuu	24	1441	1417	98,32 %	4,84 %
Kesäkuu	30	1478	1448	97,99 %	12,47 %
Heinäkuu	25	1429	1404	98,25 %	10,71 %
Elokuu	51	1369	1318	96,26 %	6,92 %
Syyskuu	36	1367	1331	97,37 %	12,95 %
Lokakuu	30	1504	1474	98,00 %	5,98 %
Marraskuu	38	1619	1581	97,68 %	6,64 %
Joulukuu	20	1226	1206	98,34 %	3,56 %
Yhteensä:	331	16825	16494	98,03 %	6,37 %

Laskussa yritetty ottaa huomioon komponenttien vaihtelua, joka on mukana tarkistusarvomuutoksissa I₀- ja I_k-notifikaatioissa. Tarkistusarvomuutoksiin vaikuttaa komponenttien laadun vaihtelu, Adeptin laskenta ja koestuslaitteisto.

5.6.2 AL3B-linja

Tässä luvussa on esitetty samat arvot AL3B-linjalle. Taulukossa 33 on esitetty vuoden 2015 FPY eli laskettu lähtötilanne. FPY vuonna 2015 oli 96,51 % AL3B-linjalla.

Taulukko 33. AL3B-linjan FPY vuodelta 2015.

FPY yhteensä linjalla AL3B				
Kuukausi	Notifikaatioita	Moottoreita koestettu	Moottoreita läpäissyt koestuksen ensimmäisellä kerralla	FPY
Tammikuu	24	963	939	97,51 %
Helmikuu	30	1117	1087	97,31 %
Maaliskuu	40	1065	1025	96,24 %
Huhtikuu	27	943	916	97,14 %
Toukokuu	28	899	871	96,89 %
Kesäkuu	23	876	853	97,37 %
Heinäkuu	53	796	743	93,34 %
Elokuu	18	725	707	97,52 %
Syyskuu	29	908	879	96,81 %
Lokakuu	32	974	942	96,71 %
Marraskuu	79	1496	1417	94,72 %
Joulukuu	45	1490	1445	96,98 %
Yhteensä:	428	12252	11824	96,51 %

Taulukossa 34 on laskettu FPY ilman tarkistusarvomuutoksia. Uusi FPY - prosentti olisi 97,76 % eli FPY kasvaisi 1,26 %.

Taulukko 34. FPY ilman tarkistusarvomuutoksia.

FPY ilman tarkistusarvon muutoksia linjalla AL3B					
Kuukausi	Notifikaatioita	Moottoreita koestettu	Moottoreita läpäissyt koestuksen ensimmäisellä kerralla	FPY	FPY:n kehitys %
Tammikuu	20	963	943	97,92 %	0,42 %
Helmikuu	23	1117	1094	97,94 %	0,63 %
Maaliskuu	25	1065	1040	97,65 %	1,41 %
Huhtikuu	16	943	927	98,30 %	1,17 %
Toukokuu	25	899	874	97,22 %	0,33 %
Kesäkuu	17	876	859	98,06 %	0,68 %
Heinäkuu	29	796	767	96,36 %	3,02 %
Elokuu	11	725	714	98,48 %	0,97 %
Syyskuu	22	908	886	97,58 %	0,77 %
Lokakuu	20	974	954	97,95 %	1,23 %
Marraskuu	39	1496	1457	97,39 %	2,67 %
Joulukuu	27	1490	1463	98,19 %	1,21 %
Yhteensä:	274	12252	11978	97,76 %	1,26 %

Taulukossa 35 on esitetty uusi FPY ilman järjestelmävirheitä. Uusi FPY -prosentti olisi 96,88 % eli FPY kasvaisi 0,38 %.

Taulukko 35. FPY ilman järjestelmävirheitä.

FPY ilman järjestelmävirheitä linjalla AL3B					
Kuukausi	Notifikaatioita	Moottoreita koestettu	Moottoreita läpäissyt koestuksen ensimmäisellä kerralla	FPY	FPY:n kehitys %
Tammikuu	22	963	941	97,72 %	0,21 %
Helmikuu	22	1117	1095	98,03 %	0,72 %
Maaliskuu	37	1065	1028	96,53 %	0,28 %
Huhtikuu	26	943	917	97,24 %	0,11 %
Toukokuu	26	899	873	97,11 %	0,22 %
Kesäkuu	23	876	853	97,37 %	0,00 %
Heinäkuu	47	796	749	94,10 %	0,75 %
Elokuu	15	725	710	97,93 %	0,41 %
Syyskuu	19	908	889	97,91 %	1,10 %
Lokakuu	31	974	943	96,82 %	0,10 %
Marraskuu	71	1496	1425	95,25 %	0,53 %
Joulukuu	43	1490	1447	97,11 %	0,13 %
Yhteensä:	382	12252	11870	96,88 %	0,38 %

Taulukossa 36 on esitetty varovainen arvio siitä, paljonko FPY paranisi, jos tarkistusarvoja ei tarvitsisi laskea kahteen kertaan ja järjestelmävirheitä ei olisi. Taulukon arvoissa on yritetty ottaa huomioon myös komponenttien vaihtelu, joka on läsnä tyhjäkäynti- ja oikosulkutesteissä. Arvot on laskettu siten, että ne on kerrottu kertoimella, joka on saatu jakamalla komponenttinvirheiden määrä kaikilla I₀- ja I_k-notifikaatioilla. Näin ollen arvoissa on yritetty ottaa huomioon ne tapaukset, joissa on oikeasti ollut vikaa eli staattoria tai roottoria on jouduttu vaihtamaan. Laskussa on siis yritetty ottaa huomioon sitä, kuinka paljon laatu vaihtelua komponenteissa esiintyy tulevaisuudessa, vuoden 2015 kerätyn tiedon perusteella. Uusi FPY olisi 97,90 % eli FPY paranisi 1,39 %.

Taulukko 36. FPY ilman tarkistusarvomuutoksia ja järjestelmävirheitä.

FPY ilman tarkistusarvo- ja järjestelmävirheitä linjalla AL3B					
Kuukausi	Notifikaatioita	Moottoreita koestettu	Moottoreita läpäissyt koestuksen ensimmäisellä kerralla	FPY	FPY:n kehitys %
Tammikuu	20	963	943	97,91 %	0,40 %
Helmikuu	17	1117	1100	98,44 %	1,12 %
Maaliskuu	25	1065	1040	97,68 %	1,44 %
Huhtikuu	17	943	926	98,23 %	1,09 %
Toukokuu	26	899	873	97,14 %	0,26 %
Kesäkuu	19	876	857	97,85 %	0,48 %
Heinäkuu	26	796	770	96,72 %	3,38 %
Elokuu	9	725	716	98,73 %	1,22 %
Syyskuu	14	908	894	98,42 %	1,61 %
Lokakuu	21	974	953	97,83 %	1,11 %
Marraskuu	35	1496	1461	97,65 %	2,93 %
Joulukuu	28	1490	1462	98,13 %	1,15 %
Yhteensä:	257	12252	11995	97,90 %	1,39 %

Laskussa yritetty ottaa huomioon komponenttien vaihtelua, joka on mukana tarkistusarvomuutoksissa I₀- ja I_k-notifikaatioissa. Tarkistusarvomuutoksiin vaikuttaa komponenttien laadun vaihtelu, Adeptin laskenta ja koestuslaitteisto.

6 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää rutiinikoestuksen FPY:n ongelmia AL3A- ja AL3B-linjoilta ja antaa kehitysehdotuksia, joilla niitä voitaisiin kehittää. Työn tavoitteena oli, että saataisiin luotua kehitysehdotuksia, joilla linjojen läpimenoa saataisiin parannettua. Työn tekeminen vaati usean ohjelman käyttämistä ja tiedon etsimistä eri tietokannoista ja ohjelmista, sekä laajaa analyysyä.

Työssä käytiin läpi rutiinikoestuksen ongelmat laajasti ja yksityiskohtaisesti. Ongelmat jaoteltiin kuukausitasolla ja eri runkokokojen mukaan vuodelta 2015. Työssä käsiteltiin mm. rutiinikoestuksen eri vaiheet, tarkistusarvojen laskentaohjeet sekä esitettiin kehitysehdotuksia siitä, kuinka rutiinikoestuksen prosessia ja läpimenoa saataisiin kehitettyä. Työssä tarjotut ehdotukset keskittyivät pääasiassa suurimpiin rutiinikoestuksen ongelmiin molemmilla linjoilla.

Tärkeimmät kehitysehdotukset liittyvät Adept -laskentatyökalun laskennan kehittämiseen ja tarkistusarvojen toleranssien laventamiseen, etenkin pienillä moottorikokoluokilla. Adeptin laskentaa kyetään optimoimaan ja tarkentamaan esim. hyödyntämällä sen laskentaprofiileja. Näihin ongelmiin keskittymällä voidaan saada parannettua FPY:tä merkittävästi molemmilla kokoonpanolinjoilla. Nämä kehitysideat ovat suhteellisen kustannustehokkaita ja toteutettavissa pienin resurssein.

Omalta osaltani työn tekeminen oli haastavaa ja mielenkiintoista. Työssä tuli käsiteltyä minulle läheisiä aiheita, koska olen aikaisemmin työskennellyt AL3A-linjalla ja työskentelen nykyään sovellussuunnittelussa. Vaikeinta opinnäytetyössä oli rajata aihetta niin, että opinnäytetyö ehdittiin tekemään ajallaan. Aihetta olisi voinut tutkia vieläkin pidemmälle, mutta ajan loppumisen ja työn laajuuden vuoksi selvitys jouduttiin jättämään tähän vaiheeseen.

LÄHTEET

- /1/ ABB lyhyesti. 2016. ABB Oy. Viitattu 20.3.2016.
<http://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa>
- /2/ Company profile. 2016. ABB Oy. Viitattu 20.3.2016.
<http://new.abb.com/investorrelations/company-profile/facts-figures>
- /3/ Aura, L. & Tonteri, A. 1996. Teoreettinen sähkötekniikka ja sähkökoneiden perusteet. 2. uudistettu painos. Porvoo. WSOY.
- /4/ Korpinen, L. Sähkökoneet osa 1. Viitattu 20.3.2016.
http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/10sahkokoneet_1osa.pdf
- /5/ Wik, P. 2015. ABB standard. ABB Oy:n julkaisematon sisäinen ohjekanta.
- /6/ Kuusisto, J. 2012. Ohje sähkömoottorin rutiinikoestusarvojen laskentaan. Vaasan ammattikorkeakoulun opinnäytetyö.
- /7/ Rutiinikoestuslaitteistojen jänniteportaot, FIMOT1493. 2016. ABB Motors & Generators:in julkaisematon sisäinen ohjetietokanta.
- /8/ Ryyppö, T. 2005. Hajautetun laskentajärjestelmän soveltaminen epätahtikoneen roottorirakenteen optimointiin. Teknillisen korkeakoulun diplomityö.
- /9/ Talvitie, T. 2016. Trinity ja laskelman luonti. ABB Motors & Generators:in julkaisemattomat sisäiset ohjeet.
- /10/ International Electrotechnical Commission. 2010. IEC 60034-1 Rotating electrical machines – Part 1: Rating and performance. Viitattu 20.3.2016.
https://webstore.iec.ch/preview/info_iec60034-1%7Bed12.0%7Db.pdf
- /11/ Jaakkola, J. 2000. Opinnäytetyö. Rutiinikoestus ja muuttuneet standardit.

LIITTEET

Liite 1. Notifikaatioiden analyysi

Liite 2. Kokoonpanolinjojen AL3A ja AL3B FPY vuonna 2015