

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
Teknillinen tiedekunta  
Konetekniikan koulutusohjelma

*Asko Kavala*

**KENTTÄTIETOJEN HYÖDYNTÄMINEN TAAJUUSMUUTTAJAN  
LUOTETTAVUUDEN SUUNNITTELUSSA**

Työn tarkastajat:      Professori Aki Mikkola  
                                    TkT Kimmo Kerkkänen

Työn ohjaaja:            DI Klaus Kangas

## ALKUSANAT

*”Ja vaikka lokki Fletcher yritti katsella oppilaitaan oikein ankarasti, se äkkiä näki ne sellaisina kuin ne todella olivat, eikä se ainoastaan pitänyt näkemästään, vaan se rakasti sitä. Eikö mitään rajoja, Joonatan? se ajatteli hymyillen. Sen kilvoittelu kohti oppimista oli alkanut.”* Richard Bach, Lokki Joonatan, 1970.

Tämä työ on tehty ABB Oy:n Lappeenrannan huoltokeskuksessa yhteistyössä Pitäjänmäen taajuusmuuttajatehtaan kanssa.

Haluan kiittää työn ohjaajaa Klaus Kangasta ja Juha Kestilää ABB:ltä ajatuksista, jotka johtivat lopulta tämän työn syntyyn.

Opiskelu työn ohessa keski-ikäisenä on vaatinut ponnisteluja niin itseltäni kuin tukea lähipiiriltäni. Kiitos vaimo ja lapset!

Lappeenrannassa 1.4.2010

Asko Kavala

## TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto  
Teknillinen tiedekunta  
Konetekniikan koulutusohjelma

Asko Kavala

### **Kenttätietojen hyödyntäminen taajuusmuuttajan luotettavuuden suunnittelussa**

Diplomityö

2010

110 sivua, 34 kuvaa, 13 taulukkoa ja 13 liitesivua

Tarkastajat: Professori Aki Mikkola  
TkT Kimmo Kerkkänen

Hakusanat: elinkaari, kunnossapito, luotettavuus, sähkökäyttö, taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttaja on yhä yleisempi laite perinteisten oikosulkumoottoreiden nopeuden säädössä, niin teollisuudessa kuin muilla käyttökohteissa. Ensimmäiset laitetyypit olivat mekaanisesti suurikokoisia ja vaativat laitteen tekniseltä tuelta ja kunnossapidolta hyvää teknistä perehtyneisyyttä laitteisiin. Teknologian kehittymisen myötä laitteiden teho/kokosuhte on pienentynyt ja tarjolla on useita eri sovelluskohteisiin suoraan soveltuvia taajuusmuuttajia varustettuna helppokäyttöisillä ja kaupallisilla käyttöliittymillä.

Laitteen elinkaaren aikainen luotettavuusjohtaminen edellyttää valmistajalta varsinaisen laitesuunnittelun lisäksi tarkoituksenmukaisia testausmenetelmiä ja kokemusperäistä luotettavuustietoa myös asennetusta laitekannasta. Työssä on käyty taajuusmuuttajan suunnittelun kannalta läpi luotettavuuden käsitteistö sekä yleisimpiä luotettavuusmenetelmiä. Luotettavuusnäkökohtia verrataan asennetusta laitekannasta saatuihin kokemuksiin laitteen valmistajan ja tuotetuen kannalta. Työssä on esitetty luokittelun perusteita ja menetelmät, miten käytön aikana voidaan arvioida laitteen teknistä tilaa sekä huomioida se kunnossapidon suunnittelussa. Johtopäätöksenä huomataan, että asennuspaikka ja käyttösovellus määrittävät taajuusmuuttajan käytettävyyden.

Kenttätietoja voidaan hyödyntää paikallisen kunnossapidon kannalta kunnossapidon ja investointien suunnittelussa. Toisaalta valmistajan tuotekehitys saa asennetuista laitteista kokemuksia seuraavan sukupolven tyyppin suunnittelun perustaksi. Tekniikan voimakkaan kehittymisen seurauksena uusien taajuusmuuttajatyypien valmistus kestää yhä lyhyemmän ajanjakson, jolloin asennetusta laitekannasta saatu kenttäkokemus on arvokasta tietoa laitevalmistajalle. Yhteenvedona valmistajan laiterekistereitä voidaan kehittää siten, että niihin on tallennettavissa laitekartoitusten perusteella kerättyä informaatiota, jota niin valmistajan myynti, tuotetuki kuin laitesuunnittelu voi omassa toiminnassaan hyödyntää.

## **ABSTRACT**

Lappeenranta University of Technology  
Faculty of Technology  
Degree Programme of Mechanical Engineering

Asko Kavala

### **Utilizing field data and installed base for reliability engineering of a frequency converter**

Master's thesis

2010

110 pages, 34 figures, 13 tables and 13 appendices

Examiners: Professor Aki Mikkola  
Dr.Sc.(Tech.) Kimmo Kerkkänen

Keywords: electrical drive, frequency converter, life cycle, maintenance, reliability

Frequency converter is a very common electrical device as a variable speed drive of traditional induction motors as well in industrial as other applications. The first drive types were mechanically large and required normally special knowledge from the technical support of the manufacturer and the local maintenance. Due to the developing technology, the size of the frequency converter has decreased, and nowadays there are several customized applications equipped with easy-to-use and commercial interfaces.

In addition to the actual R&D operations, also appropriate testing methods and reliability information of the installed units are required from the dependability management of the manufacturer, during the life cycle of the product. Reliability engineering basics and the most common and useful reliability methods are discussed in this thesis. Reliability aspects are compared with the site audit experiences of the installed base from the point of view of the manufacturer and the product support. Basics of the classification are presented, as well as methods for evaluating the technical condition of the device during the use, and for taking it into consideration in the maintenance planning. Conclusion is that the installation environment and the process application define the usability of the frequency converter.

The collected field data can be utilized by the local maintenance organization for the periodical maintenance and the investments plans. On the other hand, the R&D department will get at the same time information for the background of the next generation products. Due to the strong technical development, a new drive generation will take ever shorter period of manufacturing time, and field data will be a valuable issue for the R & D projects of the manufacturer. As a summary, the equipment registry of the manufacture can be developed, in terms of reliability, so that the information collected based on the equipment audits can be stored in the registers, from where it is available as well for the sales, product support as the R & D of the manufacturer.

## SISÄLLYSLUETTELO

<b>1. JOHDANTO .....</b>	<b>1</b>
1.1. Taustaa ja lähtökohdat .....	1
1.2. Työn tavoitteet ja rajaus .....	3
<b>2. ABB LAITETOIMITTAJANA .....</b>	<b>4</b>
2.1. Toimialat .....	4
2.2. Taajuusmuuttajan valmistus .....	6
2.2.1. Tuotekehitys .....	7
2.2.2. Kokoonpano .....	9
2.2.3. Tuotetuki .....	11
2.2.3.1. Product Support .....	12
2.2.3.2. Service .....	14
2.3. ABB:n laiterekisteritietojärjestelmät .....	16
2.3.1. Installed Base .....	17
2.3.2. ServIS .....	18
2.4. Taajuusmuuttajan ABB elinkaarimalli .....	19
<b>3. TAAJUUSMUUTTAJAN LUOTETTAVUUDEN SUUNNITTELU .....</b>	<b>23</b>
3.1. Yleistä .....	23
3.1.1. Määrittelyjä .....	24
3.1.2. Yleisiä luotettavuusmenetelmiä .....	27
3.1.2.1. RCM .....	28
3.1.2.2. FMEA .....	31
3.1.2.3. FTA .....	33
3.1.2.4. Luotettavuuskaavio .....	36
3.1.3. Yleisiä kiihdytettyjä testimenetelmiä .....	42
3.1.3.1. HALT .....	47
3.1.3.2. Karsinta .....	49
3.1.4. Yleisiä luotettavuusohjelmistoja .....	52
3.2. Taajuusmuuttajan elinkaaren aikana luotettavuuteen vaikuttavat tekijät .....	53
3.2.1. Gate-malli .....	53
3.2.2. Tuotekehitys .....	54
3.2.3. Valmistus .....	55
3.2.4. Toimitus ja asennus .....	56

3.2.5.	Käyttö ja kunnossapito .....	56
3.2.6.	Käytöstä poisto .....	57
3.2.7.	Turvallisuus .....	57
3.2.8.	Ympäristö .....	67
3.2.9.	Energiatehokkuus .....	58
<b>4.</b>	<b>KÄYTÖNAIKANA TEHTÄVÄT HAVAINNOT .....</b>	<b>59</b>
4.1.	Site Audit kunnossapitopalvelutuote .....	59
4.2.	Kentällä tehtävät havainnot .....	61
4.2.1.	Turvallisuus .....	62
4.2.2.	Käyttöpaikka .....	65
4.2.2.1.	Ympäristön lämpötila .....	65
4.2.2.2.	Ilman suhteellinen kosteus .....	67
4.2.2.3.	Korroosiotaso .....	69
4.2.2.4.	Asennusympäristö .....	73
4.2.3.	Laite .....	74
4.2.3.1.	Turvallisuus .....	75
4.2.3.2.	Likaisuus .....	77
4.2.3.3.	Laitteen lämpötila .....	81
4.2.3.4.	Kuormitus .....	85
4.2.3.5.	Käyttöjännite .....	88
4.2.3.6.	Toteutetut kunnossapitotoimenpiteet .....	89
4.2.3.7.	Vikapuskuri .....	92
4.2.3.8.	Kriittisyys .....	94
4.2.3.9.	Energiatehokkuus .....	95
4.2.3.10.	Varasto / varaosat .....	96
4.3.	Tiedon luokitus ja analysointi .....	97
<b>5.</b>	<b>TULOSTEN ANALYSOINTI JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....</b>	<b>102</b>
5.1.	Kentätietojen hyödyntäminen taajuusmuuttajan luotettavuussuunnittelussa .....	102
5.2.	Taajuusmuuttajan tuotetuen kehittäminen .....	104
<b>6.</b>	<b>YHTEENVETO .....</b>	<b>106</b>
	<b>LÄHTEET .....</b>	<b>107</b>
	<b>LIITTEET .....</b>	<b>110</b>

## KÄYTETYT LYHENTEET

ABB	Asea Brown Boveri Ltd
AHS	Aikahyötysuhde
ALT	Kiihdytysmenetelmä (Accelerated Life Test)
BU	ABB:n liiketoimintayksikkö (Business Unit)
CMOS	Puolijohdetekniikka (Complementary Metal Oxide Semiconductor)
DAP	Drive Alliance Partner , ABB:n valtuuttama paikallinen edustaja, jolla voi olla oikeudet myyntitoimintaan, käyttöönottoon ja korjauspalveluun.
Drives	Sähkökäyttö (staattinen)
ESD	Staattisen sähkövarauksen purkautumisilmiö (Electrostatic Discharge)
ESR	Komponentin sisäinen sarjavastus (Effective Series Resistance)
E-tehdas	Taajuusmuuttajia valmistava elektroniikkatehdas Pitäjänmäellä.
FS	Rekisteröity toimintamalli, missä ABB vastaa FS konseptin mukaisesti kunnossapidon eri osa-alueiden (kokonaiskunnossapito) kunnossapidosta. (Full Service)
FMEA	Luotettavuusanalyysimenetelmä, Vioittumis ja vaikutusanalyysi (Failure Mode and Effects Analysis)
FMECA	Luotettavuusanalyysimenetelmä (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis)
FTA	Vikapuuanalyysi, (Fault Tree Analysis)
HALT	Nopeutettu kuormitustestaus, (Highly Accelerated Life Test)
HVDC	Suurjännitetasavirtatekniikka, jota käytetään sähkönjakelun energiansiirrossa (High Voltage DC)
IGBT	Hilaohjattu transistori (Insulated Gate Bipolar Transistor)
Installed Base	ABB:n laiterekisterijärjestelmä.
IP -luokka	Suojausluokan koodiluokitus (International Protection)

KTMP	Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös
LABB	Paikallinen ABB maaorganisaatioyhtiö (Local ABB)
LED	Loistediodi (Light-Emitting Diode)
LV	Alle 1000 voltin jännite (Low Voltage)
MTBF	Keskimääräinen vikojen välinen aika (Mean Time Between Failures)
MTTF	Keskimääräinen vikaantumisaika (Mean Time To Failure)
MTTR	Keskimääräinen viankorjausaika (Mean Time To Repair)
PCS	ABB:n henkilöstön osaamisen hallintajärjestelmä (Personal Certification System)
RBD	Luotettavuuskaavio (Reliability Block Diagram)
RCM	Luotettavuuskeskeinen kunnossapitomalli (Reliability Centered Maintenance)
Retrofit	Taajuusmuuttajan uusintaratkaisu, jossa rajattu kokonaisuus alkuperäisestä sähkökäytöstä korvataan uuden tyyppisellä tekniikalla.
RPN	FMEA:ssa käytetty riskiprioriteettiluku (Risk Priority Number)
SAMI	Ensimmäinen Suomessa valmistettu taajuusmuuttajasukupolvi (Strömbergin Asynkronisen Moottorin Invertteri)
SAP	ABB:n käyttämä kaupallinen tuotannonohjausjärjestelmä (ERP)
ServIS	ABB:n laiterekisterijärjestelmä
VVA	Vika- ja vaikutusanalyysi
24/7	Palvelumuoto 24 tuntia 7 päivänä viikossa



## SYMBOLILUETTELO

$\alpha_i$	elinkaaren ominaiskerroin
$\beta_i$	elinkaaren ominaiskerroin
$\lambda$	vikataajuus
$C$	olosuhteiden korrosiivisuus
$h(t)$	vikaantumistaajuus
$L$	elinkaaren pituus
$R$	luotettavuus
$R_{cor}$	korroosioriski
$R_i$	yksittäiskomponentin luotettavuus
$S$	herkkyyskerroin
$t$	aika
$T$	toimintatodennäköisyys
$T_s$	yhden yksikön toimintatodennäköisyys
$U_n$	jännitteen nimellinen tehollisarvo

# 1. JOHDANTO

## 1.1. Taustaa ja lähtökohdat

Laitteelta tai laitteistolta edellytetään hankinnan yhteydessä mahdollisimman korkeaa luotettavuutta arvioidun tai suunnitellun käytön ajaksi. Investoinnin yhteydessä määritellään hankinnan takaisinmaksuaika, mikä on myös lähtökohdana laitteen oletetulle tekniselle ja taloudelliselle käyttöiälle ja elinkaarelle. Hankintavaiheessa käyttövarmuus koetaan usein kokemusperäisenä niin laitteen teknisenä toimintavarmuutena kuin myös sen markkinointiin, toimitukseen, asennukseen, käyttöönottoon ja varsinaiseen luotettavaan käyttöön liittyvänä kokonaisuutena. Luotettavuuden merkitystä kuvaa nykyisin se, että käytön aikana laitevalmistajan järjestämä kunnossapito ja tuotetuki ovat osaltaan yhä tärkeämmässä asemassa, kun pyritään varmistamaan tai parantamaan tuotantoprosessin tai lopputuotteen kilpailukykyä. Myös valmistajan uusien laitteiden myynti hyödyntää käyttövarmuuden kautta saatua imagoa.

Nykyaikainen taajuusmuuttaja edustaa korkeaa teknologiaa, minkä voimakas viime vuosikymmenen kehittyminen on johtanut valmistuksessa olevien tuoteperheiden yhä lyheneviin tuotannossa oleviin tyyppisarjoihin. Varustetasoltaan tai ominaisuuksiltaan erilaisia tuoteperheitä saattaa olla suunnittelun alla sekä sarjatuotantovalmistuksessa samanaikaisesti siitä syystä, että laitevalmistaja voisi tyydyttää erilaisia käyttäjien sovelluskohteiden erityistarpeita mahdollisimman tarkoituksenmukaisesti ja kustannustehokkaasti.

Koska taajuusmuuttajan sarjatuotantoajan kesto on lyhentynyt joissain tapauksissa jopa muutamiin vuosiin, ei laitevalmistajalle ole aina käytössään luotettavaa käytännön tietoa ja kentän palautetta laitteen luotettavuudesta jo seuraavan laitesukupolven valmistuksen alkaessa. Mikäli valmistajayhtiöllä on käytettävissään kokemusperäistä tietoa niin todellisista käyttöolosuhteista, asennuksesta, käytöstä ja käytettävyydestä, on sillä paremmat edellytykset tuotekehityksen onnistumiseen ja parempiin tuotteisiin.

Kehittyneissä kunnossapitomalleissa edellytetään nykyisin kunnossapitotoimenpiteiden kohdistamista mahdollisimman tarkoituksenmukaisesti, millä varmistetaan laitteen luotettava toiminta. Tämä tarkoittaa esimerkiksi laitesuunnittelussa toimintaolosuhteiden huomioimisen, yksittäisten komponenttien todellisten ikääntymismallien ymmärtämisen ja tarvittavien kunnossapitotoimenpiteiden huomioimisen.

Huolto pyrkii mahdollisimman tarkasti ennakoimaan laitteen vaatimat toimenpiteet sen käyttövarmuuden varmistamiseksi. Laitteeseen liittyvää tietoa on nykyisin paljon ja tiedon jakelua voidaan hallita, mutta tunnistetaanko laitteen suunnitteluperusteita asennetun laitekannan käyttökokemusten kautta ja osataanko niitä hyödyntää huoltopalvelujen tuotteistuksessa? Myös sellaisissa kokonaiskunnossapitokohteissa, missä toimittaja vastaa sopimusperusteisesti laitoksen kunnossapidosta koko laitekannan osalta, todelliset epäkäytettävyyttä aiheuttavat kohteet on osattava tunnistaa ja hallita riskitekijät optimoiduilla kunnossapitokustannuksilla. ABB:llä on vahva asema taajuusmuuttajien toimittajana Suomen teollisuudessa ja käyttökokemusten hyödyntäminen paikallisen kunnossapitoyhtiön kanssa on luonnollisesti monistettavissa globaaleille markkinoille.

Myös loppukäyttäjien ja omistajien kiinnostus elinkaaren hallintaan ja käyttövarmuuteen on kasvanut, mikä näkyy esimerkiksi siinä, että hankintasopimukseen liitetään poikkeuksitta merkittävässä teollisuuden toimitusprojekteissa rahallisia käytettävyyssopimuksia ja -takuita. Niin ikään keskeytysvakuutusten perusteet ovat laitteen tai laitteiston luotettavuuden suunnitelmallisessa toteutumisessa. Yleinen tuoteturvallisuus on keskeinen asia laitevalmistajan ja käyttäjän kannalta, mistä on olemassa erityiset viranomaismääräykset ja direktiivit. Erityistapauksena ehdotonta käyttövarmuutta ja luotettavuutta edellyttävät ydinvoimalaitokset, missä riskianalyysivaatimukset on keskeinen asia laitoksen toiminnallisuuden ja elinkaaren kannalta.

## **1.2. Työn tavoitteet ja rajaus**

Tämän työn tarkoituksena on selvittää ABB:n kentällä tehtävien tarkastus- ja huoltotoimenpiteiden hyödyntämistä taajuusmuuttajan luotettavuuden suunnittelussa

laitteen elinkaaren näkökulmasta. Laitteen kannalta huomioidaan selvityksessä tavanomaisten laitesuunnittelunäkökohtien lisäksi myös ympäristövaikutukset, turvallisuus ja energiatehokkuus.

Tarkastelun ulkopuolelle jätetään yksittäisten komponenttien, piirikorttien ja kojeiden sisäiset suunnittelulähtökohdat ja niiden luotettavuusmallit. Myös taajuusmuuttajan moottorinohjaus ja sitä vastaava ohjelmistoperäinen tuotekehitys sekä luotettavuustarkastelu prosesseineen on jätetty tämän selvityksen ulkopuolelle. Tutkimuksen kohteena käsitellään ABB:n Suomessa suunniteltuja ja valmistettuja LV - taajuusmuuttajatyyppejä, joiden valmistus on alkanut 1990-luvun alkupuolella, sekä luonnollisesti nykyisin tuotannossa olevia yksiköitä.

Luotettavuustyökalut ja -menetelmät ovat keskeisessä asemassa laitteen luotettavuusmalleja määriteltäessä. Työssä on esitetty luotettavuuteen liittyviä käsitteitä ja menetelmiä ja niiden hyödyntämistä pohditaan laitteen luotettavuuden arvioinnissa laitteen toimituksesta käyttäjille päätyen laitteen tekniseen romuttamiseen. Tyypillisesti laitevalmistajan palautteet asennetusta laitekannasta ja sen käyttövarmuudesta perustuvat takuuajan edustamiin tapahtumiin ja suoriin asiakaspalautteisiin. Laitteiden tekniset ominaisuudet ja yksittäisten komponenttien todellinen ikääntyminen ovat havainnoitavissa vasta useamman käyttövuoden jälkeen, missä sovellus, käyttötapa ja olosuhteet ovat ratkaisevassa asemaassa laitteen suunnitellun toimintavarmuuden kannalta. Työssä arvioidaan toisaalta tuotekehityksen suunnittelunäkökohtia toimintavarmuuden ja kunnossapidon kannalta, toisaalta yritetään määritellä ja arvioida säännöllisten kentällä tehtävien tarkastusten ja normaalien kunnossapitotöiden kautta mahdollisia vikaantumismekanismeja ja sitä kautta varmistaa ja parantaa laitteen luotettavuuden suunnittelua.

Lopuksi työssä otetaan esille yhteistyömuotomalleja, joiden avulla huolto-organisaatio voi tuottaa määrällisesti ja laadullisesti oikeanlaatuista informaatiota niin omaan organisaatioonsa kuin myös tuotekehitysosaston käyttöön. ABB -yhtiöllä on käytössä ja rakenteilla tietokantoja, joiden parempi hyödyntäminen tai jatkokehittäminen voi tulla selvityksen seurauksena mahdolliseksi.

## **2. ABB LAITETOIMITTAJANA**

ABB syntyi vuonna 1988 ruotsalaisen ASEA:n (Allmänna Svenska Elektriska AB) ja sveitsiläisen BBC:n (Brown Boveri Company) yritysfuusion seurauksena kasvaen johtavaksi maailmanlaajuiseksi sähkövoima- ja automaatioteknologiayhtymäksi. Yhtiön alkuaikoina liiketoimintaa oli useilla eri toimialoilla aina liikennevälinekäytöistä ja asennustoiminnasta perinteisiin sähkötekniisiin liiketoimialueisiin. Tuolloin oli yhtiön palveluksessa parhaimmillaan yli 220 000 työntekijää. Valittuihin liiketoimintoihin keskittyminen ja yrityskaupat johtivat siihen, että vuonna 2008 ABB:n palveluksessa työskenteli 120 000 henkilöä noin 43 BUSD liikevaihdolla. Yhtiö toimii maailmanlaajuisesti noin 100 eri maassa./1/

ABB on viestinyt päämääräkseen parantaa asiakkaittensa järjestelmien ja prosessien tehokkuutta ja luotettavuutta painottaen huomiota energiatehokkuuteen ja ympäristöarvoihin. Innovatiivisuus ja valmistettujen tuotteiden laadukkuus ovat nostettu yhtiön tärkeiksi arvoiksi. ABB:n tavoite on niin ikään olla houkutteleva ja tavoiteltu työnantaja arvostaen ammatillista osaamista ja kehittää sitä sekä tarjota työntekijöilleen kansainvälistä työyhteisöä. Neljäntenä strategisena painopisteenä yhtiöllä on huomioida ympäristön kuormitus ja kehittää teknologiaansa näiden periaatteiden mukaisesti sekä vaatia kaikilta osiltaan omalta toiminnaltaan korkeat eettiset arvot.

### **2.1. Toimialat**

ABB:llä oli vuonna 2009 viisi liiketoimintayksikköä, jotka toimivat maailmanlaajuisella organisaatiollaan viidellä eri liiketoiminta-alueella. Nämä ovat Sähkövoimatuotteet, Sähkövoimajärjestelmät, Prosessiautomaatio, Robotit ja Automaatiotuotteet. ABB on organisoitunut voimakkaasti myös alueellisesti, mikä tarkoittaa maanosa- ja maatasolla olevia vastuu- ja yhtiörakenteita. Suomessa yhtymää edustaa ABB Oy. Kuvassa 2.1 on esitetty liiketoimintadivisioonat ja niiden vuoden 2008 henkilöstömäärät ja liikevaihto./2/



**Kuva 2.1** ABB yhtiön divisioonarakenteen liikevaihto ja henkilöstö vuonna 2008./2/

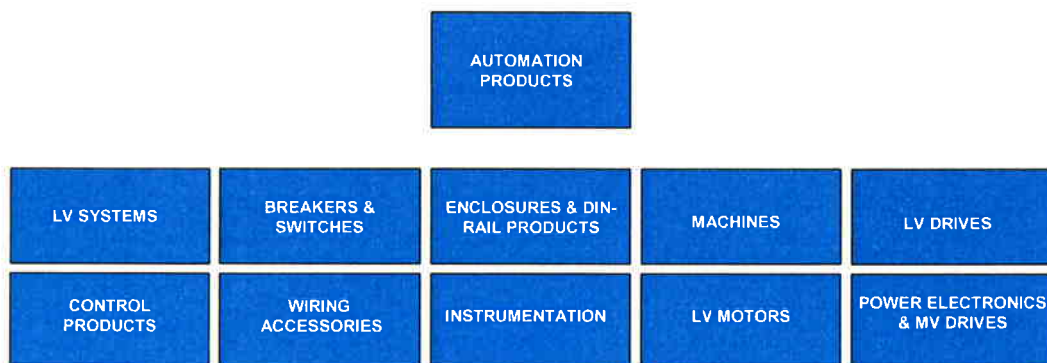
*Sähkövoimatuotteet* –divisioonaan kuuluvat ne tuotteet, jotka ovat keskeisessä osassa sähköenergian siirrossa ja jakelussa.

*Sähkövoimajärjestelmät* tarjoaa voimansiirtoon ja sähkönjakeluun liittyviä avaimet käteen -toimitettuja järjestelmiä ja palveluja.

*Prosessiautomaatio* toimittaa integroituja automaatio- ja tehdastietojärjestelmiä, jotka vaativat usein myös syvää prosessiosaamista eri teollisuuden toimialoille.

*Robotit* on pienin liiketoiminta-alue (2008) ja on keskittynyt robottisovellusten ja siihen liittyvän teknologian kehittämiseen ja valmistukseen.

*Automaatiojärjestelmät* –divisioonan valmistamia sähköteknisiä tuotteita ovat sähkökäytöt, sähkömoottorit, generaattorit, instrumentointilaitteet ja erilaiset analysointituotteet. Divisioona on organisoitunut (Kuva 2.2) siten, että alle 1000 voltin syöttöjännitteellä toimivien taajuusmuuttajien globaalista valmistuksesta vastaa LV Drives -yksikkö (Low Voltage Drives)./3/



**Kuva 2.2** ABB:n Automation Products – divisioonan organisaation rakenne kesäkuussa 2009. Vastuu taajuusmuuttajien valmistuksesta kuuluu LV Drives liiketoimintayksikköön./3/

## 2.2. Taajuusmuuttajan valmistus

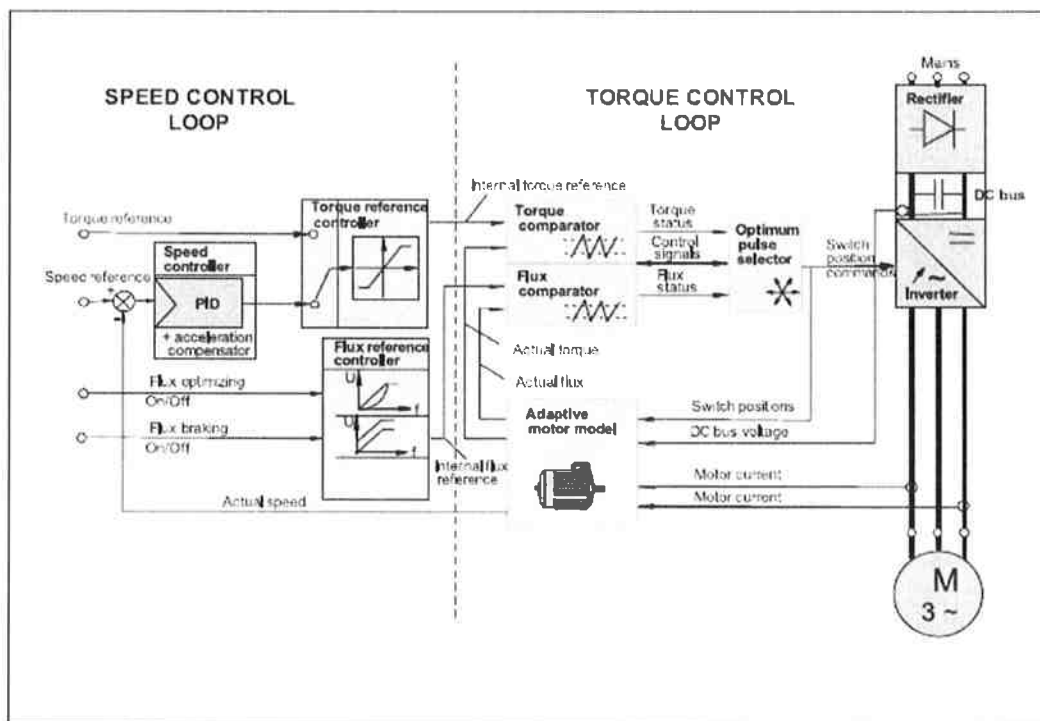
Suomessa staattisen puolijohdetekniikalla toteutettujen taajuusmuuttajan kehitystyöllä ja valmistuksella on jo kymmenien vuosien perinteet. Sotakorvausten kautta oli syntynyt paperikoneteollisuutta ja sähkömoottoriosaaninen oli korkealla tasolla. Kenttä oli valmis erilaisten säädettävien sähkökäyttöjen kehittämiseen, mikä johti lopulta ABB:n käyttämän taajuusmuuttajateknologian ylivertaisuuteen.

1970-luvulla Pitäjänmäen tehtailla pieni ja ennakkoluuloton Strömbergin tuotekehitysosasto aloitti tutkimalla tyristoritekniikalla toteutettua oikosulkumoottorin säätöä. Pulssinleveysmoduloitu tyristorilähtöaste oli mekaanisesti järeää tekoa, sillä etukojeet ja sähköiset apulaitteet mukaan lukien tyristorin kommutointiin tarvittavat kuristimet ja välipiirin komponentit olivat taajuusmuuttajan alussa hyvin suurikokoisia verrattuna nykyisiin teholtaan ja sähköisiltä ominaisuuksiltaan verrattuihin osiin. Ensimmäinen Strömbergin Suomessa valmistama taajuusmuuttaja oli tyypiltään SAMI A. Sysäyksen taajuusmuuttajan voimakkaaseen kehittämiseen Suomessa ohjasi Helsingin metro, jonka vaunujen oikosulkumoottorit olivat Strömbergin valmistetta ja näille moottoreille haluttiin sopiva säätäjä. Tehopuolijohteiden kehitys johti tehokkaimpiin yksiköihin ja sovelluksiin. Tyypillistä oli, että tuolloin tuotekehitystä ja eteen tulleita käytännön ongelmia ratkottiin asiakkaille toimitetuilla laitteilla. Laitteiden käyttöönotot olivat kestoltaan pitkiä ja intensiivisiä vaatien usein myös tuotekehityksen tiiviin osallistumisen. Tuon ajan suuret sähkö- ja elektroniikkayhtiöt kuten Siemens, BBC, AEG olivat lähteneet myös kehittämään oikosulkumoottorin ohjausta, mutta Suomessa oltiin jo tuolloin kansainvälisen kehityksen kärjessä huolimatta siitä, että omaa komponenttivalmistusta ei ollut./4/

Hilaohjattu GTO -tyristori käynnisti seuraavan taajuusmuuttajasukupolven laitteet komponenttien ja rakenteiden keventyessä. Digitaalitekniikan kehittyminen samanaikaisesti mahdollisti sen, että taajuusmuuttajan käyttöliittymä, vikadiagnostiikka ja perinteisen oikosulkumoottorin ohjauksen säätötarkkuusominaisuudet kehittyivät lähemmäksi tasavirtamoottorin ominaisuuksia.

Seuraavan vaiheen tekninen kehitysaskel perustui niin ikään tehopuolijohteen

ominaisuuksien paranemiseen 1990-luvun alussa. Nopea jänniteohjattu transistori (IGBT) pystyttiin valmistamaan sähkömoottorin ohjaamista silmällä pitäen teho- ja jännitteenkestoltaan riittävän tehokkaaksi. ABB:n tuotekehitykselle merkittävä saavutus oli nopeasti kehittyneen mikroprosessoritekniikan myötä mahdollistunut uusi tehpuolijohdekytkimien ohjausmalli, missä nopealla algoritmilaskennalla päästään aikaisempaa tarkempiin säätötarkkuuksiin. Kuvassa 2.3 on esitetty nykyaikainen momenttisäätöinen taajuusmuuttaja lohkokaaviotasolla. Nykyisen valmistuksen laajuudesta kertoo, että miljoonas ABB:n Standard Drive -sarjan taajuusmuuttaja valmistui joulukuussa 2008./5/



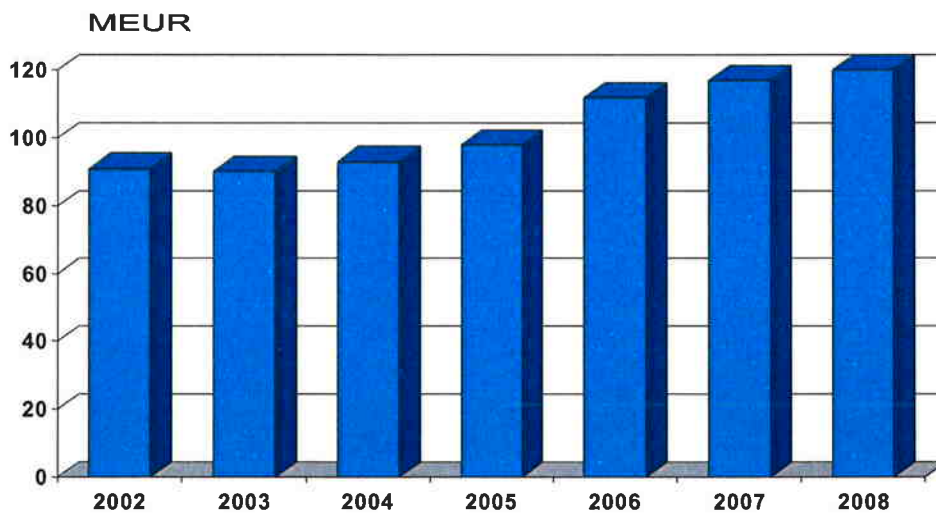
**Kuva 2.3** ACS600-tyyppin taajuusmuuttajan lohkokaavio, missä nopeus- ja momenttisäädöllä saavutetaan käytetyn moottorin moottorimallinnukseen perustuen erittäin hyvä säätötarkkuus ilman erillistä takaisinkytkentää./6/

### 2.2.1. Tuotekehitys

ABB on panostanut vahvasti edustamansa teknologian tuotekehitykseen kasvujohtoisesti. Kuvassa 2.4 on esitetty vuosien 2002 - 2008 kehityspanostukset Suomessa. Innovaatioiden tuloksena on syntynyt mm.. vedenalaisia muuntajia käytettäväksi jopa kolmen kilometrin



syvyydessä, uuden sukupolven potkurijärjestelmän Azipod® -tuotteita ja erilaisia sähköjakelujärjestelmiin liittyviä tuotteita. Niin ikään LV -taajuusmuuttajatyyppejä on kehitetty usealle segmentille, mistä toiminnosta on vastannut ABB:n Pitäjänmäen tehtaat Helsingissä. Osoitus kotimaisesta korkeasta teknologiaosaamisesta on, että Suomen toiminnot ovat vastuussa kaikista ABB:n valmistamista LV-taajuusmuuttajista globaalisti siitä huolimatta, että varsinainen laitevalmistus ja kokoonpano tehdään Suomen ulkopuolella.



**Kuva 2.4** ABB Oy:n tuotekehityspanostukset Suomessa yhteensä vuosina 2002 - 2008. /2/

Taajuusmuuttajien tuotekehitys on kasvanut muutaman hengen osastosta useampien satojen ihmisten organisaatioksi, jossa on voitu hyödyntää vuosien kokemus ja jonka vastuut ja toiminnallisuudet ovat selkeästi jaettu. Nykyisin oikosulkumoottorin ohjaus ja säätö hallitaan teknisesti, jolloin panostus onkin painottunut viime vuosina erilaisten käyttöliittymien ja sovellusmallien kehittämiseen. Taajuusmuuttajan integraatioastetta nostetaan jatkuvasti ja myös yleisten kaupallisten sovellusten yhteensopivuutta, kuten esimerkiksi muistikorttien käyttöä, seurataan laitteen tuotekehityksessä. Yhä merkittävämmässä asemassa on erilaisten sovellusohjelmistojen ja työkaluohjelmien kehittäminen.

Kehitystyön yksi tärkeä elementti on ollut tehdä jatkuvaa yhteistyötä yliopistojen ja tutkimuslaitosten kanssa, minkä seurauksena ovat lukuisat opinnäytetyöt ja

tutkimushankkeet. Kehitystyölle on ominaista myös osallistuminen yhtymän omiin sekä kansainvälisiin foorumeihin, missä voidaan vaikuttaa teknologisiin ratkaisumalleihin ja sitä kautta syntyviin kansainvälisiin standardeihin. Yhteistyö loppukäyttäjän kanssa tuotekehitysvaiheessa on ollut merkittävässä asemassa Suomessa jo silloin, kun ensimmäisten sähkökäyttöjen teknisiä ratkaisuja määriteltiin ja joiden pohjalta onnistuttiin luomaan kansainvälisesti ylivertaisia tuotteita. Laitemäärien ja tuotantomenetelmien takia nykyinen laitesuunnittelu pohjautuu vakioituihin malleihin ja ratkaisuihin, jolloin erikseen toteutetusta sovellus- tai asiakaskohtaisesta tuotekehityksestä ollaan luopumassa.

### **2.2.2. Kokoonpano**

Suomessa taajuusmuuttajien kokoonpano tehdään kokonaisuudessaan Helsingissä Pitäjänmäen E-tehtaalla. Eri laitesukupolvia ja rakenteita varten ovat omat linjastot, joissa valmistuva laite etenee kokoonpanovaiheesta seuraavaan päätyen lopulta lopputarkastukseen ja koestuksen jälkeen pakkaamon kautta asiakkaille lähetettäväksi. Taajuusmuuttajan rakenteet ovat jo kokonsakin puolesta erilaiset, mikä merkitsee sitä, että kokoonpanolinjojen rakenne ja puolivalmiiden laitteiden siirtely poikkeaa toisistaan. Painoltaan kevyemmät laitteet voidaan käsitellä rullaradoilla, kun taas suuremmat yksiköt tai moduulit, painoltaan jopa useita satoja kiloja, siirtyvät asennuspisteeltä toiselle lattiatasolla. Erityispiirteenä Pitäjänmäen tehtaalla on kokoonpanolinja, missä laitteiden liikuttelu toteutetaan robottien toimesta (Kuva 2.5). Valmistettavat laitemäärät ovat verrannollisia laitteen fyysiseen kokoon, mikä taajuusmuuttajayksikön tai moduulin tapauksessa tarkoittaa samassa suhteessa myös sähköistä tehoa.

Kaikissa laitetyypeissä kokoonpanolle on tunnusomaista suuri käsityön tarve johtuen siitä, että laitteet rakentuvat sellaisista rakenteista ja komponenteista, joiden monimuotoisuuden takia ei kokoonpanolinjaa voida niiltä osin automatisoida. Tällaisia kokoonpanovaiheita ovat piirikorttien kiinnittäminen ja liittäminen, sisäisten kaapeleiden kytkentä sekä kojeiden asennus. Kokoonpano tehdään useina työvaiheina hyödyntämällä esimerkiksi enakkoon koottuja modulaarisia rakenteita tai esimerkiksi osittain kytkettyjä johtosarjoja.



**Kuva 2.5** Kuvassa ABB:n taajuusmuuttajia valmistava elektroniikkatehtaan (E-tehdas) tuotantolinjaa Pitäjänmäellä. © Copyright ABB 2010.

Lähes kaikki toimitettavat laitteet ovat jo kokoonpanon alkaessa asiakkaan tilaamia taajuusmuuttajayksiköitä. Toimitusmyynnin seurauksena laajan tuotemalliston edellyttämä pääoma saadaan optimoitua. Yleisimpiä tyyppi-, teho- ja jänniteluokkia saatetaan tehdä kuitenkin jossain määrin varastotuotteeksi sillä perusteella, että niiden perusmenekki on ennustettavissa.

Kokoaminen alkaa käytännössä identifioimalla laite kokoonpanotunnisteella ja sarjanumerolla jo ennen ensimmäistä työvaihetta. Valmistuksen aikana syntynyt laitekohtainen dokumentti sisältää tiedot mm. tilaajasta, tekniset määrittelyt, elektroniikkakortit sarjanumeroineen, suurimmat yksittäiset komponentit ja ohjelmistot, mitkä on laitteen kokoonpanoon käytetty. Kokoaminen alkaa rungosta, mikä toimii samalla jäähdytyslementtinä puolijohteille ja muille suurempia lämpöhäviöitä muodostaville laitteenosille. Valmistus päättyy koestukseen, missä laite käy läpi sähköisen testauksen liitännöiden osalta sekä pääpiirin toiminnallisuustestin. Kytkenäliittimet ja automaattinen testaussekvenssi on toteutettu siten, että laitteeseen voidaan kytkeä ohjaus- ja pääpiiriliiännät kokoonpanossa hyödynnetyn kytkentäalustan kautta.

Suomessa valmistetaan tällä hetkellä sarjatuotantona tyyppimerkiltään erilaisia taajuusmuuttajia erilliskäyttöyksiköinä sekä linjakäyttömoduuleina. Teholuokka ulottuu muutaman kilowatin laitteesta tuhansien kilowattien rakenteisiin sekä syöttöjännitteen jännitealue vastaavasti aina 690 volttiin saakka. Valtaosa valmistettavasta laitteistosta on jäähdystystavaltaan perinteistä ilmajäähdysteistä rakennetta, joskin viime vuosina ovat hyvien käyttökokemusten siivittämistä yleistyneet vesijäähdysteisten laitteistojen toimitukset.

Ennen varsinaisen sarjatuotannon käynnistämistä on laitteesta saatettu tehdä useitakin prototyypiversioita, joille on niin ikään jo tehty sekä tyypitestauksia että tuotekehitysprosessiin kuuluvia luotettavuusselvityksiä. Loppukäyttäjille on toimitettu valikoituihin kohteisiin erä uuden laitetyypin pilottiversioita, joiden toiminnasta hankitaan viimeisiä kenttäkokemuksia ennen sarjatuotannon alkamista. Tyypillisesti pilottilaitteet päivitetään myöhemmin virallisiksi sarjatuotantolaitteiksi ja koekäytössä olleet laitteet toimitetaan valmistajalle tarkastettavaksi.

Valmistuksen laadunvalvonta jakaantuu käytettävien piirikorttien ja komponenttien laadunvalvontaan sekä toisaalta laitteen loppukoestukseen ennen sen pakkaamista lähetyskuuntoon. Osatoimituksilta edellytetään sovittuja laatuksiteereitä, mitä seurataan ja kehitetään jatkuvasti siten, että alihankkija on mukana osana luotettavuusprosessia. Taajuusmuuttajayksikön loppukoestuspöytäkirjat tallennetaan järjestelmään, mistä ne ovat tarvittaessa haettavissa.

### **2.2.3. Tuotetuki**

ABB:n valmistamien taajuusmuuttajien tuotetuki on ollut Suomessa yhtiön oman organisaatorakenteen vastuulla. Laitteen ollessa vielä sarjatuotantovaiheessa, vastaa valmistava tehdas omalta osaltaan laitteen myynnin jälkeisestä tuotetuesta. Tuotetehtas organisoii kriittisten ongelmaratkaisujen takia teknisen tuen 24/7 puhelintukena sekä sähköpostilaatikkopalveluna. Tuotepäällikön vetämä palvelu on tarkoitettu ABB:n oman henkilöstön maailmanlaajuisesti tekniseksi tukipalveluksi, missä asiantuntijat pystyvät

nopealla vasteella auttamaan sellaisissa laitekohtaisissa ongelmatilanteissa, mihin liittyy mahdollisesti uuden tuoteperheen syvempi osaaminen. Samalla suorat kenttäpalautteet valmistavaan yksikköön voidaan nopeasti huomioida jopa laitteen ominaisuuksien tai valmistusprosessin kehittämiskohteina.

Sarjatuotantovaiheessa kentältä saadut palautteet, lähinnä takuuasioiden muodossa, käsitellään, mutta prosessi on suhteellisen hidas ja mahdolliset kehityskohteet tulevat esille vasta usean viikon tai kuukausien kuluttua laitteen käyttöönotosta.

### **2.2.3.1. Product Support**

Suomessa ABB Oy Product Support -yksikkö on LV taajuusmuuttajien tuotevastuussa siitä hetkestä eteenpäin, kun laitteen varsinainen sarjatuotanto on päättynyt. Koska tekninen tuotevastuu siirtyy jossain vaiheessa valmistavalta tuotevalmistusyksiköltä Product Supportille, on sillä edustus jo suunnitteluvaiheessa laitteen tuotekehitysympäristössä. Keskeisinä rooleina ovat tällöin uudelle laitteen kunnossapitotoimenpiteiden, varaosien ja nimikkeiden määrittelyt. Tuotevastuussa Product Support suunnittelee kullekin taajuusmuuttajatyypille sen elinkaaren tuotetuen sekä vastaa sen edellyttämistä tukipalvelutoiminnoista.

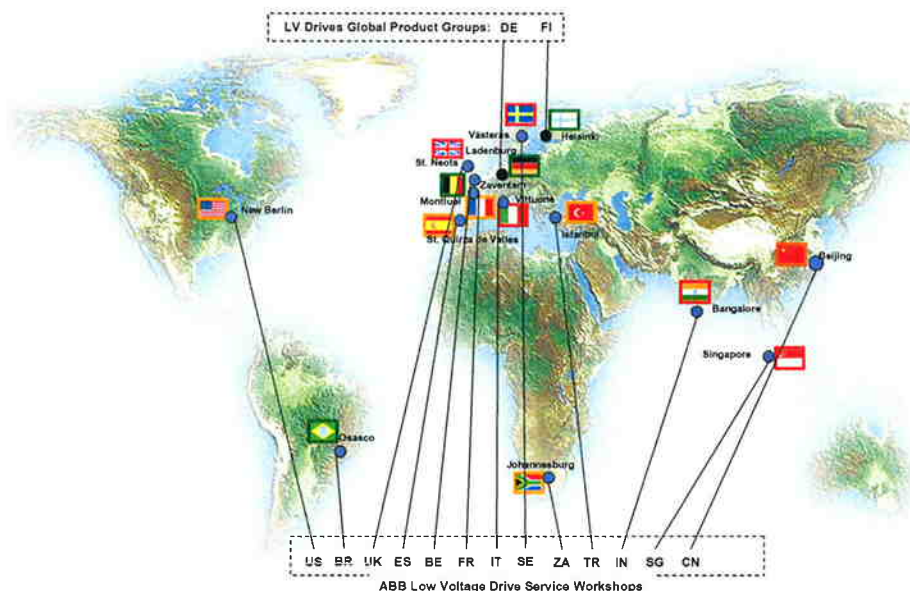
Laitteen käyttövarmuutta ylläpitäviä elinkaaripalveluita ovat mm:

- Valmistavien yksiköiden tuotetakuiden käsittely
- Etätuki (puhelin, sähköposti)
- Käyttöönottopalvelut
- Ennakkohuolto, määräaikaishuoltojen suunnittelu
- Retrofit- ja päivitystuotteiden määrittely
- Laitetekninen asiakas- ja huoltokoulutus
- Laite- ja varaosakorjaus
- Varaosavalmiuden ylläpito

Product Support ei yhtiön toimintastrategian mukaisesti tuota palveluja suoraan loppuasiakkaille, lukuun ottamatta tiettyjä asiakaskoulutuspalveluja, vaan maailmanlaajuisesti paikallisille LABB -yhtiöille. Tekninen tuki on toteutettu siten, että tarvittaessa loppuasiakkaan yhteydenotto ohjautuu maatasolla paikalliseen huoltoyksikköön, joka voi ottaa yhteyttä Product Supportin ylläpitämään palveluun.

Product Support vastaa uusien taajuusmuuttajatyyppeiden varaosakannan ja tuotepakettien määrittelystä sekä tekee sopimukset alihankkijoiden kanssa. Huoltovaraosien ostokanava on toteutettu nykyisin myös internet-liittymänä.

Varaosakorjaus on keskitetty siten, että vastuu korjauspalveluista on siellä, missä laite on valmistettu. Kuvassa 2.6 on esitetty ABB:n Low Voltage -taajuusmuuttajien korjaamot maailmanlaajuisesti. Tiedot korjaustoimenpiteistä sisältäen vian syyluokituksen, vialliset ja päivitetyt komponentit, rekisteröidään ABB:n käyttämään SAP-tuotannonohjausjärjestelmään. Tietokannasta materiaali on edelleen hyödynnettävissä luotettavuuden ja käyttövarmuuden suunnitteluun. Takuuseuranta raportoitu tuotetehtaalle edelleen tämän järjestelmän kautta.



**Kuva 2.6** ABB LV Drives tuotevastuut ja korjaamot maailmanlaajuisesti 2009./7/

### 2.2.3.2. Service

ABB:n synty yhdisti Suomessa toimineet aikaisemmin toistensa kilpailijoina olleet ASEA:n Strömbergin ja BBC:n huoltoverkoston, minkä jälkeen Suomessa kunnossapitotoimintoja on perinteisesti edustanut yhtiön oma huolto-organisaatio. ABB Oy Service edustaa loppuasiakasrajapinnassa laitteen huolto- ja tukipalveluja, mutta yhtiön strategian mukaisesti on tehty myös sopimuksia palvelujen yhteistyömallista paikallisten sertifioitujen toimijoiden, ABB:n yhteistyökumppanien, DAP:ien kanssa (Drive Alliance Partner).

Suomen Service toimii paikallisesti edustettuna noin 40 paikkakunnalla, missä huoltoalueiden myös suurimmat toimipaikat ovat valtuutettuja taajuusmuuttajien huoltopalvelujen tuottajia. Suomessa taajuusmuuttajien huolto ja sen kattavuus on poikkeuksellista siinä mielessä, että huolto on toiminut yhteisen historian ja kielen takia suhteellisen läheisessä yhteydenpidossa laitteen valmistukseen ja sitä kautta myös suunnitteluun. Lisäksi vahva asennettu laitemäärä on tukenut huolto-organisaation toiminnan kehittämistä. Taajuusmuuttajan elinkaaren aikainen tuotetuki sisältää seuraavia toimintoja:

#### Laitetakuu

Taajuusmuuttajan takuuhuolto kattaa valmistajan takuunalaisten laitteiden vikakorjauksen asennuspaikalla, korjauksena korjaamalla tai uusimalla laite. Valmistustakuu taajuusmuuttajalle tai sen yksikölle on 24 kuukautta valmistuksesta ja 12 kuukautta laitteen käyttöönotosta. Valmistavan tehtaan takuuohjeistus määrittelee laitetyypeittäin toimintamallin, minkä mukaan sopivin menettely on nähty kokonaisuuden kannalta parhaimmaksi vaihtoehdoksi. Korjaustyöhön käytettävä maksimiaika ja -kustannukset ovat tarkasti määritelty, jotta valmistaja pystyy hallitsemaan laitekohtaisten takuukustannusten rakennetta. Takuutapauksessa korjaavat toimenpiteet riippuvat laitteen koosta tai sen rakenteesta. Käytännössä pienet yksiköt, esimerkiksi tiettyyn runkorakennekokoon saakka, vaihdetaan uuteen laitteeseen, mikäli pikainen vikadiagnostiikka ei osoita laitteen vian johtuvan syystä, minkä korjaaminen on vielä taloudellisesti perusteltua. Suuremmat laiteyksiköt ja moduulit, joiden irrottaminen ja vaihto asennuspaikaltaan uuteen yksikköön, on käytännössä mahdotonta, korjataan normaalisti käyttöpaikallaan. Takuutyöt raportoidaan sisäisen direktiivin mukaisesti kirjallisesti.

### Kompetenssi

Taajuusmuuttajan huoltohenkilön ammatillisen osaamisen rekisteröintiin on otettu käyttöön 2000- luvun alussa osaamisenhallintajärjestelmä PCS (Personal Certification System). Laitetyyppikohtaiset osaamistasot on määritelty kolmelle laajuudelle, joita ovat perusvaatimustasona Basic, Expert ja ylimpänä Master -taso. Master edellyttää erittäin syvällistä ja yksityiskohtaista osaamista sekä erittäin laajaa kenttäkokemusta. Järjestelmän kautta voidaan monitoroida osaamistasoja ja hakea sopivia osaamisresursseja maailmanlaajuisesti.

### Päivystyspalvelu 24/7

Suomen asiakkaiden ABB:n sähkökäyttöjen viankorjauspalvelu on varmistettu 24 tunnin päivystyspalveluna, missä sähkökäyttöjen kunnossapitoon erikoistunut henkilö on tavoitettavissa puhelimen välityksellä ympäri vuorokauden vuoden jokaisena päivänä. Normaalin työajan ulkopuoliset ongelmat pyritään korjaamaan ensisijaisesti teknisenä puhelintukena, mutta tarvittaessa voidaan toimittaa varaosia suoraan käyttökohteeseen sekä hälyttää ABB:n huoltohenkilöstöä vastaavasti paikan päällä tehtävään viankorjaustyöhön. Päivystyspalvelun veloitusperusteet tilaajalta määräytyvät sovitun vasteajan mukaisin perustein, missä tyyppillisiä ovat 6, 12 ja 24 tunnin vasteajat.

Support Line on palvelu, minkä kautta ABB antaa teknistä puhelintukea loppukäyttäjille tai ABB:n omalle kenttähuoltohenkilöstölle. Tekninen kysely voidaan tehdä myös nykyisin internetin välityksellä. Yksinkertaisemmat tekniset kyselyt ja ongelmatilanteet pyritään kartoittamaan ja selvittämään nopealla vasteajalla. Mikäli ongelman ratkaisu niin vaatii, ohjataan yhteydenotto paikalliselle ABB:n huoltohenkilölle.

### Kunnossapito

Service tuottaa valmistajan edustajana kentällä tehtävät taajuusmuuttajan käyttöönotto-, viankorjaus- ja ennakkohuoltopalvelut tuotetuen aikaiselle elinkaaren ajalle kattaen lisäksi päivitys-, modernisointi- ja retrofit -toiminnot. Viankorjaus perustuu pääasiallisesti asiakkaan suoriin yhteydenottoihin. Ennakkohuoltopalvelut sisältävät valmistajan määrittämät huoltovaraosat ja toimenpiteet, joilla varmistetaan taajuusmuuttajan toimintavarmuus. Päivitys käsittää ne toimenpiteet, joiden seurauksena saadaan uusimpien ohjelmaversioiden avulla esimerkiksi säätöön parannettuja ominaisuuksia. Modernisoinnin



perusteena on uudemman teknologian osittainen soveltaminen olemassa olevan taajuusmuuttajan tiettyyn toiminnalliseen kokonaisuuteen. Retrofit edustaa toimitusta, missä aikaisemman sukupolven laitemoduuli korvataan uusimman tyyppin taajuusmuuttajayksiköllä. Samassa yhteydessä teknologia päivittyy, mutta kojeiston runko, kenttä- ja moottorikaapelointi pysyvät ennallaan, mikä pienentää investointikustannuksia verrattuna kokonaan uuteen sähkökäyttöön. Samassa yhteydessä voidaan päivittää esimerkiksi käyttöryhmän tehotarve, jolloin retrofit -moduuli määritetään optimoidusti moottorin uuden tehotarpeen mukaisesti.

### **2.3. ABB:n laiterekisteritietojärjestelmät**

Huolimatta siitä, että ABB oli vahva toimija taajuusmuuttajatuotteiden valmistajana ja tiettyjen laitekokoluokkien markkinajohtajana, huomattiin 2000 -luvun alussa, että yhtiöllä ei ollut systemaattista tietoa kaikista valmistamistaan ja toimittamistaan laitteista. Eri yksiköillä oli ollut erilaisia ja eritasoisia tiedostoja ja kirjastoja toimittamistaan laitteista tai projekteista - tosin kauppaa-arvoltaan tai kriittisyydeltään suurimmat toimitukset tiedettiin kohtuullisen hyvin. Taajuusmuuttajavalmistuksen alkuaikoina riitti hyvinkin kortistomuodossa ollut tietokanta laitemäärien ollessa pieniä ja yleisesti tiedossa, niin toimituskohteiden kuin kokoonpanojen suhteen. Nykyisin kymmenien, jopa satojen tuhansien laitteiden vuosivalmistus edellyttää vastaaville elinkaaren aikaisille tuotetukitoiminnoille tehokkaammat työkalut ja toimintamallit. Valmistettujen laitteiden laiterekisteristä on nähty olevan hyötyä kunnossapitopalveluja tuottavalle toiminnalle, mutta ennen kaikkea asennetun laitekannan perusteella tapahtuvalle palvelujen jälkimarkkinoinnille. Tietotekniikkasovellusten kehittyessä ja parantuessa on tietojen päivittäminen ja seuraaminen tullut mahdolliseksi niin valmistus-, myynti- kuin kunnossapitoprosessien osalta.

### 2.3.1. Installed Base

Installed Base on ABB:n sisäiseen käyttöön suunniteltu internetkäyttöliittymäportaali, jonka tarkoituksena on toimia ABB:n Suomessa valmistettujen taajuusmuuttajien laiterekisterinä. Rekisterin sisältämä tieto perustuu E-tehtaan SAP - tuotannonohjausjärjestelmään, mistä laitteen valmistus- ja kauppatiedot sekä laitteiden koestuspöytäkirjat siirretään sovelluksen kautta kyseiseen tietokantaan. Taajuusmuuttajayksikön tai -moduulin sarja- tai kaupanumeron mukaan on käytössä esimerkiksi kokoonpanovaiheen valmistustiedot, kuten elektroniikkakorttien tyypit, versiot ja sarjanumerot, puolijohteiden tyypit, toimituksen ohjelmaversiot, osto- ja valmistuspäivämäärä. Viankorjaustilanteessa laitekohtaisen sarjanumeron mukaan kyseiseen rekisteriin tukeutuminen voi ratkaisevasti helpottaa tarvittavien varaosien tyyppien ja määrien määrittelyssä. Mikäli laitteen kokoonpano on muuttunut käyttöpaikalla, ei kyseisiä muutoksia pystytä tällä hetkellä kuitenkaan päivittämään jälkikäteen Installed Base -järjestelmään./8/

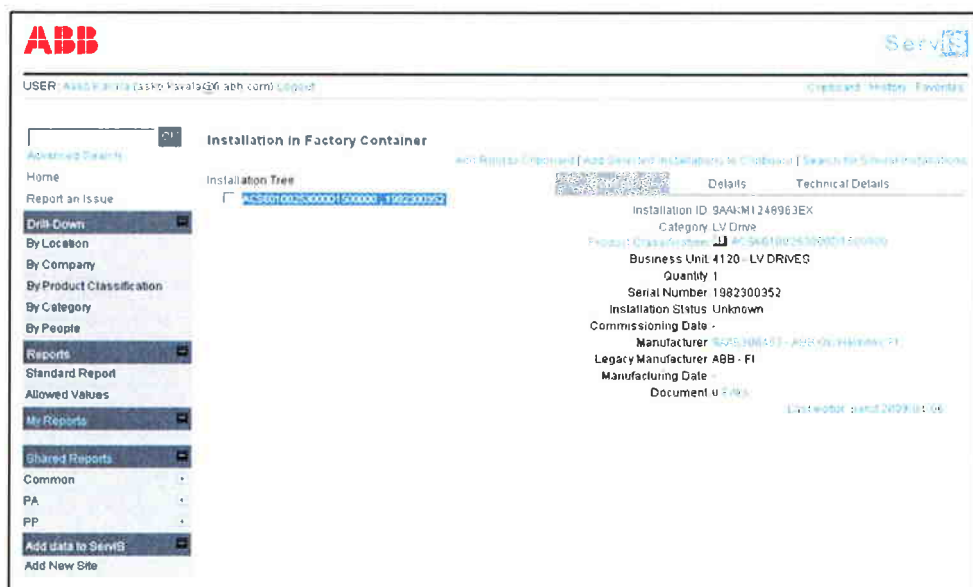
Kannan ominaisuuksiin on määritelty toiminnot, missä käyttöönotto- ja huoltoraportti voidaan tallentaa dokumenttina kyseisen laitteen kohdalle liitetiedostoksi. Lisäksi laitteen käyttöpaikka- ja asiakastiedot on mahdollista rekisteröidä järjestelmään. Työkalu on koettu käyttökelpoiseksi uusien laitteiden sarjanumeron tai kaupanumeron perusteella tehtävissä kokoonpanoselvityksessä ja sitä onkin tällä hetkellä hyödynnetty etenkin laitetakuiden yhteydessä, kun halutaan varmistaa laitteen valmistuksenaikainen kokoonpano ennen korjaustyön aloittamista. Projektitoimituksien käyttämät moduulirakenteiden sarjanumerotunnisteet poikkeavat ja niiltä osin Installed Base ei pysty tuottamaan suoraan vastaavaa teknistä tietoa, vaan se on niissä tapauksissa selvitettävä erikseen.

Installed Base -kannan rakennetta kehitetään edelleen siten, että siihen pystytään liittämään tuotetuen kannalta tarpeellista informaatiota, kuten esimerkiksi laajennetun takuun laitekohtainen rekisteröinti. Taajuusmuuttajien osalta rekisteristä ja sen kehittämisestä vastaa Suomessa ABB Oy Product Support.

### 2.3.2. ServIS

ServIS on niin ikään internetkäyttöliittymällä toteutettu voimakkaassa kehitysvaiheessa oleva sovellus, minkä tarkoitus on olla ABB:n toimittamien laitteiden kattavana laiterekisterinä. Laitekantaan rekisteröidään yksilöityinä komponentteina niin sähköjakelujärjestelmien suurmuuntajat kuin automaatiojärjestelmien instrumentointilaitteetkin. Tällä hetkellä tiedon syöttö järjestelmään tapahtuu manuaalisesti ja riippuen käytössä olevan tiedon tarkkuudesta, voidaan sovelluksella selvittää esimerkiksi sarjanumeron perusteella laitteen tekniset ominaisuudet, kuten toimitusaika, myyntikanava ja toimituksen yhteyshenkilöt. Laitteesta voidaan tällä hetkellä lisäksi dokumentoida käyttöpaikkatietoja ja huoltohistoriaa.

Systemaattisen järjestelmätiedon etuna on siitä saatava raportointi. Kantaa voitaisiin hyödyntää esimerkiksi alueellisesti tai asiakaskohtaisesti, tarkastella tietyn teknisten ominaisuuksien omaavien laitteiden määrää tai vaikkapa kohdentaa tietojen perusteella esimerkiksi ohjelmistopäivityksiä määritellylle laiteryhmälle. Vastaavasti asennus- ja käyttötietojenperusteella pystyttäisiin arvioimaan paremmin huoltopalvelun tarpeet tulevaisuudessa./9/



**Kuva 2.7** ServIS laiterekisteri on ABB:n web-pohjainen käyttöliittymä, missä on monipuoliset raportointi- ja hakutoiminnot sekä linkit muihin ABB:n järjestelmiin./8/

## 2.4. Taajuusmuuttajan ABB elinkaarimalli

ABB on ottanut käyttöön vuosituhannen alusta taajuusmuuttajan tuotetuen hallintaan elinkaarimallin, minkä mukaan suunnitelluilla tuki- ja kunnossapitopalveluilla on tarkoitus hallita ja parantaa tuotteen käytettävyyttä. ABB:n edustamien taajuusmuuttajien laitekanta on ollut laaja johtuen yhtiön syntyhistoriasta. Elinkaaren hallita varmistaa, että siirtyminen seuraavan tai uuden sukupolven taajuusmuuttajaan onnistuu tuotetuen kannalta mahdollisimman saumattomasti. Laitoksen arvon säilyminen huomioidaan nykyisin kunnossapidon strategiasuunnittelussa, mikä edellyttää tehokasta suunnitelmallista kunnossapitoa ja ennakoivaa korvaavien laitteiden investointisuunnittelua. Taajuusmuuttajan elinkaari on jaettu ABB:n mallissa neljään vaiheeseen, joita ovat: *Active*, *Classic*, *Limited* ja *Obsolete*./11/

Elinkaaren *Active* -vaihe, mitä ABB:n esityksissä kuvataan sinisellä värillä, määrittää taajuusmuuttajatuotteen elinkaaren sitä tilannetta, missä laite on varsinaisen tuotekehitysvaiheen jälkeen vapautettu myyntiin. Tuoteperhe on tällöin tyypillisesti sarjatuotannossa ja tuotetta kehitetään edelleen. Tämän vaiheen tila kestää tuoteperheestä riippuen noin 3 -10 vuotta.

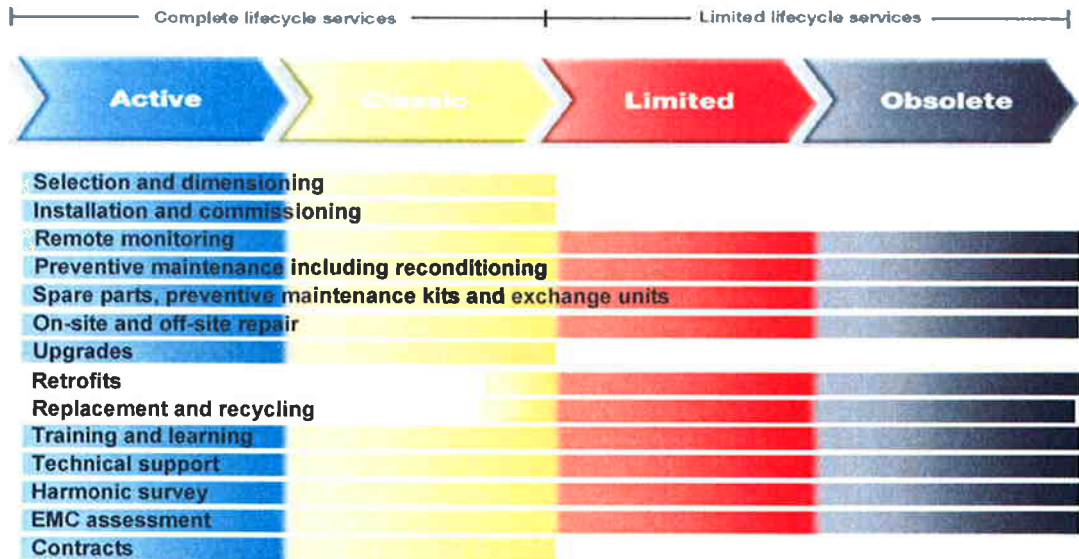
Sarjatuotannon päätyttyä elinkaaristatus muuttuu *Classic* -tilaan, jolloin laitteen saatavuus toteutetaan toimitusmyyntinä valmistusprosessin ollessa erillisenä kokoonpanotyönä tehtyä yksittäisvalmistusta. Uusien laitteiden ominaisuuksia kehitetään ja laitteisiin voidaan tehdä myös teknisiä päivityksiä. Laitteen tuotetuki on tässä vaiheessa kattava sisältäen laitteen hankintaan liittyvää tukea mitoitukselta perinteisiin kunnossapitopalveluihin ja laitekoulutukseen. *Classic* -vaiheen pituus ABB:n valmistamalle taajuusmuuttajalle vaihtelee laitetyypeittäin yleensä noin 3 – 10 vuoteen.

Laitteen elinkaaren kannalta merkittävä tila on punaisella värillä kuvattu *Limited* -vaihe, jolloin laitetta ei enää valmisteta ja sen tuotekehitys on myös lopetettu. Tämän vaiheen yhteydessä on kuitenkin mahdollista tehdä vielä teknisiä parannuksia päivittämällä laitteen ominaisuuksia. Valmistaja takaa *Limited* -laitteelle täyden varaosavalmiuden. Kunnossapitotoiminnot ovat myös käytettävissä täysin, vaikkakin laitteen elinkaaren kannalta suositellaan usein taajuusmuuttajan uusimista uuden tuoteperheen laitteella.

*Limited* -vaiheen tyypillinen pituus on aikaisemmin esitettyjä vaiheita lyhyempi jään laitteesta riippuen 3 - 5 vuoteen.

Elinkaaren tila siirtyy *Obsolete* -vaiheeseen, kun sen kattava tuotetuki on puutteellinen, laitteen teknologia on vanhentunut jo siinä määrin, että sitä ei ole enää saatavilla tai laitteen kunnossapito ei ole kustannussyistä perusteltua. Kuvissa *Obsolete* on kuvattu mustalla värillä. Uusien varaosien saatavuutta ei pystytä enää täydellisesti takaamaan, mutta korjauspalvelut toimivat vielä täysin. Varaosien saatavuus voi perustua yksittäisten komponenttitoimittajan kyseisen osan tai rakenteen valmistuksen loppumiseen. Taajuusmuuttajan ohjaukseen liittyvät laitteet ja ohjelmistot kehittyvät hyvin voimakkaasti, jolloin esimerkiksi huoltotyökaluina vaadittujen henkilökohtaisten tietokoneiden käyttöjärjestelmien vaihtuminen saattaa rajoittaa laitteen teknistä tukea vastaavasti.

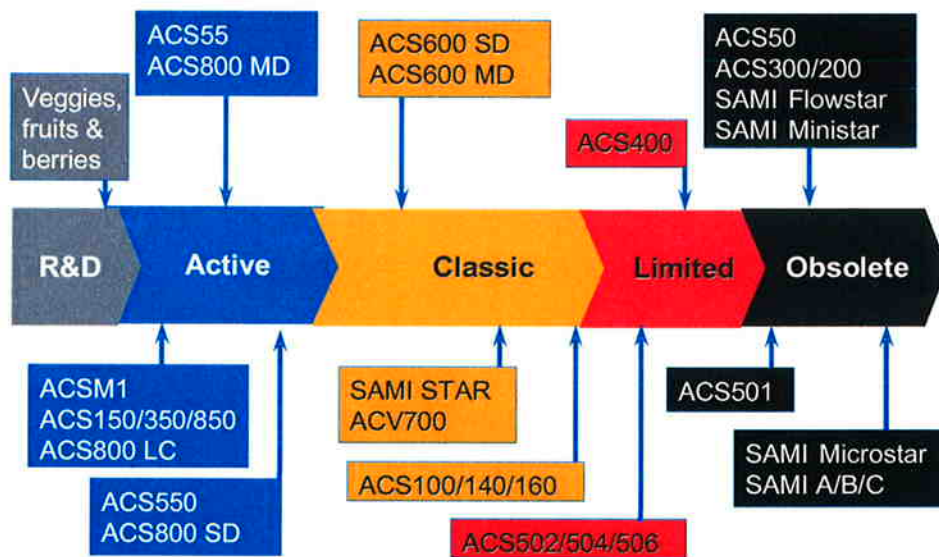
Taajuusmuuttajan tekninen tuki voi kestää yli 20 vuotta, mutta on tosin laitetyyppejäkin, joiden elinkaari on ollut ainoastaan muutaman vuoden mittainen. Tällaiset tyyppiperheet edustavat yleensä pienempiä teho- ja kokoluokkia sekä yksinkertaisiin sovelluskohteisiin tarkoitettuja laitteita.



**Kuva 2.8** ABB:n taajuusmuuttajalle tarjottavat tuotetukipalvelut sen eri elinkaaren vaiheissa: Active, Classic, Limited, Obsolete. Elinkaaren aikainen tuotetuki on jaettu täyden ja rajoitetun tuotetuen vaiheeseen./11/

Kuvassa 2.8 on kaaviona ABB:n käyttämät elinkaaren vaiheet eri väreillä kuvattuna. Elinkaaren tuotetukipalveluja on määritetty kunkin vaiheen osalta kuvaten kyseisen palvelun saatavuutta. Tuotetuki on kattavimmillaan luonnollisesti laitteen elinkaaren alussa. Valmistusajan päättymisen jälkeen kaikki tuotetukipalvelut eivät ole käytettävissä, jolloin puhutaan rajoitetusta tuotetuesta. Koska laitteen tuotetuki kattaa elinkaaren vaiheita välille *Active* - *Obsolete*, tuotesuunnittelun on otettava kantaa hyvissä ajoin siihen, milloin seuraava taajuusmuuttajatyyppejä olisi valmis ja kuinka korvattavan tuotteen omistajuus siirretään ABB:llä *Active* -vaiheesta *Classic* -vaiheeseen siirryttäessä.

Kuvassa 2.9 on esitetty joidenkin Suomessa valmistettujen taajuusmuuttajatyyppejäperheiden suhteelliset elinkaaristatukset väreillä koodattuna. Suunnitteluvaiheessa on kullakin uudella tuotteella työnimi, millä tuotekehitys ja valmistuksen suunnittelu viedään projektimaisena toimintona läpi. Valmistava yksikkö määrittelee teknisen tuotetuen suuntaviivat laiteperheen siirtyessä elinkaarimallissa jatkossa tuotetuesta vastaavalle yksikölle.



**Kuva 2.9** Taajuusmuuttajan siirryttyä suunnitteluvaiheesta sarjatuotantoon, kuvataan sen tuotetuen mukaista statusta värikoodein. Kuvassa on ABB:n yleisimpiä Suomeen asennettuja taajuusmuuttajatyyppejä 2009 tilanteen mukaan./12/

ABB:n käyttämässä taajuusmuuttajan elinkaaren suunnitelmaa kuvaavassa työkalussa on

esitetty hetki, jolloin kukin tuoteperheen elinkaaristatus vaihtaa tilaa (Kuva 2.10). Samalla laitesukupolvella voi olla erilaisia elinkaarivaiheita riippuen laitteen kokoluokasta tai siinä käytettyjen yksittäisten komponenttien saatavuudesta. Elinkaarenhallinnassa otetaan myös huomioon laitekannan levinneisyys sekä sen merkitys loppukäyttäjien prosessien kannalta. Esimerkiksi Suomessa jo Strömberg -yhtiön aikana tuotekehitetyn ja aina vuoteen 1998 sarjatuotantovalmistuksessa ollut SAMI F -tyypin taajuusmuuttajan elinkaari on käytetyn teknologian mittapuun mukaan pitkä. Osasyynä tällaiseen pitkäaikaiseen tuotetuen ylläpitoon on se, että toimitetut laitteet on otettu käyttöön projekteissa hyvinkin kriittisiin sovelluskohteisiin konstruktion ollessa yhä edelleen luotettava. Esimerkkitapauksessa uuden teknologian taajuusmuuttaja edellyttäisi usein myös oikosulkumoottorin uusintaa tai päivitystä ja tapauksesta riippuen uutta moottorikaapelointia, mikä saattaa nostaa investointikustannuksia ylläpitoon verrattuna moninkertaisesti.

ABB		ABB Automation Products					Page											
Issued by	Document	Date of issue	Valid until	Language	Revision	Distribution	1(3)											
Lifecycle Phase Status					Legend: A=Active, C=Classic, L=Limited, O=Obsolete													
Product Branch	Product Group	Global Support Unit	End of Volume Production	Years														
LV DRIVES	AC			A	A	A	A	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
LV DRIVES	AC	ACS400		A	A	A	A	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
LV DRIVES	AC	ACS601 ***		C	C	L	L	L	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
LV DRIVES	AC	ACS604-607-627 ***		C	C	C	C	C	C	L	L	L	L	O	O	O	O	O
LV DRIVES	AC	ACS600 Multidrive (Air Cooled)		C	C	C	C	C	C	L	L	L	L	O	O	O	O	O
LV DRIVES	AC	ACS600 Multidrive (Water Cooled)		C	C	C	C	C	C	L	L	L	L	O	O	O	O	O
LV DRIVES	AC	ACS602 503-504-506		C	L	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
LV DRIVES	AC	ACV700 SYSTEM DRIVES		C	C	C	L	L	L	O	O	O	O	O	O	O	O	O
LV DRIVES	AC	SAMI STAR ***		C	C	C	L	L	L	O	O	O	O	O	O	O	O	O
MV DRIVES		Megadrive LCI (PSR2 & Arcnet magnetic firing)		C	L	L	L	L	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
MV DRIVES		Megadrive LCI (PSR2 Light)		C	C	C	C	C	C	C	L	L	L	O	O	O	O	O
MV DRIVES		Megadrive Cascade (DCS500)		C	C	C	L	L	L	O	O	O	O	O	O	O	O	O
MV DRIVES		PSR CYCLOCONVERTER		C	C	C	L	L	L	L	O	O	O	O	O	O	O	O
MV DRIVES		SAMI MEGASTAR W		C	C	C	C	C	L	L	L	L	O	O	O	O	O	O
MV DRIVES		ACS600C AIR COOLED		C	C	C	C	L	L	L	L	L	O	O	O	O	O	O
MV DRIVES		ACS600C WATER COOLED		C	C	C	C	C	C	C	L	L	L	L	O	O	O	O
MV DRIVES		TYRAK LCI		C	L	L	L	L	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
LV DRIVES	DC	DCP 500 B / 500C / 500D Converter modules		A	A	A	A	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
LV DRIVES	DC	DCS 500 / 600 Converter modules		C	C	C	C	C	L	L	L	L	O	O	O	O	O	O
LV DRIVES	DC	DCA 600 Multidrive System		C	C	C	C	C	L	L	L	L	O	O	O	O	O	O
LV DRIVES	DC	GLB a +R2 (VERITRON)		A	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
LV DRIVES	DC	GCB 6 (VERITRON)		A	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
LV DRIVES	DC	GAB 6 (VERITRON)		A	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
LV DRIVES	DC	GLB 0201 / 0501 (VERITRON)		A	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
LV DRIVES	DC	GLBK / GLBL / GLB 6 (VERITRON)		A	L	L	L	L	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
LV DRIVES	DC	DCV / DCF 700 Drive Systems (cabinets)		A	L	L	L	L	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
LV DRIVES	DC	MDDC THYRISTOR BRIDGES		C	L	L	L	L	L	O	O	O	O	O	O	O	O	O
LV DRIVES	DC	MDDC DRIVES - SELE 1001		A	L	L	L	L	L	O	O	O	O	O	O	O	O	O
LV DRIVES	DC	SELE 1000 THYRISTOR BRIDGES		A	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
LV DRIVES	DC	YFFB (TYRAK XS)		A	L	L	L	L	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
LV DRIVES	DC	YGMU (TYRAK Midi II)		C	L	L	L	L	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O

**Kuva 2.10** Esimerkki ABB:n taajuusmuuttajien elinkaaren suunnittelutyökalusta Life Cycle Plan tuoteperheittäin. Taulukosta on poistettu vuosi- ja tuotetyypikentät./13/

### 3. TAAJUUSMUUTTAJAN LUOTETTAVUUDEN SUUNNITTELU

#### 3.1. Yleistä

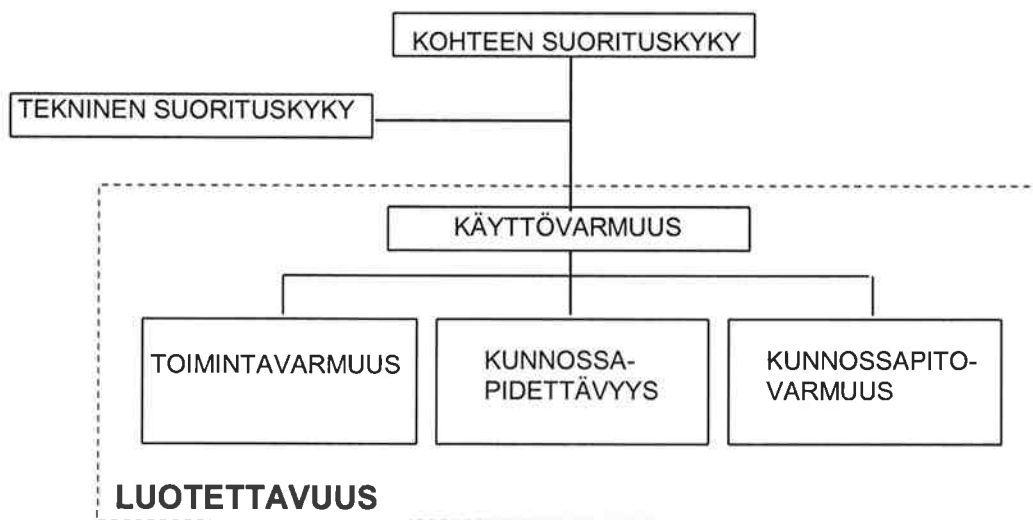
Luotettavuus on määritelty SFS 3750 mukaan: *“Kohteen kyky pystyä suorittamaan vaaditut toiminnot määritellyissä olosuhteissa ja määrättyinä ajanjaksona. Teknologian alue, joka pyrkii paikallistamaan kohteen viat ja löytämään keinoja niiden eliminoimiseksi.”* Toisaalta standardin SFS-EN ISO 9000 (2005-11-07) mukaan luotettavuus on *”yleistermi, jota käytetään kuvaamaan käyttövarmuutta ja siihen vaikuttavia tekijöitä: toimintavarmuus, kunnossapidettävyyys ja kunnossapitovarmuus. Käsitettä luotettavuus käytetään vain yleisiin kuvauksiin, eikä sitä ilmaista määrällisesti.”*

Luotettavuustekniikka katsotaan alkaneen 1920-luvulla, jolloin luotettavuus yhdistettiin mekaniikkaan ja sen kestävyYTEEN. Luotettavuustekniikan perusteeksi kehittyi tuolloin; *”järjestelmä on yhtä luotettava kuin sen heikoin osa”*. Ennen toista maailmansotaa huomattiin laadunvalvonnan merkitys luotettavuustekniikassa ja sotatekniset tarkastelut 1940-luvulla, jolloin kehittyi todennäköisyysperusteinen luotettavuustarkastelu. Robert Lusserin mukaan *”sarjajärjestelmän luotettavuus on osien luotettavuuksien tulo”*. Vuosisadan puolivälissä huollettavuustarkasteluja tehtiin sotateknisissä järjestelmissä sekä yritettiin arvioida inhimillisten tekijöiden vaikutusta luotettavuuteen, jolloin kehitettiin myös vikapuuanalyysimalli (Bell Laboratories). 1970-luvulla ydinvoimalaitoksen ja kemiallisen teollisuuden riskianalyysit saivat syntynsä, ohjelmistot kehittyivät ja tietotekniikka toi mukanaan tehokkaita tietokoneohjelmia luotettavuusanalyysejä varten, joskin ohjelmistoillekin sinänsä oli tarve tehdä omat luotettavuustarkastelunsa. Vuosituhannen vaihteessa kehitys on vienyt siihen, että luotettavuustarkastelu on keskeisessä roolissa esimerkiksi riskitietoisessa päätöksenteossa, tuotekehityksessä, kunnossapidon ulkoistuskohdeissa ja koneiden etäkäyttöohjauksissa./14/ /15/



### 3.1.1. Määrittelyjä

Luotettavuus kuvaa todennäköisyyttä, miten laite tai järjestelmä suoriutuu suunnitelluista toiminnoista halutun ajan määritellyissä olosuhteissa (Kuva 3.1). Toimintavarmuus kuvaa laitteen kykyä toimia suunnittelun perusteena olevissa ja määritellyissä käyttöolosuhteissa vikaantumatta tietyn ajan. Määritellyt olosuhteet saattavat edellyttää esimerkiksi toteutettavaksi valmistajan määrittelemät määräaikaishuollot. Toimintavarmuutta mitataan standardin mukaisesti todennäköisyytenä, että kohde toimii tietyn aikavälin vikaantumatta. Toimintavarmuutta kuvaa vikataajuus  $\lambda$  [h<sup>-1</sup>] ja keskimääräinen vikaantumisaika MTTF [h]. Toimintavarmuus liittyy itse laitteeseen sisältäen muun muassa suunnitteluperusteet, peruskonstruktion ja käytetyt komponentit.



**Kuva 3.1** Luotettavuuden peruskäsitteet. Mukailtu SFS-IEC 50(191).

Kunnossapidettävyys kuvaa sitä tilannetta, kun laite kaikesta huolimatta on vikaantunut, ja se on saatettava ennen vikaantumista olleeseen toimintakuntoon. Kunnossapidettävyys korvasi aikaisemmassa terminologiassa huollettavuuden, eli siihen liittyvät kaikki sellaiset asiat ja tapahtumat, millä on merkitystä vian korjausajan minimoimiseksi. Tällaisia yleisiä kunnossapitoon läheisesti liitettyjä asioita ovat mm. varaosavalmiuden hallinta, korjaustyön edellyttämä luoksepäästävyys tai sen edellyttämät toimenpiteet, vikadiagnostiikan hallinta ja korjaushenkilökunnan ammattitaito. Hyvin tärkeäksi on havaittu nykyisin ohjelmistojen

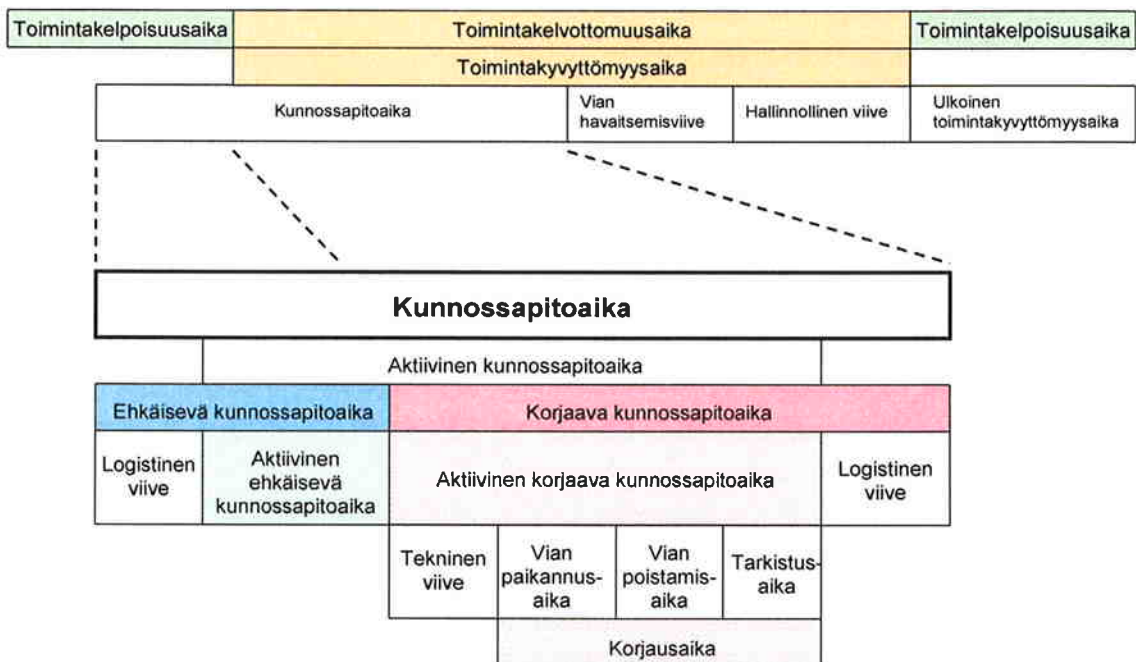
ja parametrien, sekä vastaavan kaltaisten kunnossapitoon olennaisesti liittyvien dokumenttien sisältämän tiedon luotettavuus ja saatavuus vikatilanteessa. Lisäksi on huomioitava ennen korjaustyötä ja korjaustyön aikana esiintyneet viiveet, millä voi olla suhteessa hyvinkin merkittävä vaikutus kokonaiskorjausajan kannalta. Kunnossapidettävyyden tehokkuutta mitataan standardien mukaan vian korjaukseen kuluneella keskimääräisellä ajalla MTTR (Mean Time To Repair), minkä yksikkö on yleensä tunti.

Kunnossapitovarmuus, aikaisemmin terminä huoltovarmuus, kuvaa lähinnä kunnossapidon toiminnallisuutta, mihin liittyy selkeästi kunnossapidon organisoituminen ja toiminnan johtaminen. Se esittää myös kunnossapito-organisaation kykyä järjestää tarkoituksenmukaiset edellytykset laitteiden tai järjestelmän kunnossapitoa varten. Kunnossapitovarmuuden piiriin kuuluu edelleen laitoksen kunnossapidon strategiamallin toteuttaminen, missä toteuttajina voivat olla oma kunnossapito, ulkoistettu kokonaiskunnossapito tai erilliset huoltosopimukset. Teknisen osaamisen varmistus koulutussuunnitelmineen, laitteisiin liittyvä tiedon dokumentointi ja kunnossapitojärjestelmät ovat tärkeä osa kunnossapitovarmuutta.

Kunnossapidon tehtävänä on varmistaa, ylläpitää ja parantaa kohteen toimintavarmuutta. Toimenpiteet voivat olla ennaltaehkäiseviä tai korjaavia. Kuvassa 3.2 on esitetty standardin mukaiset aikakäsitteet laitteen toimintakyvyttömyysajan kannalta tarkemmin jaoteltuna. Erilaisilla ennakkohuollon toimenpiteillä pyritään ennaltaehkäisemään laitteen hallitsematon vaurioituminen. Laitteen vikaantumismekanismit saatetaan tunnistaa ja teknisen kunnan arvioimiseksi on kehitetty ainetta rikkomattomia mittausmenetelmiä oikea-aikaisen ja -sisältöisen huoltotarpeen määrittämiseksi aikaperusteisen kunnossapidon lisäksi. Kun laite joskus vikaantuu, on korjaukseen kuluva aika minimoitava, minkä edellytyksenä on mahdollisten viiveiden pienentäminen sellaisilla toimenpiteillä, jotka ovat ennalta suunniteltavissa. Tällaisia voivat olla varaosien ja kokonaisten vaihtolaitteiden sijoitus mahdollisimman helposti saataville, sekä mahdollisesti valmiiksi ohjelmat ja sovellusparametrit ladattuna. Riittävän osaamisen kautta varmistetaan tehokas vikadiagnostiikka, oikeat ja tehokkaat kunnossapitotoimenpiteet. Myös erilaisilla toimittajasopimuksilla (päivystys, etäkäyttöyhteydet) on mahdollista varmistaa osaltaan korjausajan pysyminen tavoitetasolla. Pääsääntöisesti taajuusmuuttajan oma

vikadiagnostiikka mahdollistaa suhteellisen nopean vian paikannuksen suurimmissa osissa tapauksista ja sen perusteella on käytettävissä myös valmistajan ohjeistamat toimenpiteet vian poistamiseksi. Monimutkaisimmissa prosesseissa saattaa vian selvitys tosin viedä aikaa, mikäli vikatyyppejä esiintyy satunnaisesti tai sen vaikutus havaitaan esimerkiksi mekaanisena häiriönä. Modulaariset rakenteet nopeuttavat vian poistamisaikaa, mutta toisaalta laitteen pakkaustiheys kasvaneen integrointiasteen seurauksena aiheuttaa korjausajan kasvua tapauksissa, missä korjaustyö on tehtävä asennuspaikalla.

Ennakkoon suunnitelluilla ja riittävän kattavilla toimintaohjeilla sekä järjestelmien hyväksikäytöllä on mahdollista vaikuttaa erilaisiin tehokkuutta alentaviin viiveisiin, mitkä syntyvät kunnossapitoprosessien aikana. Käyttöhenkilöllä on myös tärkeä rooli toimintakelvottomuusajan pienentämiseksi kun laite tai laitos ajetaan tuotantoon niin ennakoivan kuin vikaantumisenkin takia toteutetun kunnossapitotoimenpiteen jälkeen.



**Kuva 3.2** Kunnossapitoaikoihin liittyvät käsitteet. SFS-IEC50(191).

### 3.1.2. Yleisiä luotettavuusmenetelmiä

Luotettavuusvaatimuksien täyttäminen on edellytys tuotteen kaupalliselle menestymiselle samalla aiheuttaen lisäkustannuksia sekä huomattaviakin investointirakenteita suunnittelun ja valmistuksen aikana. Toisaalta panostus luotettavuuteen saadaan usein takaisin vikaantumis- ja takuukustannusten muodossa. Myös suunnittelu ja tuotanto hyötyvät, kun tuote saadaan nopeammin ja valmiimpana markkinoille. Luotettavuuteen tähtäävät toimenpiteet ovat tehokkaimpia silloin, kun ne liittyvät organisoidusti muuhun jo olemassa olevaan uuden tuotteen kehitys- ja valmistusohjelmaan./16/

Luotettavuusjohtamisjärjestelmän avulla voidaan saavuttaa valmistajalle merkittäviä hyötyjä, kuten kilpailuetu muihin valmistajiin tuotteiden luotettavuuden ja asiakastyytyväisyyden parantuessa. Käyttökokemustietoa voidaan hyödyntää uuden tuotteen sekä myös tuotetuen suunnittelussa. Lisäksi voidaan määritellä uusille tuotteille käytettävyydestä tukevia tavoitteita sekä luotettavuuden mittareita./17/

Hyvä elinkaaren aikainen luotettavuusjohtaminen edellyttää seuraavia toimintoja: /15/

1. Tuotteen suunnittelu (engl. Product Planning)
2. Tuotekehitys (engl. Design and Development)
3. Ratkaisujen varmennus (engl. Verification and Validation)
4. Tuotanto (engl. Production)
5. Käyttö (engl. Field Deployment)
6. Käytöstä poisto (engl. Disposal)

Laitteen elinkaarisuunnittelu käynnistyy laaja-alaisen kokemuksen ja osaamisen omaavan luotettavuusryhmän organisoitumisella. Ryhmän kokoonpano ja osaamisen laaja-alaisuus on tärkeää ja sillä on oltava myös riittävät resurssit projektin läpiviemiseksi tuotteen eri elinkaaren vaiheissa. Luotettavuuden hallinta on jatkuvaa oppimista, tiedon hankintaa ja analysointia, missä huomioidaan niin aikaisempien laitteiden suunnittelu- ja käyttökokemukset kuin uusiin tuotteisiin kohdistuvat asiakkaiden odotukset ja kaupalliset lähtökohdat. Luotettavuusprosessiin sisältyviä tehtäviä ja menetelmiä on esitetty liitteessä (LIITE 1). Luotettavuuden suhteen on laitevalmistajilla yleensä laatujärjestelmä, jonka mukaa tiedostot ja dokumentit tallennetaan määritellyssä muodossa määrättyyn paikkaan.

Standardin mukaan laitteen toimittajalla on oltava käytettävissään tehokkaat menetelmät ja mallit, jotka ovat tarkoituksenmukaisia tuotteen luotettavuuden estimoinnissa ja analysoinnissa./18/

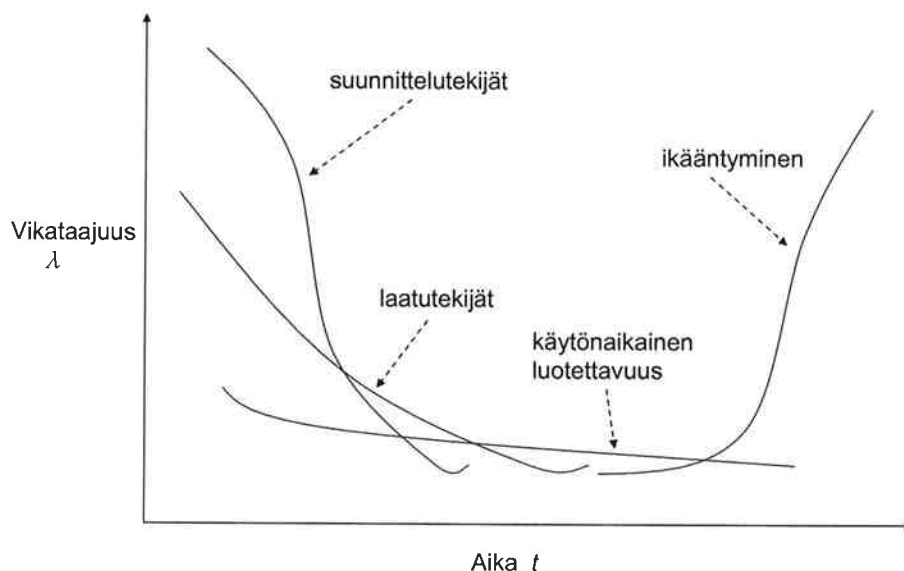
### 3.1.2.1. RCM

Luotettavuuskeskeinen kunnossapito (Reliability Centered Maintenance) on määritelmän mukaan: ” *RCM on menettely, jolla määritellään tuotantojärjestelmän kunnossapidon vaatimukset nykyisessä toimintaympäristössä*”. Luotettavuuskeskeinen kunnossapito syntyi 1960- ja 1970 -luvuilla, jolloin se kehitettiin lähinnä lentokoneiteollisuuden kunnossapidon apuvälineeksi. Kunnossapito oli perustunut siihen mennessä olettamukseen, että kaikki laitteen tai systeemin komponentit ikääntyvät ja ainoana kunnossapitotoimenpiteenä nähtiin joko systemaattinen ennakkohuoltopohjainen peruskunnostus tai komponenttien vaihtaminen uuteen. Perinteiseen kunnossapitoon viitaten esitettiin myös oletamus (John Moubray), että suunnitellusta ja ennaltaehkäisevästä kunnossapidosta jopa 40 % on turhaa. Lisäksi vaativissa huoltokohteissa riskit huollon epäonnistumiseen kasvavat ja huoltojen jälkeinen ylösajo saattaa vaatia merkittäviä normaalia käynnistä poikkeavia järjestelyjä aiheuttaen ylösajon yhteydessä esimerkiksi aikahyötysuhteen, AHS, merkittävän pienenemisen./19/

RCM on kunnossapidon toimintatapa, mikä edustaa jatkuvaa prosessia tehokkaimpien kunnossapitomenetelmien valitsemiseksi. Sen avulla voidaan järjestelmällisellä menettelytavalla määrittää optimaalinen yhdistelmä sopivia ja tehokkaita kunnossapidon toimenpiteitä, joiden avulla pyritään toteuttamaan kustannustehokkaasti laitteiston luontainen luotettavuus ja turvallisuus.

Luotettavuuskeskeisen kunnossapitostrategian avulla on keskeistä määrittää ja priorisoida yksittäinen laite, laitteistot tai kokonainen tuotantoprosessi. Perusteet luokitteluun ovat: kustannus, turvallisuus, ympäristövaatimukset ja laatutekijät. Aikaisemmin kohdassa 2.2. todettiin, että kaikille laitteille ei ole aina saatavilla valmistajan antamia tai yleisluontoisiakaan kunnossapito-ohjeistuksia. Tällöin RCM -mallin mukaan on

selvitettävä mahdollisimman seikkaperäisesti, aikaisempiin kokemuksiinkin vedoten, tunnistettavissa olevat vikaantumismekanismit. Laitteen tai systeemin vikaantumistekijät voidaan jakaa neljään alueeseen taajuusmuuttajan elinkaaren aikana. Nämä ovat varsinainen tuotekehitysvaihe, minkä seurauksena saattaa laitteessa esiintyä suunnittelusta johtuvia epäluotettavuustekijöitä, valmistus ja laadunvarmistus, laitteen käytönaikainen luotettavuus ja viimeisenä ikääntymisestä ja kulumisesta aiheutuneet epäkäytettävyystekijät. Kuvassa 3.4 on esitetty perinteinen kylpyammekäyrän muoto, mikä riippuen laitteesta ja sovelluksesta, saattaa vaihdella huomattavastikin niin vaiheiden keston kuin niiden edustamien vikatiheyksien suhteen.



**Kuva 3.4** Tyypillisen kylpyammekäyrän vikaantumistekijät esitettynä tuotteen elinkaaren eri vaiheissa./20/

Todettujen vianilmenemismuotojen mittarointiin tai niiden ennaltaehkäisemiseksi voidaan esimerkiksi kunnossapitojärjestelmään tehdä toimintaohjeet niin kunnossapidolle kuin myös laitoksen käyttöhenkilöstölle. Käyttöhenkilöstön roolitus onkin selkeä toimintatavan muutos, jolloin häiriötilanteen uhatessa käyttötoimenpiteisiin voidaan ottaa kantaa ennen vakavampaa laitteen rikkoontumista. Oikealla laajuudella toteutettuna ja oikein kohdistettuna voidaan alentaa tai optimoida kunnossapitokustannuksia, parantaa prosessin ja laitteiden tuottavuutta.

RCM -malli perustuu seuraavanlaiseen projektimaisesti toteutettuun käsittelymalliin, missä se tuotantoprosessikohtaisesti toteutetaan yhteistyössä kunnossapidon ja käytön kanssa.

1. Selvitetään laitteiden toiminnot ja suorituskykystandardit sen nykyisessä toimintaympäristössä.
2. Selvitetään vikaantumisolosuhteet ja vikaantumistilanteet
3. Selvitetään vikaantumistavat
4. Selvitetään vikojen vaikutukset
5. Selvitetään vikojen seuraukset, missä huomioidaan piilevät vikatyypit, turvallisuus- ja ympäristöseuraukset, toiminnalliset seuraukset ja ei-toiminnalliset seuraukset.
6. Määritetään sopivin kunnossapitostrategia kullekin laitteelle tai laitteistolle.
7. Määritetään toimenpiteet RCM -periaatteiden mukaisesti.

Vaikka prosessi on laitoskohtainen, edellyttää sen onnistunut läpikäynti tiivistä yhteistyötä myös laitevalmistajien kanssa, etenkin komponenttitasoisien vikaantumismallien selvittämiseksi. Laitevalmistajilla saattaa olla hyvin oleellista eri menetelmiin tai vikaantumismalleihin liittyvää tilastollista tietoa, mitä esimerkiksi yksittäinen käyttäjä ei pysty elinaikanaan keräämään. Vikaantumistapojen luettelon pitäisi kattaa kaikki toiminnallisia vikoja aiheuttavat prosessit, mukaan lukien ikääntyminen, kuluminen, ulkopuoliset tekijät, ja suunnitteluvirheet. Myös inhimilliset virheet, kuten käyttäjien tai kunnossapitäjien toimista aiheutuneet, on huomioitava.

Turvallisuus on nykyisin noussut tärkeäksi elementiksi, mihin myös RCM:n mukaisessa prosessissa otetaan kantaa. RCM -selvityksessä arvioidaan niin laite-, prosessi- kuin henkilöturvallisuuteen vaikuttavat tekijät sekä niiden merkitys luotettavuuden ja kunnossapidon toimintamallien kannalta. Ympäristöturvallisuuden arvot tunnustetaan niin ikään yhdeksi oleelliseksi arviointiperusteeksi, mikä voidaan huomioida luotettavuusperusteisessa kunnossapidossa. Taajuusmuuttajan luotettavuus voi olla keskeisessä asemassa esimerkiksi jätevesilaitoksen prosessissa, missä vikatapauksessa tuotantotekijät eivät niinkään ole keskeisessä merkityksessä, vaan yhteiskunnalliset arvot, yhtiön maine tai imago määrittelee laitteen todellisen kriittisyystason.

RCM analyysin tueksi on saatavilla useita kaupallisia ohjelmistoja, joissa voidaan

määritellä tarkasteltavan prosessin tai laitteen viat ja vikaantumismallit. Edellytyksenä luotettavalle lopputulokselle, missä voidaan visuaalisesti tarkastella häiriömekanismia, ovat paikkansa pitävät ja riittävän tarkat lähtötiedot.

### 3.1.2.2. FMEA

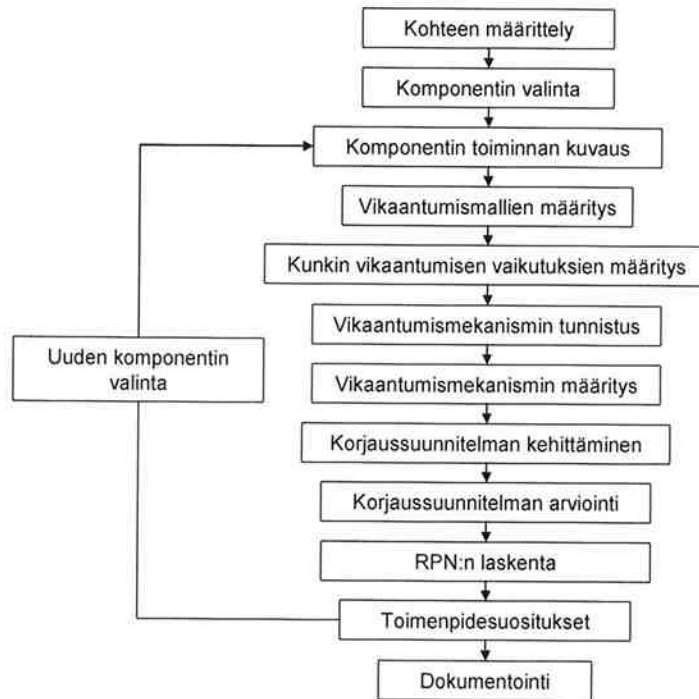
Failure mode and effect analysis, FMEA on standardoitu työkalu (IEC 812. 1985, SAE J1739), jonka tavoite on tunnistaa kohde ja tehdä tarvittavat korjaavat toimenpiteet sellaisille vioille, joiden seurauksilla on merkittävä vaikutus kohteen suorituskykyyn tai kriittisiin toimintoihin. Luotettavuusanalyysimenetelmä on lähtöisin amerikkalaisten 1940 - luvun lopun sotateollisuudesta, minkä jälkeen vuosikymmen myöhemmin sitä käytettiin avaruusteknologiassa luotettavuustyökaluna. Läpimurtona 1970-luvulla FMEA:n ottivat käyttöön suuret autonvalmistajat ja se soveltuvuus huomattiin muissakin teollisuuden tuotantoympäristöissä. Toinen vastaava menetelmä on FMECA (Failure Mode Effects and Criticality Analysis), jonka käyttökohde on lähinnä puolustusteollisuudessa. FMECA ja FMEA ovat periaatteessa samanlaisia, tosin ensin mainitulla menetelmään kuuluu vikavaikutuksen luokittelu sen vakavuusasteen perusteella./21/

FMEA (suom. vika- ja vaikutusanalyysi, VVA) edustaa kvalitatiivista luotettavuusanalyysimenetelmää, millä on merkittäviä etuja luotettavuuden suunnittelussa. Jos tuotteen suunnitteluvaiheessa menetelmän avulla pystytään tunnistamaan laitteiston komponenttiviloja sekä arvioimaan havainnoitujen vikojen seurauksia, voidaan tehdä tarvittavat muutokset tuotteeseen jo sen tuotekehitysvaiheessa. Vaikka prosessi on kehitetty ensisijaisesti materiaali- ja laitevikojen tunnistamiseen, soveltuu menetelmä yleisesti sellaisten kohteiden tarkasteluun, joista halutaan selvittää seurauksiltaan ja todennäköisyydeltään merkittävät viat. Mallin hyödyntäminen onnistuu myös käyttö- ja kunnossapitotoimintojen yhteydessä.

Kuvassa 3.5 on esitetty pääpiirteittäin menetelmän vaiheet. Analyysistä voidaan tehdä taulukkomuotoinen raportti, minkä yhteenvedona määritellään kehityskohteiden osalta toimenpide-ehdotukset, aikataulut ja vastuut. Taulukon luokittelu- ja tietosarakkeita



voidaan lisätä sovellus- tai asiakaskohtaisesti helpottamaan kehityskohteiden tärkeyden arviointia. Taulukon rakenne kannattaa tehdä havainnollisuuden takia hierarkkiseksi, jolloin esimerkiksi prosessi tai laite voidaan jakaa ensin suurempiin yksiköihin tai moduuleihin, mistä edelleen tehdään yksityiskohtaisempi jako jopa komponenttitasolle saakka.



**Kuva 3.5** FMEA -mallin prosessin askeleet vaiheittain. Ennen komponenttikohtaisia toimenpidesuosituksia lasketaan riskiprioriteetti, RPN./15/

FMEA voidaan jakaa erilaisiin kategorioihin tehtävän analyysin laajuuden perusteella; yleisimmät esitetyt jakoperusteet ovat suunnittelun (Design-FMEA) ja prosessien (Process-FMEA) kehittämisen menetelmät.

Design-FMEA:n etuina esitetään sen tukevan suunnittelua: /22/

- Suunnittelun vaatimuksien ja suunnitteluvaihtoehtojen arviointi.
- Valmistus- ja kokoonpanosuunnittelun vaatimuksien selvittäminen.

- Lisää todennäköisyyttä sille, että potentiaaliset virheet ja niiden aiheuttamat vaikutukset on otettu huomioon suunnittelussa ja tuotekehityksessä.
- Tuottaa tietoa, jolla voidaan suunnitella perusteellinen ja tehokas suunnittelun testaus.
- Tuottaa dokumentin, jonka pohjalta voidaan suositella ja jäljittää riskejä vähentäviä toimenpiteitä.

Vastaavasti Process-FMEA:n hyötyinä nähdään: /23/

- Tunnistaa potentiaaliset tuoteperusteiset prosessin virhetilanteet.
- Arvioida prosessin virheiden vaikutus loppukäyttäjän/asiakkaan kannalta.
- Tunnistaa mahdolliset tuotanto- ja kokoonpanoprosessien virheet, joihin keskittymällä voidaan vähentää virheen esiintymisen todennäköisyyttä tai paljastaa kattavammin virheisiin johtavia oloja.
- Tuottaa dokumentti prosessin potentiaalisista virheistä painotettuina korjaavien toimenpiteiden tärkeydellä
- Dokumentoi tuotanto- tai kokoonpanoprosessin tulokset.

Vikojen vaikuttaessa järjestelmätasolla seuraukset ja vastaavasti vikojen syyt tunnistetaan järjestelmätuntemuksen, kokemuksen tai standardoitujen vikaantumistapaluetteloiden avulla. Seuraukset saatetaan luokitella niiden vakavuuden mukaan hyödyntäen olemassa olevia valmiita määrittelyjä, tapauskohtaisia aikaisempia kokemuksia, tilastoja tai asiantuntija-arvioita.

### **3.1.2.3. FTA**

Fault Tree Analysis (suom. vikapuuanalyysi) on graafinen malli, missä kuvataan loogisia riippuvuuksia vikaantumisien ja niiden syiden välillä. Vastakohtana FMEA:n mukaiseen lähestymiseen, FTA on deduktiivinen menetelmä, mikä alkaa vikaantumisen tarkastelusta ja etenee sisällyttäen kaikki mahdolliset tunnetut ja teoreettiset syyt, mitkä voivat vaikuttaa tämän päätapautumaan syntymiseen. Menetelmä kehitettiin 1960-luvulla ja alkuaikoina sitä

käytettiin lähinnä turvallisuuskriittisten mallien selvittämiseen sota- ja ilmailuteollisuudessa. Nykyisin monet liiketoiminnot ovat ottaneet yleisesti käyttöönsä vika- ja vaikutusanalyysin, VVA- ja FTA -menetelmää käytetäänkin liitettyinä FMEA:n kanssa laajentaakseen vikaantumismekanismin määrittelyjä tapauksissa, missä saattaa esiintyä useita yhtäaikaista vikaantumisia./15/

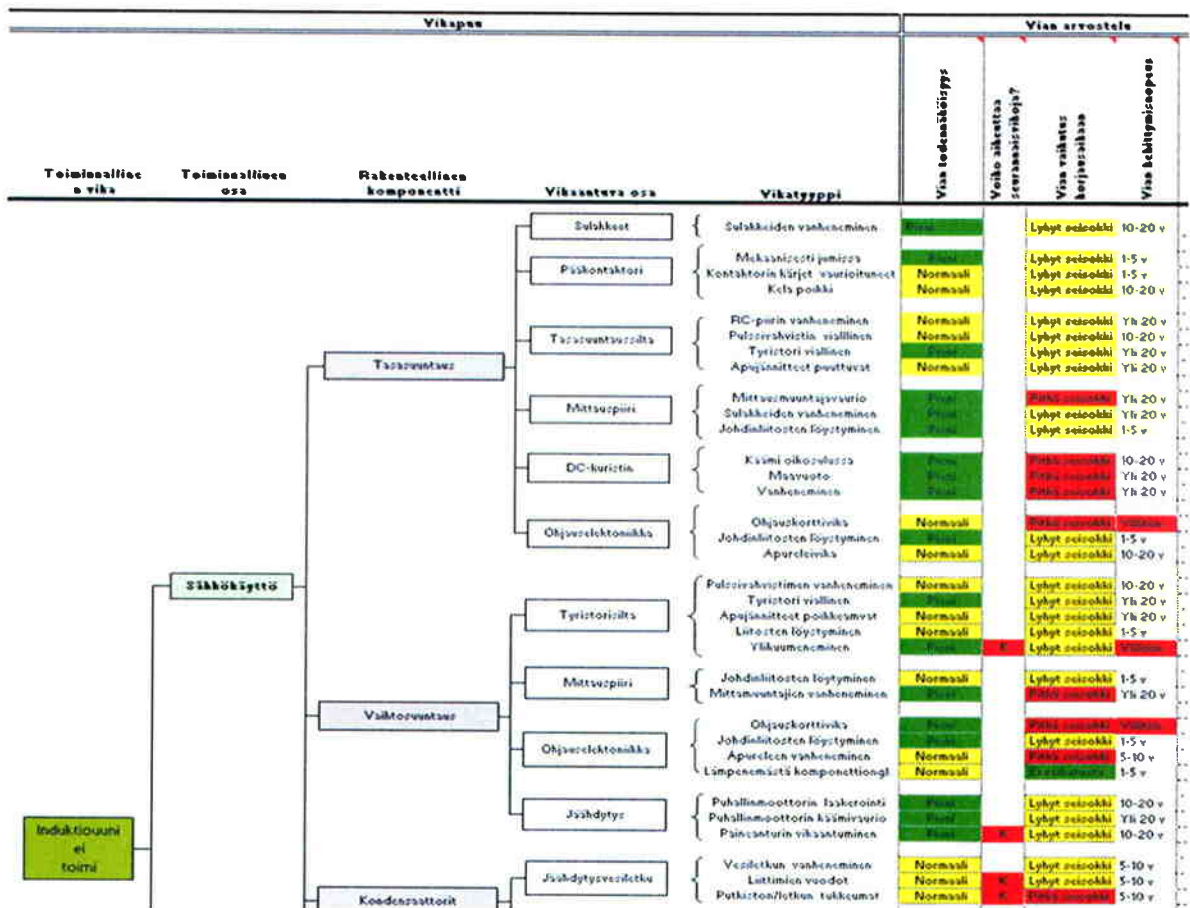
FTA:n rakenne on myös hierarkkinen, jossa ylin taso esittää odottamatonta toimintoa, minkä syntyyn voi olla syynä vika tai vikojen yhdistelmä. Tarkastelun kohteena voi olla laadulliset tai määrälliset tekijät. Laadullisia tekijöitä voivat olla vikapolut, juurisyyt tai tarkasteltavan systeemin ”heikot lenkit”. Vikapuu kuvaa vikaantumismallia ja sen kautta on suoraan nähtävissä toiminnallisia riippuvuussuhteita, joita voidaan ottaa huomioon eliminoitaessa tai pienentäessä mahdollisia riskikohteita. Vikapuumallin tuloksena saadaan hyödyntämiskelpoisia malleja niin suunnittelun, käytön kuin viankorjauksenkin kannalta. Tarkastelun määrällinen puoli taas antaa arvion tapahtuman todennäköisyydelle ja voi siten ohjata päätöksentekoa suunnittelussa huomioimaan riittävät turvallisuuteen ja luotettavuuteen liittyvät tekijät. Menetelmä tuottaa havainnollisesti erilaiset vikaantumispolut, joiden mukaan toiminnallisuuteen vaikuttavia vikaantumisen syy-yhteyksiä voi tarkastella ja huomioida kriittiset tai toiminnoiltaan puutteelliset alueet sekä määrittää niiden perusteella korjaavat tai ennaltaehkäisevät toimenpiteet. Haittapuolina ovat mm. laajojen järjestelmien määrityksien vaikeus, menetelmä voi osoittautua monimutkaiseksi ja informaatio ei paljasta tapahtumien aikariippuvuuksia./22/

Vikapuun rakennetta kuvataan symboleilla, joille kullekin on määritelty oma merkityksensä. Symbolit on jaettu toimintojensa kannalta pääryhmiin, joita ovat tapahtumaa kuvaavat merkit ja loogiset päätöksentekoa esittävät merkistönsä. Täten pystytään rakentamaan ja kuvaamaan johdonmukaisesti riippuvuussuhteiltaan hyvinkin monimutkaisia ja laajoja vikapuumalleja. Tyypiltään merkit ovat yleisiä logiikkasymboleita sisältäen JA- ja TAI -veräjätyyppien lisäksi erilaisia päätöksentekosymboleja, joilla kuvattuja vikapuurakenteita ja riippuvuusfunktioita voidaan ratkaista edelleen Boolean algebran avulla./23/

Vikapuuanalyysimenetelmä voidaan jakaa seuraaviin päävaiheisiin:

1. Määrittelyvaihe ja hierarkian luonti
2. Vikojen priorisointi
3. Vikapuun rakentaminen
4. Vikojen listaus
5. Vikojen vaikutuksien ymmärtäminen
6. Vikojen todennäköisyyden arviointi
7. Korvaavien toimenpiteiden määrittely
8. Dokumentointi ja vikapuun päivitys korjaavien toimenpiteiden osalta

Kuvassa 3.6 on esitetty esimerkkinä vikapuumallista erään tuotantolaitoksen laitteelle taulukkolaskentaohjelmalla laadittu vikapu.



Kuva 3.6 Esimerkki vikapuurakenteesta, mikä toteutettiin kunnossapidon kannalta induktiouunikäyttösovellukseen./23/

### 3.1.2.4. Luotettavuuskaavio

Luotettavuuskaavio (engl. Reliability Block Diagram, RBD) on graafinen kuvaus laitteiden tai laitteiston osien riippuvuussuhteesta. Perusrakenteet ovat rinnan- ja sarjakytkentämallit, joilla voidaan kuvata hyvinkin riippuvuussuhteiltaan monimutkaisia luotettavuusrakenteita, kuten rinnakkais-sarjakytkentöjä ja valintaan perustuvia malleja.

”Laatikko” kuvaa RBD -mallissa laitteen, laitteen komponentin tai alijärjestelmän luotettavuutta, mutta eivät näiden keskinäistä fyysistä riippuvuutta. Rakenteessa esitetään sovittua toiminnallisuutta mustana laatikkona, missä kuvataan luotettavuuden kannalta sen ominaisuudet./14/ /15/

### SARJAJÄRJESTELMÄ

Mikäli vikaantuminen yhdessä tai useammassa sen osakomponentissa aiheuttaa lopputuloksena vikaantumisen sanotaan systeemin olevan sarjasysteemi. Jokainen komponentti on ehdoton edellytys systeemin toiminnalle. Sarjajärjestelmän voi muodostaa  $n$  kappaletta toimintoja, mitkä ovat toisistaan riippumattomia, eivätkä näin ollen vaikuta toistensa elinkaareen ja luotettavuuteen.



**Kuva 3.7** Sarjasysteemi

Kun  $R_i$  on yksittäisen komponentin luotettavuus, voidaan systeemin kokonaisluotettavuus  $R$  määritellä

$$R = R_0^n \quad (3.1)$$

Systeemin luotettavuus voidaan kirjoittaa muotoon

$$R(t) = \exp\left(-t \sum_{i=1}^n \lambda_i\right) = \exp(-\lambda t), \quad (3.2)$$

missä  $\lambda$  on vikatiheys:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (3.3)$$

Järjestelmän keskimääräinen vikaantumisaika MTTF on määritelty seuraavasti:

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t)dt = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} . \quad (3.4)$$

Sellaisen järjestelmän, missä on  $n$  sarjakytkentäistä komponenttia, luotettavuutta voidaan mallintaa Weibullin jakaumalla. Luotettavuusyhtälö saadaan tuolloin muotoon

$$R_i(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha_i}\right)^{\beta_i}\right] , \quad (3.5)$$

missä  $\beta_i$  ja  $\alpha_i$  ovat sarjakytkentäisen osakomponentin elinkaaren ominaiskertoimia.

$$R(t) = \exp\left[-\sum_{i=1}^n \left(\frac{t}{\alpha_i}\right)^{\beta_i}\right] \quad (3.6)$$

Systeemin vikaantumistaajuus voidaan kirjoittaa muotoon

$$h(t) = \sum_{i=1}^n \frac{\beta_i}{\alpha_i} \left(\frac{t}{\alpha_i}\right)^{\beta_i-1} \quad (3.7)$$

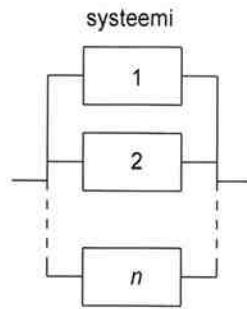
$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t)dt = \frac{\Gamma((1/\beta) + 1)}{\left[\sum_{i=1}^n (1/\alpha_i)^{\beta}\right]^{1/\beta}} \quad (3.8)$$

## RINNAKKAISSESTEEMI

Järjestelmä on rinnakkainen, kun koko järjestelmän vika ilmenee vasta silloin, kun kaikki sen komponentit ovat vikaantuneet. Toisin sanoen koko systeemi on toimintakykyinen, mikäli yksikin osakomponentti on toimiva. Kuvassa 3.8 on esitetty rinnakkaissysteemi.

Järjestelmän luotettavuus on sen epäluotettavuuden käänteisluku

$$R = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \quad (3.9)$$



**Kuva 3.8 Rinnakkaisysteemi**

Kun osakomponentit ovat identtisiä, voidaan kirjoittaa

$$R = 1 - (1 - R_0)^n \quad (3.10)$$

$$n = \frac{\ln(1 - R)}{\ln(1 - R_0)} \quad (3.11)$$

Jos kaikki n komponenttia on mallinnettu identtisesti, saadaan

$$R(t) = 1 - [1 - \exp(-\lambda t)]^n \quad (3.12)$$

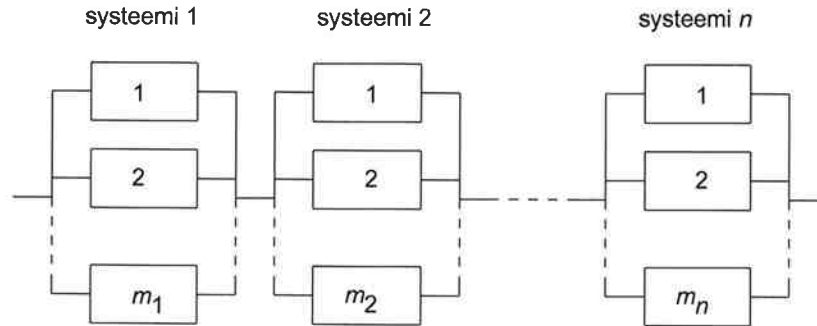
Vastaavasti keskimääräinen vikaantumisaika MTTF saadaan koko järjestelmälle

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n \frac{1}{i} \quad (3.13)$$

### SEKAJÄRJESTELMÄ

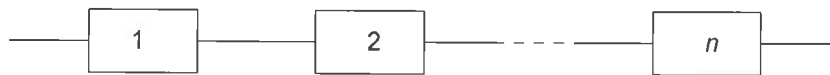
Sekajärjestelmät koostuvat erilaisista sarja- ja rinnakkaiskytkennöistä. Systeemin laskenta voidaan tehdä tunnistamalla niistä sarjaan ja rinnankytkettyjä kokonaisuuksia ja laskemalla niistä eri osien todennäköisyydet edellä esitettyjen sarja- ja rinnankytkentämenetelmien mukaan. Sekajärjestelmien yhtälöt muodostuvat usein hyvinkin laajoiksi, minkä takia laskenta tehdään vaiheittain ja tarkasteltavan alisysteemin ekvivalentteja malleja hyödyntämällä.

**Sarja-rinnankytkentä** yhdistelmän periaatteellinen malli voidaan rakennekaaviolla, missä  $n$  on systeemien ja  $m$  rinnakkaisten komponenttien lukumäärä kuvan 3.3 mukaisesti.



**Kuva 3.9** Rinnakkaissysteemi

Ekvivalenttinen sijaiskytkentä on vastaavasti esitetty kuvassa 3.10.



**Kuva 3.10** Rinnakkaissysteemin ekvivalentti muoto

Ekvivalentin systeemissä luotettavuus  $R_i$  komponentille  $i$  voidaan edelleen määrittää

$$R_i = 1 - \prod_{j=1}^{m_i} (1 - R_{ij}), \quad i = 1, 2, \dots, n \text{ ja } j = 1, 2, \dots, m_i \quad (3.14)$$

, missä  $R_{ij}$  on  $j$  komponentin luotettavuus  $i$  alisysteemistä. Sarjakytkentä  $n$  systeemin rakenteelle voidaan esittää muodossa

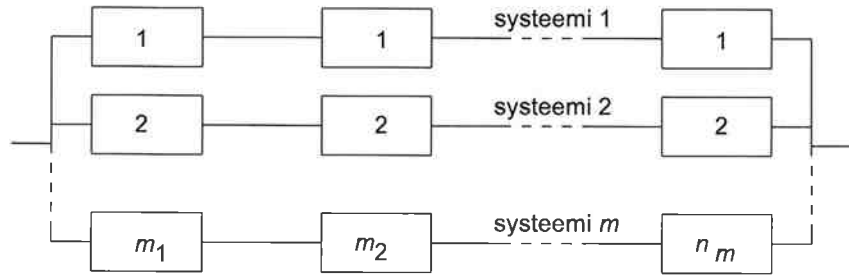
$$R = \prod_{i=1}^n \left[ 1 - \prod_{j=1}^{m_i} (1 - R_{ij}) \right]. \quad (3.15)$$

Mikäli järjestelmä koostuu identtisistä komponenteista, joiden luotettavuus on  $R_0$  voidaan sarja-rinnankytkentä yksinkertaistaa

$$R = \left[ 1 - (1 - R_0)^m \right]^n, \quad (3.16)$$

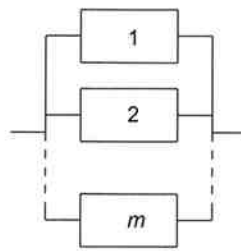


**Rinnan-sarjakytkentä** on edellistä vastaava, missä sarjakytketyt systeemit ovat rinnankytkettyjä keskenään kuvan 3.11 mukaisesti.



**Kuva 3.11** Rinnakkaissysteemi

Kuvan 3.12 mukaisesti vastaava ekvivalenttinen sijaiskytkentä voidaan esittää.



**Kuva 3.12** Rinnakkaissysteemin ekvivalentti muoto

Jokaisen alisysteemin ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) luotettavuus on määritelty voidaan edelleen määritellä

$$R_i = \prod_{j=1}^{n_i} R_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (3.17)$$

missä  $R_{ij}$  on  $j$ :n luotettavuus alisysteemissä  $i$ .

Ja koko rinnan-sarjajärjestelmän luotettavuus  $R$  voidaan siis esittää muodossa

$$R = 1 - \prod_{i=1}^m \left( 1 - \prod_{j=1}^{n_i} R_{ij} \right). \quad (3.18)$$

## K/N –JÄRJESTELMÄ

Järjestelmä toimii jos ja vain jos  $k$  kpl sen  $n$  komponentista toimii. Toisaalta järjestelmä vikaantuu jos ja vain jos vähintään sen komponenteista vikaantuu.

$$\Pr(x = k) = C_n^k R_0^k (1 - R_0)^{n-k}, \quad k = 0, 1, \dots, n, \quad (3.19)$$

missä  $R_0$  on yhden komponentin luotettavuus.

$$R = \Pr(x \geq k) = \sum_{i=k}^n C_n^i R_0^i (1 - R_0)^{n-i} \quad (3.20)$$

Jos vikaantumisaika on eksponentiaalinen, saadaan luotettavuudeksi  $R$ :

$$R(t) = \sum_{i=k}^n C_n^i e^{-\lambda i t} (1 - e^{-\lambda t})^{n-i}, \quad (3.21)$$

missä  $\lambda$  on yhden komponentin vikaantumistaajuus.

## REDUNDANSSI

Systemi voidaan varmentaa toisilla, teknisesti samanlaisilla komponenteilla, jotka otetaan käyttöön sitä mukaa kun aktiivisena olleet komponentit vikaantuvat. Vaihtovarmennuksessa varalla ollut varmentava komponentti otetaan käyttöön pääkomponentin vikaantuessa. Edelleen varakomponentti on saatettu varmentaa sille varalla olleella komponentilla. Järjestelmä vikaantuu, kun kaikki ”varmentavat” komponentit ovat myös vikaantuneet.

Käyttötilanteen mukaan voidaan redundanssin luokitella olevan

- *Kuuma* ( Active Redundancy ), jolloin kaikki piirin komponentit ovat rasituksen alaisia ja voivat vikaantua jo varallaoloaikana yhtä suurella todennäköisyydellä.
- *Lämmin* ( Warm Redundancy ), kun varmentavat komponentit ovat osittain rasituksen alaisia ja voivat näin vikaantua pienemmällä todennäköisyydellä kuin normaalissa käyttötilanteessa.
- *Kylmä* ( Standby Redundancy ), kun varmentavat komponentit eivät voi vikaantua kuormituksen seurauksena varallaoloaikana.

Järjestelmän toimintatodennäköisyys on määriteltävissä perustuen edellä esitettyihin määritelmiin. Kylmän varmennuksen erityispiirre on, että varalla olevan komponentin vikaantumistiheys on nolla, mutta vaihtotilanteessa varalaitteen epätäydellinen kytkentä mahdollistaa koko järjestelmän vikaantumisen./14/ /17/

Kylmän vaihtovarmennuksen toimintatodennäköisyys on

$$T_s = \sum_{i=1}^n T_i \quad (3.22)$$

$$MTTF_s = \sum_{i=1}^n MTTF_i \quad (3.23)$$

### 3.1.3. Yleisiä kiihdytettyjä testimenetelmiä

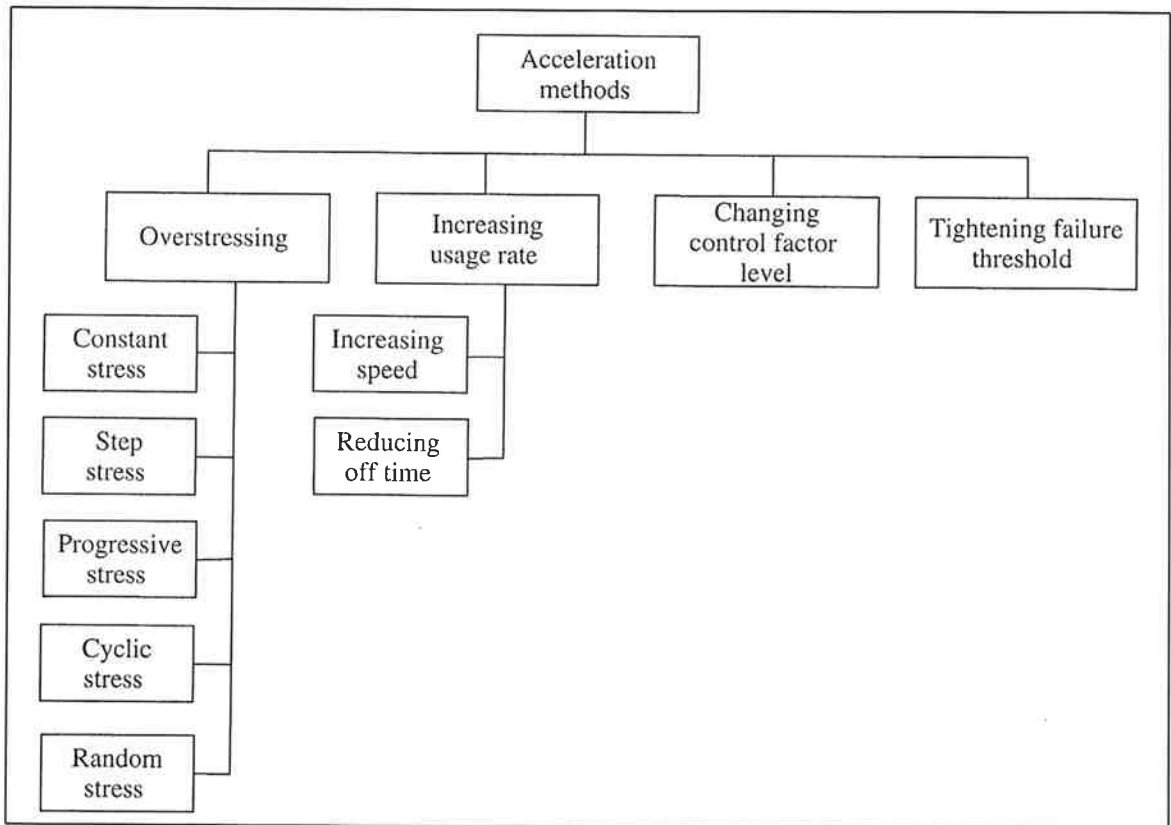
Kiihdytetyn testimenetelmän tarkoituksena on selvittää komponentin, laitteen tai laitteiston luotettavuutta nopeammin, kuin mitä normaaleissa käyttötilanteissa olisi normaalin vanhentumis- tai kulumisilmiöiden kautta mahdollista saada selville.

Kuvassa 3.12 on esitetty erilaisia kiihdytettyjä testimenetelmiä jaettuna neljään pääryhmään, joita ovat: /15/ /25/

- A) Ylikuormitus ( engl. overstressing )
- B) Korotettu käyttöaste ( engl. increasing usage rate )
- C) Vertailu ( engl. changing level of a control factor )
- D) Vikaantumiskynnyksen korottaminen ( engl. tightening the failure treshold )

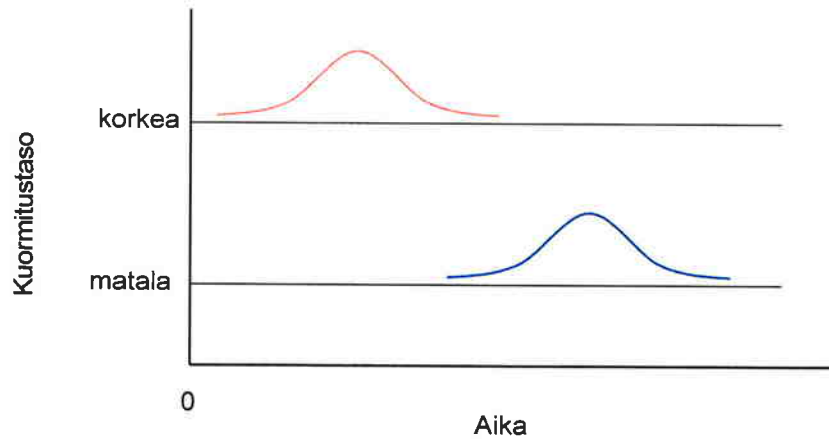
**Ylikuormitus** on yleisin kiihdytetty testimenetelmä, missä pääperiaatteena on tarkasteltavan laitteen kuormittaminen nimellistasoa korkeammilla suureilla. Tällaisia voivat olla poikkeavat käyttöolosuhteiden, kuten käyttölämpötila tai kosteus, vaikutuksien kautta tapahtuva tarkastelu. Vastaavia muuttujia voivat olla niin ikään esimerkiksi sähköiset suureet kuten yli-/alijännite, ylivirta ja mekaaniset ilmiöt, mistä

esimerkkinä tärinä tai mekaaninen ylikuormitus. Testauksessa kuormitus voidaan jakaa erilaisiin toiminallisuuryhmiin, joita voivat olla vakiokuormitus, askelkuormitus, progressiivinen kuormitus ja satunnaiskuormitus.



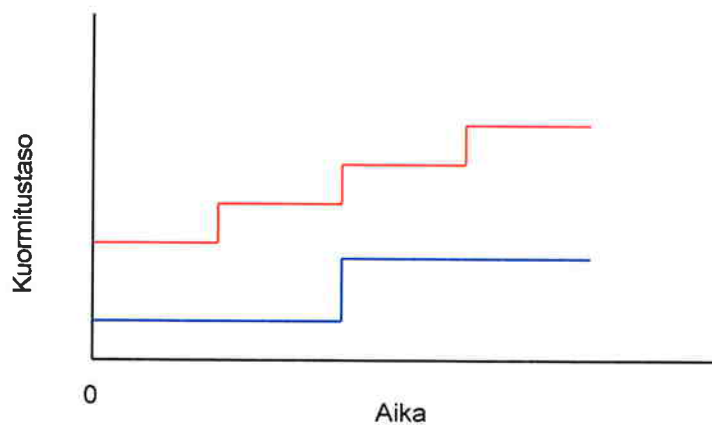
**Kuva 3.12** Yleisimpien kiihdytettyjen testausmenetelmien ALT (Accelerated Life Tests) pääjako Yangin mukaan. Ylikuormitus (overstressing), käyntiasteen kasvattaminen (increasing usage rate), vertailu (changing) ja vikaantumistason kohottaminen (tightening failure threshold)./15/

1. Vakiokuormituksessa (engl. constant stress) kuormitustaso pidetään vakiona koko tarkastellun jakson ajan (Kuva 3.13). Kuormitus voidaan järjestää myös siten, että kiinteitä tasoja on useampi, missä periaatteessa korkeampi kuormitustaso vanhentaa testiolosuhteissa tarkasteltavaa kohdetta enemmän. Vakiokuormitusmenetelmänä on yleisin sen yksinkertaisuuden, tiedon saatavuuden ja kerätyn materiaalin käsittelyn kannalta. Vakiokuormitustestauksen huonona puolena mainittakoon menetelmän aikaa vievyys.



**Kuva 3.13** Vakiokuormitus kahdella eri kuormitustasolla.

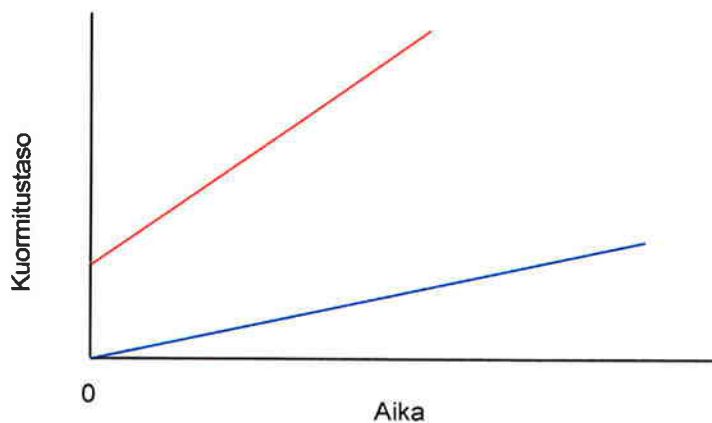
2. Porrasrasitus (engl. step stress) testaus järjestellään siten, että kuormittava suure pidetään vakiona sovitun tarkastelujakson ajan, minkä jälkeen uusi taso nostetaan seuraavan jakson ajaksi (Kuva 3.14). Näin edetään kunnes ennakkoon määritelty vikaantumismäärä tai aikayksikkö saavutetaan. Menetelmän etuna vakiokuormitusmenetelmään verrattuna on vikaantumisasteen saavuttaminen lyhyemmässä ajassa. Testausta voidaan hyödyntää tehokkaasti, kun tarkasteltavina yksiköinä on korkeaa luotettavuutta edustavat komponentit. Testaustyyppin mallinnukset eivät ole kuitenkaan vielä niin kehittyneitä, mikä saattaa johtaa epätarkkoihin lopputuloksiin.



**Kuva 3.14** Porraskuormitusmenetelmä, missä kaksi kuormitusmallia.

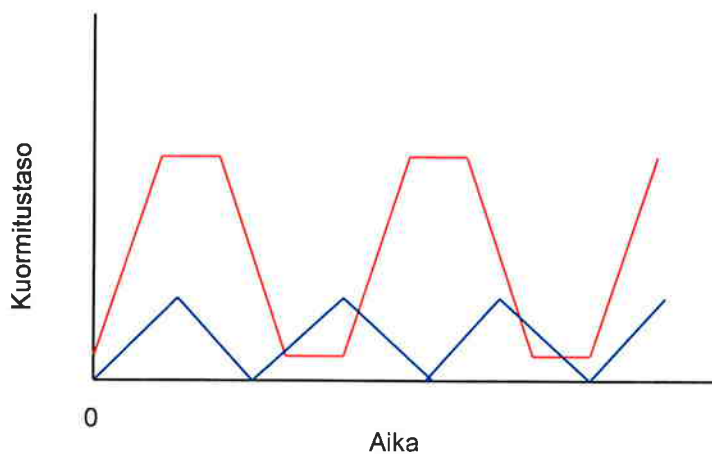
3. Progressiivinen kuormitus (engl progressive stress) on malli, missä kuormitettavaa suuretta kasvatetaan (usein lineaarisesti) siihen saakka kunnes ennakkoon määritelty

vikaantumistaso on saavutettu tai testaukseen määritelty aika on täyttynyt (Kuva 3.15). Mitä suurempi on kuormitusta vastaava muutos, sitä suurempia ovat vikaantumista vastaavat tapahtumat. Mallinnus on tehokas, mutta siinä tarvittava tietokanta on vaikeasti käsiteltävissä. Menetelmää voidaan käyttää selvittämään ensimmäiseksi hajoavat kohteet, mutta se ei sovellu hyvin kentällä esiintyvien vikojen simulointiin.



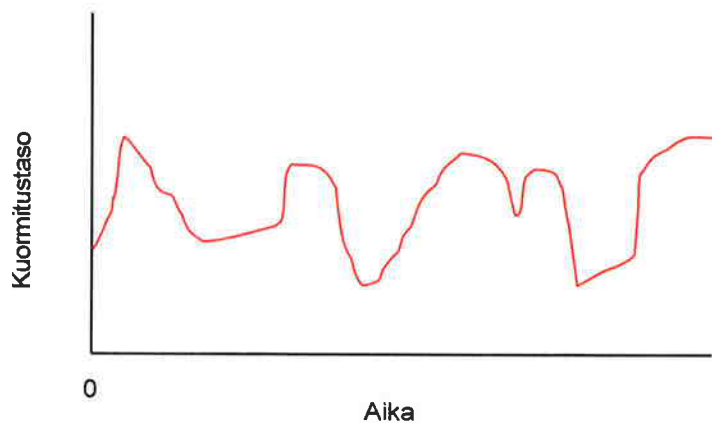
**Kuva 3.15** *Kaksi erilaista progressiivista kuormitussuoraa.*

4. Jaksottainen kuormitus (engl. cyclic stress) mallissa kuormitus tehdään jaksottaisesti ja on hyvä vaihtoehto silloin, kun halutaan simuloida laitetta todellisuutta vastaavissa rankoissa käyttöolosuhteissa (Kuva 3.16). Mikäli testauksessa raja-arvot ovat teknisten suorituskykyarvojen mukaisia, voi testi viedä kauankin. Tyypillisiä esimerkkejä on jaksottainen lämpökuormitus ja esimerkiksi sinimuotoisen värinälähteen käyttö.



**Kuva 3.16** *Jaksottainen kuormitus, missä kaksi erilaista sekvenssiä*

5. Satunnaiskuormitus (engl. random stress) on testausmenetelmä, jossa halutaan esimerkiksi tiettyä mekanismia tutkia todellista käyttöä vastaavissa olosuhteissa. Tällainen voisi olla esimerkiksi värinän vaikutuksien tutkiminen, missä haetaan vastaavuutta laitetoimituksien kuljetusolosuhteille (Kuva 3.16).



**Kuva 3.16** Satunnaiskuormitus.

**Käyntiasteen kasvattaminen** (engl. increasing usage rate) on testimenetelmä, missä tarkasteltavaa kohdetta rasitetaan normaaleita käyttöolosuhteita poikkeavasti. Testaus voi käsittää esimerkiksi sähköpiireissä latausyksiköiden kuormittamisen kytkemällä jännitteet päälle ja pois määritellyllä sekvenssillä. Todellisissa käyttöolosuhteissa tällaiset toiminnot ovat tyypiltään harvoin toteutuvia tapahtumia, mutta testitulanteessa voidaan selvittää vikaantumismalleja lisäämällä toimintoja normaalia käyttöä poikkeavasti. Koska testausproseduuri saattaa olla hyvinkin poikkeava tyypillisiin käyttöolosuhteisiin verrattuna, on testitulosten suhteen kiinnitettävä huomiota siihen, että niiden perusteella tehtävät johtopäätökset on myös arvioitava hyvin tarkasti mahdollisten virhetulkintojen takia.

1. Kuormitustaajuuden kasvattaminen (engl. increasing speed)

Testimenetelmä voisi olla esimerkiksi taajuusmuuttajan toistuvaa suunnan vaihtoa täydellä teholla, minkä seurauksena voi olla myös tutkittavan kohteen lisäksi muita seurannaisia rasitustekijöitä, kuten poikkeavia lämpenemisvaikutuksia. Tällaisten ilmiöiden vaikutukset on huomioitava ja kompensoitava testituloksien tarkastelussa.

## 2. Käynnissäoloajan lisäys (engl. reducing off time)

Laitteen toiminta- ja käyntiaikaa voidaan kasvattaa sellaisilla laitteilla, joissa todellinen tyypillinen käyttöaika on tiedossa. Mikäli laite on käytössä 24/7, voi tällä menetelmällä olla vaikea saada tuloksia.

**Vertailu** (engl. changing control factor level) on testimenetelmä, missä selvitetään esimerkiksi jonkin helposti testattavan kappaleen vikaantumismallia tai elinikää, ja yritetään saada sen kautta tietoa suuremman laitteen käyttäytymisestä. Vertailu ei aina välttämättä onnistu, sillä mallinnettavan laitteen rakenteet saattavat aiheuttaa menetelmän tuloksiin epäluotettavuutta.

**Vikaantumistason kohottaminen** (engl. tightening failure threshold) kuvaa kohteen ominaisuuksien muuttumista siten, että suunnitellun perusteena olevat arvot poikkeavat laitteen eri elinkaaren vaiheessa. Laitteen ominaisuuksien muuttumisen perusteella voidaan kohteelle määrittää suunnittelun kannalta uusi tekninen kuvaus. Esimerkkinä todettakoon LED:n valotehon muuttuminen ajan suhteessa, minkä perusteella voidaan määrittää uusi tekninen vaatimustaso. Menetelmää voidaan hyödyntää sellaisissa kohteissa, joissa yksittäisen komponentin vanheneminen tunnistetaan ja sen ominaisuudet muuttuvat ikääntymisen seurauksena.

### 3.1.3.1. HALT

Kiihdytettyjen testausmenetelmien, HALT (Highly Accelerated Life Tests) tarkoitus on paljastaa tuotekehityksen alkuvaiheessa ne mahdolliset puutteet, mitkä saattavat tulla esille vasta normaaleissa käyttöolosuhteissa. Testitapahtumassa havaitut vikaantumiset käsitellään kukin erikseen ns. vakavina tapauksina. Menetelmät perustuvatkin tuotteen luotettavuuden kehittämiseen sen perustoimintojen luotettavuutta parantamalla eikä tietoa laitteen luotettavuuden todennäköisyystekijöistä. Kun yksi vikaantumisilmiön kehittyminen on saatu testauksen ja sen jälkeisen korjaavan tuotekehitystyön kautta eliminoitua, saadaan tuotteen luotettavuus nostettua seuraavalle tasolle./15/



HALT -menetelmää käytetään simuloimaan kohteen vikaantumista todellisuutta vastaavasti. Menetelmän pääperiaate on kuormittaa kohde sellaisissa olosuhteissa, mitkä eivät kuitenkaan käytännön sovelluskohteessa koskaan toteudu. Poiketen ALT mukaisesta kuormitustavasta, HALT ylittää tekniset arvot tietoisesti tarkoituksena löytää erilaisia vikaantumismalleja ja heikkouksia laitteen konstruktiossa. Kuormittavia fysikaalisia parametreja ovat esimerkiksi käyttöolosuhteiden ääriämpötila, kuormittava lämpötilanvaihtelut, kosteuskuormitus, jännite tai vastaavat tekijät, joilla lyhyessä ajassa saadaan vauriotila aikaiseksi. Kun vauriomekanismi on selvitetty ja korjaustoimenpiteet on laitteelle tehty, voidaan kohteelle tehdä uusi HALT -testaus, missä haetaan seuraavan tason vikaantumismekanismeja.

**Taulukko 3.1** Kiihdytettyjen testausmenetelmien ALT ja HALT vertailu./15/

	<b>HALT</b>	<b>ALT</b>
<b>Sisältö</b>	Luotettavuuden parantaminen	Luotettavuuden mittaaminen
<b>Toteutusaika</b>	Suunnittelu- ja kehitysvaihe	Suunnittelu-, kehitys- ja jatkokehitysvaiheet
<b>Kuormitustapa</b>	Mikä tahansa	Kenttäolosuhteet
<b>Kuormituksen aste</b>	Vaurioitumiseen saakka	Toimintapisteen alapuolella
<b>Kuormituksen tyyppi</b>	Porraskuormitus	Kiinteä, porras, progressiivinen satunnaiskuormitus
<b>Kuormituksen kesto</b>	Lyhyt	Pitkä
<b>Tiedon keräys</b>	Ei	Mahdollinen toteuttaa
<b>Kohteen koko</b>	Pieni	Suuri
<b>Kiihdysmalli</b>	Ei käyttökelpoinen	Tarvitaan
<b>Elinkaaren analysointi</b>	Ei	Kyllä
<b>Vikaantumisanalyysi</b>	Kyllä	Optio
<b>Vikaantumistyyppien esiintyminen kentällä</b>	Epävarma	Kyllä
<b>Vikaantumisen peruste</b>	Suunnitteluvirhe	Puutteellinen kestävyys suunnittelu tai suunnitteluvirhe
<b>Confirmation test</b>	Tarvitaan	Ei

Menetelmän tehokkuus perustuukin testaa-korjaa-testaa malliin, mutta toisaalta

kenttäolosuhteiden todellisten riippuvuuksien ollessa puutteellisia, ei käytössä vastaavia vikatyyppejä tule koskaan esille. Taulukossa 3.1 on esitetty HALT - ja ALT -menetelmien eroavuuksia. Siitä huolimatta, että HALT -testauksella parannetaan poikkeuksetta kohteen luotettavuutta, saattaa menetelmä ohjata suunnittelun kannalta ylilyönteihin, mikä edelleen johtaa tuotesuunnittelun osalta kustannustason nousuun ja suunnitteluun tarvittavan ajan lisääntymiseen. HALT -menetelmällä onkin tärkeää, että kukin vikaantumisen arvioidaan suhteessa todellisiin käyttöolosuhteisiin ja loppuasiakkaan vaatimuksiin.

### 3.1.3.2. Karsinta

Ennen tuotteen lopullisen valmistuksen aloittamista on valmistusprosessin edellyttämät määrittelyt oltava hyväksytyinä. Luotettavuustestit on läpäisty ja prototyyppi- sekä pilottilaitteista on saatu ensimmäiset käyttökokemukset, jotka tukevat laitteelle annettuja luotettavuusmäärittämiä. Sarjatuotantolinjalta valmistuvien laitteiden luotettavuusvaatimukset saattavat kuitenkin poiketa lopullisen käyttökohteen edellyttämästä tasosta. Ero voi johtua kokoonpanoprosessiin toteutetuista muutoksista, raaka-aineista, alihankinnasta tai siitä, että lopullisen käyttökohteen kuormitusta tai olosuhteita ei osattu arvioida kehitysvaiheessa oikein. Tällöin uusi laite saattaa rikkoutua odottamattomasti lyhyen käytön jälkeen. Ilmiö on tyypillistä elektronisissa laiteissa ja vikaantumisilmiöitä kutsutaan uuden laitteen lastentaudiksi (engl. infant mortality). Karsintatekniikalla (engl stress screening) pienennetään, onnistumatta kuitenkin täysin poistamaan, valmistettavien laitteiden vikaantumistodennäköisyyttä sopivaksi määritellyllä testauksella tai kuormitusmenettelyllä. Huolimatta siitä, että kehitys- ja suunnitteluvaiheessa panostetaan luotettavuutta parantaviin ratkaisuihin, on karsinta tehokas menetelmä varmistaa laitteen käyttövarmuus ennen sen lopullista toimitusta. Karsintatekniikka voidaan luokitella viiteen ryhmään, joita ovat:

- 1) Burn-in
- 2) ESS (environmental stress screening)
- 3) HASS (highly accelerated stress screening)
- 4) Discriminator screening
- 5) Degradation screening

*Burn-in*, joka kehittyi puolustusteollisuudessa ja oli ensimmäinen testausmenetelmä, jota sovellettiin elektroniikkakomponenttien seulontaan, on vielä laajasti käytössä teollisuudessa. Menetelmän periaate on kohteen kuormittaminen, esimerkiksi kuormitussuurena virta, mitoitusarvojen sisällä tietyn ajanjakson. Testauksen avulla saadaan seulottua lempeällä tavalla piileviä vikoja, kuten elektroniikkapiireihin jääneet epäpuhtaudet tai huonot liitokset.

*ESS* on vastaava menetelmä kuin *Burn-in*, eli sillä on ennalta määrätty kuormitus ja sen vaikutusaika. Se poikkeaa kuitenkin siten, että käyttöolosuhteet poikkeutetaan nimellistasosta. Yleisimpiä malleja ovat esimerkiksi käyttölämpötilan vaihtelu, kohotettu satunnainen värinätaaso, kosteus ja kuormituksen vaihtelu. Sovellettuna seulonta tehostuu vielä, kun kuormittavia parametreja on kaksi tai useampi. Vaikka periaatteeltaan *ESS* on hyvin samanlainen kuin *Burn-in*, pidetään sitä tehokkaampana, sillä kuormitus toteutetaan dynaamisena ja lisäksi tekniset nimellisarvot ylitetään. Tällöin saadaan aikaiseksi esimerkiksi elektroniikkakomponenteille halutunlainen vanhennuskäsittely.

*HASS* on kuten *ESS*, mutta tehokkaampi. Kuormitustekijät voivat tosin olla muuta, kuin mitä laite kohtaa sille suunnitelluissa käyttöolosuhteissa. Kuormitustekijä määritellään mahdollisimman korkeaksi, jotta piilevä vikaa saadaan esille nopeasti. Periaatteena on kuormittaa kohdetta niin, että vikaantumisprosessi nopeutuu, mutta toisaalta tason pitää olla sellainen, että normaali kunnossa oleva laite ei ominaisuuksiltaan huonone eikä vanhene enneaikaisesti.

*Discriminator screening* edustaa menetelmää, missä on määritelty kuormituksessa niiden muuttujien taso, jotka yhdessä tai erikseen määrittelevät, läpäiseekö tuote sille asetetut arvot. Kuormitus toteutetaan laitteen nimellisarvojen sisällä, joten kunnossa olevat laitteet eivät vanhene eivätkä vaurioidu rasiustilanteessa. Menetelmä haastavuus on siinä, että erotuskyvyltään ja luotettavuudeltaan sopivan muuttujan määrittäminen saattaa olla käytännössä hankalaa.

*Degradation screening* on *ESS*:n mukainen menetelmä, missä laitetta tai ominaisuutta rasietaan tietyn ajan, jolloin vialliset vanhentuu nopeasti ja hyvät yksilöt huonontuvat vastaavasti hitaasti. Mikäli laite läpäisee kuormitusprosessin jälkeen sille asetetut

mittausarvot, todetaan sen olevan kunnossa. Menetelmä on tehokkaampi kuin *Discriminator screening* ja se ei vaurioita kunnossa olevia laitteita niin kuin ESS:n tapauksessa saattaa olla mahdollista.

Taulukossa 3.2 on vertailtu eri karsintamenetelmien merkittävimpiä ominaisuuksia keskenään./15/

**Taulukko 3.2 Erot ja yhtäläisyydet eri karsintatekniikoiden välillä./15/**

	Burn-in	ESS	HASS	Discriminator screening	Degradation screening
<b>Kuormitus- tyyppi</b>	Useimmiten lämpötila	Jaksotettu lämpörasitus, satunnainen tärinä, teho, lämpötila	Jaksotettu lämpörasitus, satunn.tärinä, teho, lämpötila, jne	-	Jaksotettu lämpörasitus, satunn.tärinä, teho, lämpötila, jne
<b>Kuormitustaso</b>	Matala, kiinteä	Korkea, muuttuva	Hyvin korkea, muuttuva	-	Korkea, muuttuva
<b>Kesto</b>	Pitkä	Lyhyt	Hyvin lyhyt	Hyvin lyhyt	Hyvin lyhyt
<b>Kustannus</b>	Korkea	Alhainen	Alhainen	Alhainen	Alhainen
<b>Vaurioita terveissä laitteissa</b>	Vähän	Paljon	Hyvin paljon	Lähes olematon	Vähän
<b>Luokitus</b>	Toiminnallisuus	Toiminnallisuus	Toiminnallisuus	Kynnysarvo	Mittaus ja kynnysarvo

Erilaiset monimutkaisten elektroniikkakorttien ja komponenttien testaukset ja karsintamenetelmät kattavat nykyisin jopa yli 20 % tuotteen valmistuksen kokonaiskustannuksista./16/ Valmistaja joutuu optimoimaan oikean testausstrategian yhtiön tuotteiden laadun, luotettavuuden ja turvallisuusarvot huomioiden. Yhtiön brändi on merkittävä tekijä lopputuotteen laatuaroja määritettäessä. Erilaiset testaukset laitteen valmistuksen yhteydessä kattavat niin yksittäisten komponenttitoimittajien laadunvalvonnan, alihankintatoiminnan ja valmiin tuotteen lopputestauksen. Osan testauksista voi tehdä komponenttitoimittaja tilaajan määrittelyn mukaisilla

testausmenetelmillä ja dokumentoida tulokset osana toimitusta. Vaikka testaus tuotteen eri valmistusvaiheissa aiheuttaa helposti mitattavia suoria kustannustekijöitä, pystytään sillä oikein toteutettuna vaikuttamaan merkittävästi jälkeempään syntyviin takuukustannuksiin. Lisäksi testauksen avulla pystytään keräämään aineistoa jo seuraavankin sukupolven laitteen luotettavuuden määrittämiseksi.

#### **3.1.4. Yleisiä luotettavuusohjelmistoja**

Valmiiden luotettavuusohjelmistojen hyödyntäminen on keskeisessä osassa laitteen suunnittelussa. Ohjelmistot perustuvat luotettavuuden kannalta kohdassa 3.1.2. esitettyjen erilaisten menetelmien systemaattiseen soveltamiseen, tulosten analysointiin sekä todennäköisyyksien ja ennusteiden laatimiseen. Ohjelmien käyttöliittymät on rakennettu käyttäjälle selkeiksi ja tulosten raportointi on mahdollista visualisoida automaattisesti hyvin monipuolisesti. Ohjelmistot muodostuvat usein erilaisista moduuleista, jotka edustavat määrättyjä luotettavuusmallien toiminnallisuuksia. Käyttäjä voi näin räätälöidä tarpeensa moduulirakenteiden mukaan. Vaikka valmiit ohjelmistot helpottavat ja systematisoivat luotettavuusanalyysia, on itse rakennetun taulukkolaskennan avulla (esimerkiksi MS Excel) yhtäläinen mahdollisuus päästä hyviin lopputuloksiin. Esimerkiksi FMEA taulukkolaskennan pohjalle tehtynä se voi olla helpommin jaettava, muokattava ja selkeämpi vaihtoehto kuin valmisohjelmiston vastaava. Esimerkkejä valmiita luotettavuustyökaluja tuottavista ohjelmistotaloista:

- RELEX.com
- RELIASOFT.com
- ITEMSOFTWARE.com
- ISOGRAPH-SOFTWARE.com
- THERIAC.org

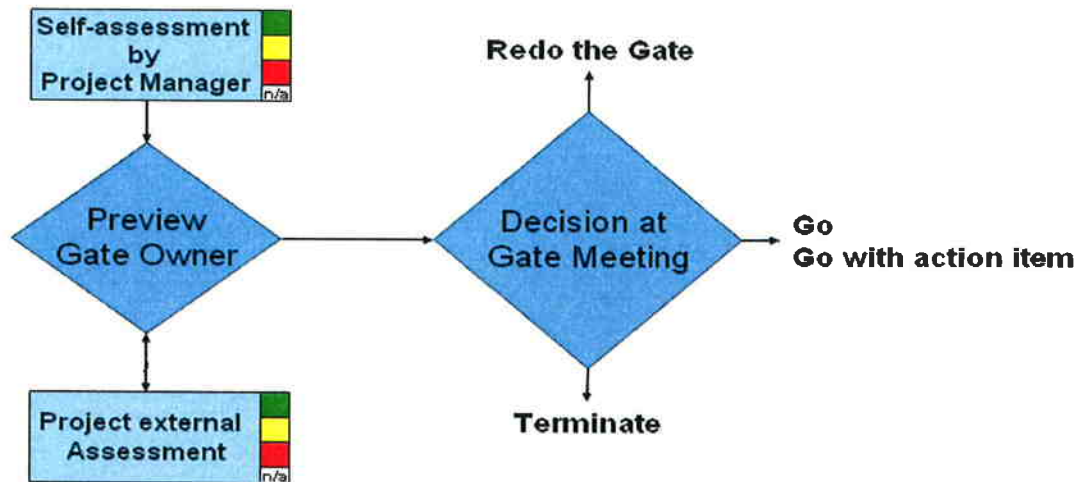
### **3.2. Taajuusmuuttajan elinkaaren aikana luotettavuuteen vaikuttavat tekijät**

Taajuusmuuttajan elinkaari ja sen aikainen luotettavuus muodostuu useasta eri osatekijästä. Suunnitteluvaiheessa luodaan perusteet ja tekniset ratkaisut laitteen toimintavarmuudelle. Valmistuksen yhteydessä luotettavuuteen vaikuttaa luonnollisesti komponenttitason ratkaisut, alihankinnan laatu ja varsinainen laitteen kokoonpanon virheettömyys. Valmistusvaiheessa on kiinnitettävä erityistä huomiota käytettävien komponenttien käsittelyyn niin korroosiomielessä kuin ESD -vaatimustenkin osalta. Lopputestausmenetelmien ja toimivan laadunvalvonnan merkitys valmistusvaiheen lopussa antavat taajuusmuuttajan luotettavuudesta yhtiön imagolle lisäarvoa. Valmiin laitteen pakkaus, kuljetus, varastointi ja asennus loppukäyttöpaikalleen edellyttävät edelleen luotettavuustekijöiden huomioimista. Laitteen toimintavarmuus käytössä perustuukin osittain sitä edeltäneen toimitusketjun eheyteen. Onnistunut tekninen mitoitus, vaatimukset täyttävät käyttöolosuhteet ja oikein suoritettu kunnossapito sekä laitteen hallittu hävittäminen varmistavat suunnitellun käytettävyyden toteutumisen loppukäyttäjän tuotantoprosessissa.

#### **3.2.1. Gate -malli**

ABB:llä on tuotekehityksen työkaluna kahdeksanportainen GATE -malli, missä projektin eri vaiheet on tarkasti määritelty ja edellisen vaiheen tilan hyväksyntä on seuraavan kehitysvaiheen ehtona. Toimintamallin perusteena yhtäällä on tuottaa tarvittavaa tietoa uusien tuotekehitysprojektien käyttöön, toisaalla minimoida aika, kun uusi tuote halutaan saattaa nopeasti markkinoille sekä hallita niin ikään laatukustannuksia. Lisäksi mallin avulla varmistetaan yhteinen kehitysprojektin terminologia ja eri organisaation valmius uuden tuotteen kannalta. Luotettavuus on mukana tuotekehitysprojektin kaikissa vaiheissa niin ikään GATE -malliin kiinteästi määriteltynä toiminnon osana.

Määritetty projekti- tai ohjausryhmä arvioi kunkin vaiheen tehtävät, minkä mukaan projektisuunnitelmaa ohjataan (Kuva 3.17). Mikäli GATE -pisteessä esiintyy puutteita tai projekti vaatii tarkennuksia, niille määritetään korjaavat aikataulutetut toimenpiteet.



**Kuva 3.17** GATE -mallin mukaisen tuotekehityksen päätöksentekoprosessi, missä projekti voi edetä seuraavaan vaiheeseen, mikäli ennalta sovitut toiminnot on hyväksytysti suoritettu./26/

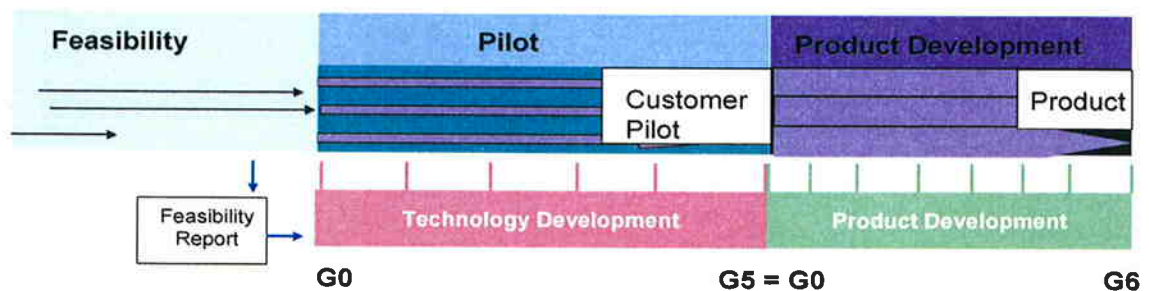
Ennen ensimmäisen GATE -vaiheen käynnistymistä on uudelle tuotteelle tehty laajaa tutkimus- ja taustatyötä markkinoiden selvityksien, teknisten ratkaisumallien ja tuotantosuunnitelmien parissa.

Eri päätöksentekovaiheissa on organisaatioista mukana varsinaisen projektinhoidon lisäksi useita sidosryhmiä. Teknologiaosasto, varsinainen tuotekehitys sekä tuotepäällikkö ovat yhteistyössä jo melko alkuvaiheessa valmistus- ja huolto-organisaation kanssa huomioiden myös niiden toiminnot. Samoin myynnin ja markkinoinnin mukana olo on vahvasti esillä, joskin painottuen projektin loppuvaiheeseen. Laatuorganisaatio, koulutustoiminnot sekä alihankinta ovat niin ikään edustettuna GATE -mallin eri vaiheissa./26/

### 3.2.2. Tuotekehitys

Seuraava sukupolven taajuusmuuttajan tuotekehitys alkaa markkinalähtöisesti, jolloin huomioidaan laitteen tulevan käyttäjäkunnan lisäksi nykyisten laitteiden elinkaari sekä käytössä olevan uuden teknologian tarjoamat kustannustehokkuustekijät.

Kun tuote on saanut GATE -mallin hyväksynnät ja sen valmistus on päätetty aloittaa sovitulla aikataululla, rakennetaan ensimmäiset ns. prototyypin yksiköt, joilla voidaan tehdä ensimmäisiä teknisiä tyyppitestauksia. Tämän testausvaiheen jälkeen etsitään yhteistyössä loppukäyttäjän kanssa sopiva pilottikohde, johon jo lähes lopullisessa muodossa oleva rakenne asennetaan todelliseen käyttösovellukseen. Tuotannonsuunnittelu on tuolloin niin pitkällä, että tuotantoversio voidaan käynnistää, joskin pieniä muutoksia saattaa vielä tapahtua. Luotettavuuteen vaikuttavat peruskonstruktio ja tekniset arvot ovat joka tapauksessa jo määritetty. Kuvassa 3.18 on esitetty periaate, missä GATE - päätöksentekovaiheiden jälkeen edetään tuotekehitysprosessissa eteenpäin.



**Kuva 3.18** Uuden ABB:n valmistaman tuotteen kehitysvaiheet ennen sarjatuotannon aloittamista. Ennen asiakkaalle tehtyä pilottia edeltää selvitysvaihe (Feasibility) ja panostus sopivan teknologian kehittämiseen./26/

### 3.2.3. Valmistus

Taajuusmuuttajan valmistus tapahtuu kokoonpanolinjassa, missä tuotannonohjausjärjestelmän mukaisesti valmistettava yksikkö saa ensimmäisessä vaiheessa valmistustunnisteensa. Yksikön runko liikkuu valmistuslinjalla työpisteeltä seuraavaan ja siihen asennetaan pääosin käsityönä osat vaiheittain pääkomponenteista lähtien päättyen tyypillisesti päällimmäisiin elektroniikkakortteihin. Asennettavat osat toimitetaan ESD- ja korroosiovaatimukset huomioiden työskentelyalueelle ja komponentit ohjelmaversioineen rekisteröidään järjestelmän kautta loppukoestuspöytäkirjaan. Taajuusmuuttajan luotettavuuteen vaikuttaa valmistuksen aikana kokoonpanoprosessin



hallinta, ammattitaito, ohjeistus, käytetyt komponentit ja alihankinta. Valmistusvaiheessa keskeisessä asemassa on vikatilastojen seuranta ja tuotannon vikojen poisto sekä kenttätietojen perusteella tehtävät korjaavat toimenpiteet.

#### **3.2.4. Toimitus ja asennus**

Oikealla toimituspakkauksella varmistetaan kuljetus- ja varastointivaiheiden aikana laitteen joutumista alttiiksi niin ilman kosteudelle kuin korroosiota aiheuttaville tekijöille. ESD -vaatimuksia on noudatettava ja pakkauksen selkeällä merkintäteknikalla varmistetaan osaltaan laitteen käyttövarmuutta. Kuljetuksen ja varastoinnin aikana on muistettava sallitut lämpötilat, kuljetuksen aikaisen värinän vaikutus, mahdolliset iskut ja kuljetusasetusvaatimukset. Toimitus käsittää tarvittavat käsikirjat ja ohjeet, joiden avulla pystytään mahdollisimman yksiselitteisesti varmistamaan laitteen asianmukainen käsittely ja oikea asennustekniikka. Laitteen suunnittelussa on huomioitava asennuksen selkeys ja laitteen erilaiset merkinnät siten, että ammattitaitoinen asentaja pystyy helposti tekemään tarvittavat toimenpiteet.

#### **3.2.5. Käyttö ja kunnossapito**

Laitteen käyttöönotolta odotetaan nykyisin yksinkertaisuutta ja perussovelluksien suhteen taajuusmuuttajan myyntiargumentiksi on nostettu käyttöönoton helppous. Käyttöliittymien suunnittelussa on kiinnitetty huomioita operoinnin yksinkertaisuuteen ja selkeyteen niiden sisältäen nykyisin jopa erilaisia valmiita tehdasaseteltuja sovellusympäristöjä (makrot). Kunnossapidettävyyden kannalta taajuusmuuttajan rakenne, komponenttien sijoittelu ja niiden asennustavat pyritään suunnittelemaan siten, että mahdolliset myöhemmät korjaustoimenpiteet ovat helposti tehtävissä. Varaosien suunnittelussa huomioidaan komponenttien yhteensopivuus sekä niiden merkintäteknikka ja koodaus.

### **3.2.6. Käytöstä poisto**

Taajuusmuuttajan käytönjälkeinen romutus pyritään tekemään mahdollisimman vähän ympäristöä kuormittamalla. Laitteen rakenteet ja materiaalit on valittu siten, että ne pystytään kierrättämään ympäristöystävällisesti. Taajuusmuuttajan sisältämät kierrätettävät aineet, kuten alumiini (Al), kupari (Cu), rauta (Fe), lisäksi elektroniikkakorteissa pienet määrät jalometalleja kultaa (Au), hopeaa (Ag), onnistutaan pääosin keräämään talteen sähkö- ja elektroniikkaromun keräysjärjestelmien avulla. Vastaavasti isotehoiset elektrolyyttikondensaattorit pyritään toimittamaan ongelmajätteiden käsittelylaitoksille hävitettäväksi./27/

### **3.2.7. Turvallisuus**

Kansainväliset turvallisuuteen liittyvät direktiivit ovat suunnittelun perusta ja uusille laitteille hankitaan turvallisuuden edellyttämät eri tahojen standardien mukaiset sertifikaatit. Laitteen käyttöergonomiaan ja operoinnin selkeyteen on kiinnitetty huomiota taajuusmuuttajalaitteiden yleistyttyä ja tultua lähemmäksi ns. normaalikäyttäjää. ABB:n taajuusmuuttajavalmistuksen asiantuntijat osallistuvat turvallisuusstandardoinnissa useiden eri komiteoiden tai työryhmien työskentelyyn joista osa toimii kansallisella ja osa kansainvälisellä tasolla.

### **3.2.8. Ympäristö**

Ympäristöarvot ovat nousseet keskeiseksi asiaksi, mitä tulee nykyisin taajuusmuuttajan valmistukseen, toimitukseen ja käyttöön. Niiden seurauksena on otettu käyttöön ympäristösertifikaattien mukainen toimintamalli käsittäen koko toimitusprosessin sekä siinä käytetyt materiaalit, käsittäen niin pakkaukset kuin alihankkijoiden ja jakelijoiden ympäristöjärjestelmien sertifiointin.

ABB on ottanut käyttöön taajuusmuuttajan kokonaisympäristökuormitusvaikutukset niin valmistuksen, käytön kuin laitteen käytöstä poistonkin osalta. Hiilijalanjälkeä ja ympäristökuormitusta verrataan mm. uusiutuvien ja uusiutumattomien raaka-aineiden käytön, kasvihuonekaasujen ja otsonitason ekvivalentteihin suhdelukuihin. Taajuusmuuttajan ekologisella takaisinmaksuajalla kuvataan sen ympäristövaikutuksen kokonaisvaikutusta verrattuna esimerkiksi fossiilisiin polttoaineisiin ja se on tyypillisesti taajuusmuuttajalla tyypistä ja tehosta riippuen muutamasta päivästä pariin viikkoon./27/

### **3.2.9. Energiatehokkuus**

Komponenttitasolla haetaan hyötysuhteiltaan yhä parempia osia siitä huolimatta, että taajuusmuuttajan kokonaishyötysuhde perustuu pitkälti oikein määriteltyyn mitoitukseen ja nimellisen toimintapisteeseen hyödyntämiseen. Tehoasteessa syntyy häviölämpöenergiaa, mutta sen hyödyntäminen esimerkiksi lämmön talteenottojärjestelmiin, on taloudellisesti haastavaa sen lämpötilatason ollessa verrattain matala.

Laittevalmistajat ovat nykyisin vahvasti mukana energiatehokkuushankkeissa, joissa yhdessä prosessinomistajan tai loppukäyttäjän kanssa haetaan uudelle tuotteelle perinteisten toiminnallisuuden lisäksi suoria tai epäsuoria energiatehokkuusnäkökohtia. Uudet laitteet saattavat sisältää erilaisia valmiita ohjelmoituja toimintoja, joiden avulla käyttäjä voi esimerkiksi soveltaa energiaa säästäviä ohjaustapoja ja seurata energiakulutuksen toteumaa. ABB on ollut vahvasti mukana kansainvälisesti energia-asioiden kehittämisessä yhdessä asiakkaidensa kanssa, mistä seurauksena ovat erilaiset energiatehokkuussopimukset.

#### **4. Käytön aikana tehtävät havainnot**

Taajuusmuuttajan käynninaikainen tarkastus on ennakoivan kunnossapidon menetelmä, jossa suhteellisen yksinkertaisin ja turvallisoin keinoin yritetään selvittää laitteen toimintaa tarkastushetken käyttö- tai ajotilanteissa. Tarkastukset perustuvat pääasiassa aistinvaraisiin havaintoihin (kuulo, haju, näkö ja tunto) sekä yksinkertaisiin ilman erityisjärjestelyjä suoritaviin mittausoperaatioihin.

Käynnin aikaisen tarkastuksen vaatimus on, se että se voidaan tehdä turvallisesti laitteen tai laitteiston toiminnan häiriintymättä. Tarkastustoiminnan pitää olla myös suunnitelmallista ja dokumentoitua, jotta sen perusteella voidaan seurata mahdollisesti vikaantumisen tai ikääntymisilmiöiden kehittymistä yksittäisellä laitetasolla. Laitteiden rakenteiden kehittyminen ja konedirektiivit ovat vaikuttaneet havaintojen suorittamiseen siten, että esimerkiksi suoja- tai katerakenteet saattavat estää pääsyn riittävän lähelle tarkasteltavaa kohdetta. Lisäksi laitteiden asennuspaikat voivat olla sellaisia, että niiden luokse pääseminen edellyttää esimerkiksi telineitä tai muita erikoisjärjestelyjä.

Aisteihin perustuvien havaintojen laadullisen luokittelun puutteena voidaan pitää, että se perustuu pitkälti tekijän itsensä kokemusperäiseen ja subjektiiviseen näkemykseen, jolloin eri henkilöiden havainnot samasta kohteesta saattavat vaihdella huomattavastikin toisistaan. Lisäksi erilainen kohteen kuormitustilanne ja tarkastusolosuhteet ovat vaikuttamassa tällaisen havainnoinnin analysoinnissa. Tarkastusten yhteydessä toteutettavat mittaukset voivat olla esimerkiksi lämpötilojen mittauksia ja yksinkertaisia perusmittauksia vaikkapa yleismittarilla ko. tarkoitusta varten olevista mittapisteistä.

##### **4.1. Site Audit kunnossapitopalvelutuote**

Site Audit on ABB Oy Servicen sähkökäyttöjen elinkaaripalvelu, missä tilaajalle selvitetään kenttätyönä laitteiston kunto sen elinkaaren suunnittelun tueksi. Site Audit kunnossapitopalvelutuote voi sisältää kokonaisen tehdaslaitoksen, erillisten linjojen tai

yksittäisten prosessilaitteiden osalta teknisen selvityksen asennetun laitteiston tai varaosien kunnosta sekä elinkaaren tilasta (LIITE 2).

Palvelu sisältää ensimmäisessä vaiheessa käytössä olevien laitteiden lähtötietojen selvityksen esimerkiksi asiakkaan ylläpitämästä erillisestä rekisteristä tai kunnossapitojärjestelmästä. Mikäli tilaajalla on käytettävissä tarkasteltavan laitteiston kriittisyysmäärittelyt tai luokitukset, hyödynnetään myös tätä tietoa tarkasteltavan laitekannan arvioinnissa. Luvussa 2.4. esitetty elinkaaren status huomioidaan tarkasteluhetkestä eteenpäin esimerkiksi viiden vuoden aikavälille. Esitystapa mahdollistaa tarkasteltavan alueen laitekannan ikääntymisen seuraamisen, minkä tiedon laitoksen omistaja voi hyödyntää tulevien vuosien investointisuunnittelussa. Mikäli elinkaaren statusarvoa ei ole käytettävissä, voidaan arvioida esimerkiksi laitetyypin tilaa käyttäen hyväksi valmistajan tuotemallistoja, tuotejulkaisuja ja yleistä kokemukseräistä tietoa laitteen saatavuudesta.

Seuraavaksi sovittu laitekanta käydään normaalin tuotantoajon aikana todentamassa kentällä ja puuttuvat tiedot täydennetään asennettua laitteistoa vastaavaksi. Tässä yhteydessä kukin laite tai laitepaikka tarkastetaan ja tehdään dokumentti, missä selviää laitteen huoltohistoriaa, tietoja laitteen käyttöolosuhteista, rekisteröidään mahdollisen vikapuskurin vikakoodit sekä arvioidaan muutenkin laitteen teknistä tilaa. On hyvin tyypillistä, että laitteiston oletetut lähtötiedot ja todellinen kentällä oleva tilanne poikkeaa huomattavasti laitemäärien suhteen, laitetiedoista puhumattakaan. Kenttätyön tekee kokenut huoltoinsinööri, jolla on laaja kenttätyökokemus sähkökäyttöjen kunnossapidosta, jolloin hän voi kokemukseräisesti arvioida laitteen käyttövarmuutta ja ehdottaa suoraan mahdollisia kunnossapitotoimenpiteitä. Paikallinen laitoksen henkilöstö opastaa löytämään tarvittaessa asennettujen laitteiden sijaintipaikat. Tarkastuksen yhteydessä laitteet, jotka todetaan tarvitsevan välitöntä kunnossapitotoimenpidettä, raportoidaan välittömästi asiakkaan yhteyshenkilölle.

Kolmannessa vaiheessa täydennetään käytetyt taulukot raportiksi, missä voidaan esittää, tässä tapauksessa ABB:n ollessa myös palveluntuottaja, mahdolliset kunnossapidon ennakkosuunnittelut ja linjausehdotukset. Huoltosuunnittelu perustuu nykyisin uusien tuotteiden osalta laitevalmistajan jo laitteen valmistusvaiheessa antamiin

Perusedellytyksenä tarkasteluhetkellä on kohteen oltava normaalissa käytössä ja kuormitettuna siten, että mittauksen toistettavuus on määriteltävissä. Kentällä havainnot saatetaan tehdä hyvinkin vaihtelevissa olosuhteissa ja tilanteissa, mikä saattaa vaikeuttaa niiden luokittelua, minkä vuoksi tarkastuskohteen ja arvioinnin sisällön on oltava selkeästi ennakkoon määritelty ja riittävän yksinkertainen. Niiden on oltava myös tekijän kannalta turvallisesti tehtävissä niin, että käynnissä oleva tuotantotilanne tai prosessi ei häiriinny.

Käyttöhenkilöstön tekemiä havaintoja ja historiatietoja voitaisiin myös hyödyntää tällaisissa selvityksissä. Luonnollisin menetelmä olisi seurata ja kerätä tapahtumia reaaliaikaisesti kaikista käyttökohteista, jolloin ne voitaisiin luokitella myöhemmin erilaisten kriteerien perusteella. Myös inhimillisistä tekijöistä johtuvia häiriötilanteita, kuten vaikkapa ajoteknisiä tapahtumia, olisi mahdollista rekisteröidä suoraan järjestelmiin.

Käytännössä prosessin kautta saatava informaatio ei ole kuitenkaan käyttökelpoista, sillä

- kaikki virheet eivät johda vikaantumisiin eikä niitä sen takia seurata
- on mahdotonta olla jatkuvasti yhteydessä kaikkeen tietomäärään, lisäksi tieto vanhenee
- vakavat vauriot ovat kaikesta huolimatta harvinaisia ja käyttäjät voivat antaa vain muutamia tietoja siitä, mikä johtaa vauriotilanteiden välttämiseen.

Nykyisin yleistyvässä kunnossapitomallissa käyttöhenkilöille annetaan vastuuta sovittujen kunnossapitotoimintojen suorittamisessa käytön aikana tai seisokkien yhteydessä mahdollistaen sitten jatkossa kerättyjen tietojen luotettavamman analyysin./28/

#### **4.2.1. Turvallisuus**

On todettu, että turvallinen laite on myös luotettava, mikä seikka pitää huomioida kentällä tehtävän tarkastuksen yhteydessä. Vaikka turvallisuus on ollut keskeisenä tekijänä jo suunnittelupöydällä, on jatkuva turvallisuusasioiden seuranta lopullisella käyttöpaikallaan yksi osa turvallisuuden ja näin ollen luotettavuudenkin kehittämistä. Turvallisuusperusteet voidaan jakaa kolmeen alueeseen, jotka ovat henkilö-, käyttö- ja ympäristöturvallisuus.

Standardit ja viranomaismääräykset määrittelevät minimitasot, joiden mukaan taajuusmuuttajien on oltava hyväksytyjä. Lisäksi laitteen yleinen vaatimustaso käyttöpaikalla on oltava teknisesti oikein määritelty sovelluksen suhteen, kuten esimerkiksi räjähdysvaarallisten tilojen edellyttämät erityisvaatimukset.

Turvallisuuteen liittyvinä tekijöinä arvioidaan kentällä taajuusmuuttajan

- asennus
- suojat
- merkinnät
- kilvet

*Asennus.* Oikein tehty asennus varmistaa laitteen toimintaedellytykset, mikä tarkoittaa esimerkiksi laitteen rakenteen asianmukaista kiinnitystä lattiaan tai seinään. Laitteen valmistajan määrittämät turvaetäisyydet niin sähköisesti kuin lämmön siirtymisen kannalta on huomioitava. On tärkeää, että myös sähköasennuksessa on noudatettu laitteen valmistajan ohjeistuksia, millä varmistetaan laitteen toiminta valmistajan teknisten määrittelyn mukaisena. Tällaisia ovat taajuusmuuttajan lähtöliitännän kytkennän toteuttaminen EMC -vaatimuksien mukaisena, vaikka asia ei suoranaisesti vaikuta laitteen omaan luotettavuuteen.

*Suojat* Asennuksen tai korjaustyön ajaksi on mahdollisesti irrotettu sähköturvallisuusvaatimuksien mukaisia kosketussuojia tai rakenteita, mutta ne on saatettu jättää asentamatta työvaiheen jälkeen takaisin paikoilleen. Syynä tähän on voinut olla se, että ne on koettu tarpeettomiksi tai niiden asentaminen kenttäolosuhteissa on koettu hyvin vaivalloiseksi ja se olisi saattanut viedä kohtuuttomasti aikaa vian korjauksen loppuvaiheessa (MTTR). Laitevalmistajan kannalta tärkeä ja huomioitava asia on, että kyseisten suojien merkitys voi esimerkiksi jäähdytysilman ohjauksessa olla merkittävä niiden ollessa oikein asennettuna, millä varmistetaan laitteen riittävä jäähtyminen ja suunniteltu toimintavarmuus käyttöpaikallaan.

Suojarakenteen pitää olla suunniteltu sellaiseksi, että tällaisten suojien asentaminen on helppoa ja turvallista myös taajuusmuuttajan valmistuslinjan ulkopuolella suoritettavissa

kunnossapitotöissä. Esimerkiksi liian tiukat mekaaniset sovitukset tai vaikkapa ruuvireiät saattavat teettää purku- ja kokoonpanotyössä usein ylimääräistä työtä. Käyttöpaikalla taajuusmuuttajayksikkö voi olla asennettu kojeiston sisälle tai lähellä sellaisia rajoittavia seinä- tai lattiarakenteita, että esimerkiksi turvasuojien asennus luotettavasti voi olla irrottamisen jälkeen lähes mahdotonta. Edelleen turvallisuutta varmistavien suojien kiinnityksen materiaalivalinnat on määriteltävä myös sellaisiksi, että sähköisten vaatimusten lisäksi materiaalit kestävät käyttöpaikan ympäristön kuormitusrasituksia (esim. muovit).

*Laitemerkinnät*, joita ovat valmistajan tyyppikoodit, sarjanumerot, asennuspaikan ja prosessipaikan tiedot varmistavat sen, että mahdollisessa vikatilanteessa on käytettävissä oikeaa tietoa laitteesta. Laitevalmistajan on huomioitava, että laitteen rakennetta kuvaava tyyppikoodaus ja etenkin sarjanumero on helposti rekisteröitävissä ilman laitteen purkua. Tyyppikilven on oltava helposti luettavissa käytön aikana ja se sisältää riittävästi informaatiota, mitä käytönaikainen kunnossapito pystyy myös laitetoimittajan kanssa hyödyntämään tehokkaasti. Jos laitteen rakenne on sellainen, että se koostuu erilaisista moduuleista, on näiden yksiköiden osalta tyyppi- ja sarjanumerotiedot oltava vastaavasti selkeästi käyttövaiheessa esillä ja helposti todennettavissa. Kun laitevalmistajalla on käytettävissään esimerkiksi tuotannonohjausjärjestelmästä valmistustiedot laitteesta, voidaan sarjanumeron perusteella määritellä vaikkapa takuutapauksessa oikeat varaosat ja varmistaa niiltä osin korjauksen onnistuminen. Käytön kannalta on sarjanumeroista tullut tärkeitä tunnisteita, jonka perusteella voidaan varmistaa ja myös hallinnoida laitoksen kunnossapidettävyyttä, kuten esimerkiksi varaosien yhteensopivuutta ja käytön sovelluksen ohjelma- ja parametritietoja. Erityisen merkityksen sarjanumeroperusteinen tieto saa silloin, kun esimerkiksi tuotetuki on pakotettu muuttamaan jostain syystä, vaikkapa saatavuuteen perustuen, varaosatyyppejä ja yhteensopivuus on varmistettava laitekohtaisesti perustuen valmistusvaiheen kokoonpanotietoon.

*Tunnisteet*. Käyttöpaikalla taajuusmuuttajan sähkösyötön lähdön tunniste on tieto, millä voidaan nopeuttaa vikatilanteessa taajuusmuuttajan korjausprosessia. Erityisen tärkeä on laitteen järjestelmä- tai asiakastunnisteiden merkitys käyttöturvallisuusmielessä, jolloin voidaan niin varmistaa turvallisesti käytön vahinkokäynnistys korjauksen ajaksi kuin kohdistaa seuraavassa vaiheessa kunnossapitotoimenpiteet juuri oikeaan laitteeseen.



Tunnisteet tulisi olla merkintäteknikaltaan selkeitä, yksiselitteisiä ja laitteeseen näkyville kiinnitettynä. Sähkökäyttösystemissä voi olla myös erilaisia ulkoisia apujännitesyöttöjä, minkä huomioiminen on kunnossapidon turvallisuuden kannalta tärkeää. Laitteen rakenteen on oltava sellainen, että sähköttömyyden varmistavat mittaustoimenpiteet pitää pystyä tekemään yksiselitteisesti ja luotettavasti.

#### **4.2.2. Käyttöpaikka**

Taajuusmuuttajan asennuspaikka ja sen välitön käyttöympäristö on merkittävin seikka, kun tarkastellaan laitteen käytönaikaiseen elinkaaren vaikuttavia osatekijöitä. Valmistajan määrittämien käyttöolosuhteiden vaatimusten noudattamisella varmistetaan osaltaan laitteen luotettava toiminta, mikäli myös muut siihen liittyvät tekijät, kuten mitoitus ja sovellustyyppi ovat kyseiseen käyttökohteeseen oikein valittu.

##### **4.2.2.1. Ympäristön lämpötila**

Ilmajäähdytteinen taajuusmuuttajan tehoasteessa syntyvän hyötysuhdehäviön konvektioon perustuva lämmönsiirto toteutetaan tehoyksikköosan jäähdytuselementin ripojen jäähdytyksellä. Tyypillinen taajuusmuuttajan tehohäviö on nimellisteholla luokkaa 2 %, mikä johdetaan laitteen rakenteesta ympäröivään ilmaan. Mitä suurempi on lämpötilaero jäähdytettävän osan ja ympäristön välillä, sitä paremmin voidaan varmistaa laitteen toiminta turvallisella lämpötila-alueella. Taajuusmuuttajan sisäisten komponenttien, kuten elektroniikkakorttien, lämpöhäviöt ovat pienempiä, muutamien kymmenien wattien luokkaa, jolloin niiden jäähdytys tapahtuu suoraan kojeiston sisäilmaan. Pienten yksiköiden välipiirin energiavaraston elektrolyyttikondensaattoreiden runko on usein osittain upotettu jäähdytettävään runkoon, millä varmistetaan niiden riittävä jäähtyminen. Käytännössä tämä merkitsee sitä, että suuressa kuormitustilanteessa puolijohteiden kanssa yhteinen lämpöä johtava rakenne voi pahimmassa tapauksessa vaikuttaa kondensaattoreiden toimintalämpötilaan enemmän kuin niiden sähköinen toimintapiste edellyttäisi.

Käyttöolosuhteiden peruslämpötila vaikuttaa suoraan korroosioon sekä tiettyjen elektroniikkakomponenttien ikääntymiseen ja sitä kautta luotettavuuteen. Esimerkiksi laitepuhaltimen suunniteltu tekninen käyttöikä on suoraan verrannollinen sen käyttölämpötilaan, mikä on lähes sama kuin laittilan lämpötila (LIITE 4). Vastaavasti elektrolyyttikondensaattorien vanheneminen on verrannollinen jännitteen lisäksi sen käyttölämpötilaan (LIITE 5). Kohonneen lämpötilan takia taajuusmuuttajan pääpiireissä olevien kondensaattoreiden kapasitanssi pienenee ja vastaavasti sisäisen sarjaresistanssi (ESR) kasvaa, mikä saattaa johtaa juurisyyinä loppujen lopuksi laitteen vakavaan rikkoutumiseen. Vaikka jäähdyttävän ilman lämpötila on valmistajan ohjeistuksen mukainen, korkea käyttölämpötilan perustaso pienentää kuormituspiikeistä syntyvää lämpenemän aikavakiota, minkä seurauksena saattaa olla kynnykseltään herkimmän komponentin vikaantuminen.

Lämpötilan arviointimenetelmä olisi tehtävä siten, että sen luokittelu olisi mahdollista ilman erityisiä mittaustekniikoita ja -laitteita. Luokittelun perustaksi voidaan määrittää valmistajan teknisen spesifikaation yläraja, jonka mukaan on normaali kuormitettavuus mahdollinen, yleensä noin 40...50 °C. Elektroniikkalaitteiden käyttölämpötilan on oltava toisaalta jäätymisrajan yläpuolella elektroniikkapiirien teknisen toiminnallisuuden varmistamiseksi sekä mahdollisen kondensaatioilmiön takia. Esimerkiksi ABB:n taajuusmuuttajatyypin ACS601 sallittu käyttölämpötila-alue on 0 - 40 °C (LIITE 6).

**Taulukko 4.1** *Asennus- tai laittilan lämpötilan arviointi*

<b>KUVAUS</b>	<b>MITTA-ARVO</b>
Viileä	< 15 °C
Normaali	15 ... 30 °C
Kuuma	> 30 °C

Mikäli käytettävissä ei ole lämpötilan mittaustietoa, voi normaali huoneenlämpötila edustaa aistinvaraisen mittauksen ”referenssipistettä”. Taajuusmuuttajan asennuspaikan mukaan lämpötilajako voitaisiin toteuttaa kolmella tasolla taulukon 4.1 mukaisesti.

Isotehoiset yksiköt tuottavat huomattavasti enemmän lämpöä, mikä saattaa aiheuttaa sellaisen tilanteen, että esimerkiksi eri prosessialueen laitteet luovat hyvin epätasaisen paikallisen lämpötilajakauman samassakin laite- tai sähkötilassa. Lämpötilaan ja sen kerrostumiseen vaikuttaa myös oleellisesti laitetilän jäähtymisen toteutus; laitetilän jäähtymiseen ei ole erityistä ilmanvaihtoa, se voi olla painovoimaan perustuva, koneellisesti toteutettu tai ilmastoitu tila. Teollisuudessa sähkötiloihin yritetään luoda lisäksi pieni ylipaine, jolla estetään ulkopuolelta tulevan lian kertyminen laitteisiin.

#### **4.2.2.2. Ilman suhteellinen kosteus**

Ilman suhteellinen kosteus (engl. Relative Humidity, RH) on yksi merkittävimmistä tekijöistä elektroniikkalaitteiden luotettavuuden kannalta. Kohonnut suhteellinen kosteus mahdollistaa kondensaatioilmiön kylmiin pintoihin esimerkiksi seisokin yhteydessä laitteen ollessa sähköttömänä. Mikäli tällöin elektroniikkakortti on sopivasti kontaminoitunut, on mahdollista, että piirikorttien korkean integrointiasteen ja pakkaustiheyden takia mahdollistuvat helposti sellaiset sisäiset vuotovirrat, että laitteen toiminta häiriintyy tai se vioittuu.

Ilman suhteellinen kosteus mahdollistaa korroosion siten, että lämpimissä ja kosteissa olosuhteissa korroosio on voimakkaampaa, mikäli sen syntymiseen on muuten edellytyksiä. Korroosio kiihtyy huomattavasti jo yli 50 % suhteellisilla kosteuksilla. Laitteen sisäosien pintojen pitäisi olla ainakin 10...20 °C ympäristöään lämpimämpiä, millä varmistetaan, että kaikissa tilanteissa pintoja pyyhkivä ilman suhteellinen kosteusarvo pysyisi alle 50 %:n. Jäähdyttävä tuloilma viilentää rakenteita ja jos ilma osuu lämpöä tuottamattomiin kohteisiin, on näiden lämpötila ja suhteellinen kosteus lähes sama kuin ulkoa tulevan ilman saaden aikaan suuremman todennäköisyyden korroosion kehittymiselle. Taajuusmuuttajassa korroosion vaikutuspiirissä ovat piirikorttien pinnat, juotokset, riviliittimet, erilaiset kontaktipinnat tai laitetuulettimet. Kosteushaittariskiä vähennetään taajuusmuuttajissa erottamalla tehopuolijohteiden jäähtytys sisärakenteesta siten, että jäähtytysilma ohjataan omaa ilmakanavaa pitkin ja toisaalta laitteen sisäosat (piirikortit, liittimet) lämpenevät osittain oman häviölämmön ja jäähtytys-elementin rungon

vaikutuksesta. Lämmön leviämistä ja kuivausvaikutusta voidaan tehostaa kierrättämällä sisäilmaa erillisellä laitepuhaltimella.

Kastepisteessä hallitsemattomia vuotovirtoja ja korroosiota merkittävämpää on turvallisuuden ja vakavien rikkoontumisten kannalta sähkölujuuden pettäminen. Nykyisin kooltaan pieni taajuusmuuttaja pystyy käsittelemään suuria tehoja pääjännitteiden kiertäessä laitteen sisällä hyvinkin pienillä eristysväleillä, jotka taas ovat seurausta rakenteen fyysisistä kokorajoituksista ja sähköisistä suunnitteluarvoista. Kastepiste vältetään kojeistossa varmistamalla riittävä peruslämpö esimerkiksi asentamalla laitteistoon sopivat termostaattiohjatut lämmitysvastuselementit ja mahdollistamalla ilman kierto kojeiston sisällä. Ilmastoidut sähkö- ja laitetilat takaavat jäähtymisen ohella myös tasaisen ja matalan ilman suhteellisen kosteuden, mikä osaltaan varmistaa laitteen käyttövarmuutta olosuhteiden ollessa siltä osin myös tasaiset ja epäotolliset korroosion kannalta./29/

**Taulukko 4.2** *Käyttöpaikan suhteellisen kosteuden arviointi*

KUVAUS	MITTA-ARVO
Kuiva	< 50 % RH
Normaali	50...80 % RH
Kostea	80...95 % RH
Kondensoitumisriski	95...100 %

Taulukossa 4.2 on esitetty neljä tasoa, joiden perusteella voisi tarkastella kosteuden merkitystä laitteen käyttöpaikalla sen elinkaaren aikana. Kosteusmittaria hyödyntäen voidaan määrittää suoraan vallitseva kosteustaso tietyllä tarkkuudella. Aistinvaraisesti pystytään erottelamaan ääritilanteet, kuten normaali tai hyvin korkea ilmankosteus. Vuodenajanvaihtelut vaikuttavat olennaisesti ilmaan sitoutuneeseen kosteuteen, jolloin käyttöolosuhteet saattavat olla hyvinkin poikkeavat esimerkiksi kevään ja syksyn aikana. ABB:n valmistamien taajuusmuuttajien suhteen on käyttöpaikkaolosuhteissa suhteellisen kosteuden oltava tyypillisesti pienempi kuin 95 % eikä kondensaatiota sallita.

#### 4.2.2.3. Korroosiotaso

Kuten edellisessä kohdassa 4.2.2.2 todettiin, on korrosio enemmän tai vähemmän ongelmana kaikissa elektronisissa tuotteissa sen koko elinkaaren aikana valmistuksesta romutukseen ja se poikkeuksetta huonontaa elektroniikkakomponenttien ja -piirien toimintavarmuutta. Lainaus kemistin ilmauksena kuvaa osuvasti korroosion olemassaoloa:  
/29/

*” Niin kauan kuin maapallolla on happea, vettä ja lämpöä, korroosion esiintyminen kaikkialla ja kaikissa tuotteissa on varmaa.”*

Vanhoissa prosessiteollisuuden sähkötiloissa huomattava korroosiotason nousu on yleensä ollut laajalti tiedossa. Laitetilojen jäähdytyksen tuloilma saatettiin ottaa suoraan sellaisesta paikasta, missä ilmassa oli runsas pitoisuus elektroniikkakomponenteille korroosiota aiheuttavia yhdisteitä. Varsinkin prosessiteollisuudessa syntyy edelleen aggressiivisia, ilman välityksellä laitetiloihin kulkeutuvia ainesosia, jotka saattavat aiheuttaa huomattavia ongelmia laitteiden luottavuudelle. Tyypillisesti korroosion seurauksena ilmenevät laitehäiriöt ovat satunnaisia ja ovat syntyneet pitkällä aikavälillä, eikä ulkoisia merkkejä korroosiotason ja kontaminaation noususta ole näkyvissä, vaan niiden todentaminen vaatii erillisen mittausjärjestelyn.

Huomattava korrosio on havaittavissa helposti sähkölaitteissa kuparin pinnalla voimakkaana pinnan tummumisena, mikä on merkki kupariin muodostuneesta oksidi- tai sulfidikerroksesta. Suojaamaton kuparipinta onkin yksinkertaisin tapa arvioida ilman reaktiivista vaikutusta ja joskus kuparilevyjä käytetään indikaattorina, kun epäillään ilman sisältävän haitallisia epäpuhtauksia. Nikkelöintiä tai tinausta käytetään yleisesti suojaamaan kuparipintoja./30/

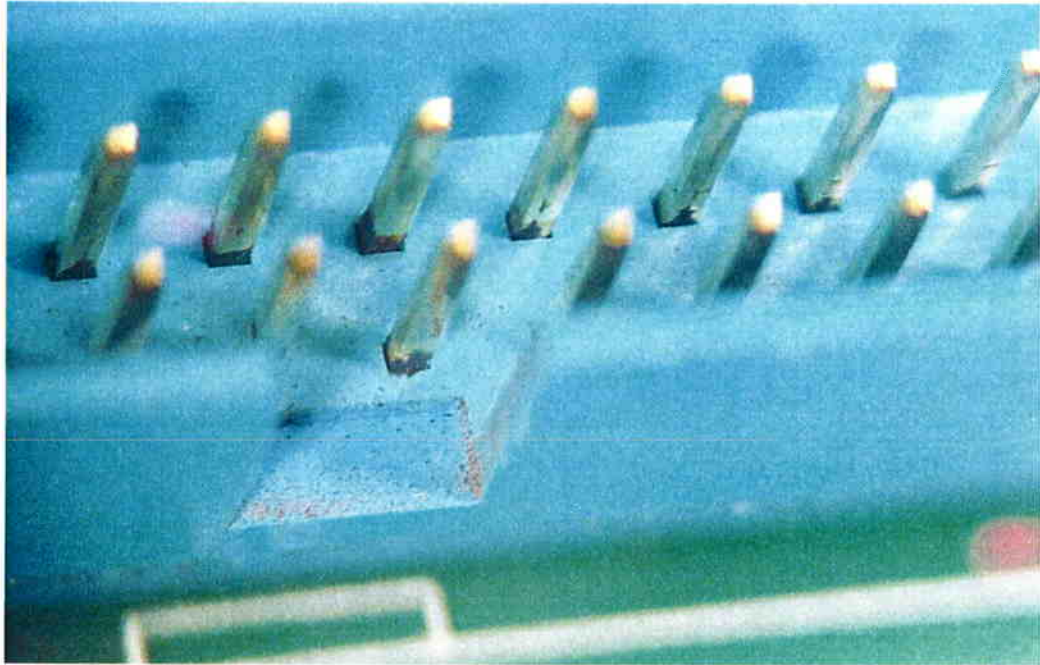
Piirikorttien lakkaus on koettu hyvin tehokkaaksi menetelmäksi estää ja hidastaa korroosion vaikutusta. Etenkin vaativissa teollisuusympäristöissä lakatut piirilevyt ovat ehdoton edellytys käynninaikaisen ja myös varastoaikaisen luotettavuuden varmistamiseksi. Taajuusmuuttajarakenteet, joissa suojausta ei toteutettu lakkauksella, osoittautuivat nopeasti huonoiksi ratkaisuksi. Suuren tehotason vaatiman jäähdytyksen takia taajuusmuuttajan rakenne on alttiina ilman kierrolle, on sitten kysymyksessä

painovoimainen tai laitepuhaltimilla toteutettu rakenne, minkä vuoksi laitteen sisäosien ja komponenttien korroosiotason arviointi olisi tärkeä tarkastuskohde. Kontaminaatio ja korkea lämpötila vaikuttavat niin ikään eristeiden ja liitosten vanhenemiseen, minkä takia niiden tarkistaminen käyttöolosuhteissa on tärkeää. Erityisesti muovimateriaalien kestävyudessa on havaittu merkittäviä eroja esimerkiksi moottorikaapelin teholiittimissä.

Suomessa merkittävin korroosion aiheuttaja on ilmansaaste, jota syntyy rikkipitoisten polttoaineiden palamisessa liikenteessä, energiatuotannossa sekä myös teollisuusprosesseissa. Yleistä ilman laatua tarkkaillaan Suomessa Ympäristökeskuksen mittausverkon välityksellä ja mittaustuloksia voi seurata erilaisilla hakukriteereillä./31/ Taustasaastetta merkittävämpi on esimerkiksi teollisuusympäristössä paikallisen prosessin seurauksena syntyneet lähipäästöt, joiden pitoisuudet voivat olla monikertaisia normaaliin perustasoon verrattuna.

Laittevalmistajan hyväksymä ilman laatu perustuu standardeihin, missä on määrittelyt niin kuljetuksen, varastoinnin kuin käytön kannalta. Esimerkiksi ACS800 -sarjan taajuusmuuttajan edellyttämät käyttöolosuhteet ovat esitetty standardissa IEC60721-3-1 (varastointi), IEC60721-3-2 (kuljetus) ja IEC721-3-3 (käyttö).

Kuvassa 4.1 voidaan havaita nauhakaapelin urospuolisen liittimen korroosio, mikä aiheutti laitteiden ollessa vain muutaman vuoden ikäisiä, eräässä tehtaassa huomattavia tuotantomenetyksiä. Tyypillisen korroosioilmiön mukaisesti viat olivat satunnaisia ja niiden syy-yhteydet vaihtelivat. Saman toimitusprojektin invertteriyksiköissä oli korroosio-ongelmia, mitkä olivat saaneet alkunsa laiteasennuksen aikana, jolloin laitteisto oli ollut hetken alttiina ilman epäpuhtauksille. Ongelma ratkaistiin lopulta vaihtamalla kaikki taajuusmuuttajien ohjauspiirien nauhakaapelit ja niihin liittyneet elektroniikkakortit. Normaalisissa ajotilanteissa ei vastaavankaltaisten liittimien tarkastus ole mahdollista, vaan niiden korroosion selvitys onkin perusteltua toteuttaa siinä tapauksessa, että käytettävyyshäiriöiden takia niissä on syytä olettaa olevan merkkejä mahdollisesti orastavasta korroosiosta. Tarkastustoimenpiteenä on myös muistettava, että mekaaninen liitännän aukaisu saattaa aiheuttaa hyvässä liittimessä alun uudelle korroosiolle.



**Kuva 4.1** ACV700 -sarjan taajuusmuuttajan urospuolinen nauhakaapelin runkoliitin, missä havaittavissa kultauksen pettämistä kosketinpinnissä.

Kirjallisuudessa on esitetty malli korroosioriskille./29/ Se voidaan kuvata mittaluvulla, mikä muodostuu korroosion aiheuttaman fysikaalisten osatekijöiden yhteisvaikutuksesta, kuten elinkaaren pituus, olosuhteiden korrosiivisuus ja tuotteen herkkyys muutoksille. Korroosioriski voidaan esittää summana

$$R_{cor} = L + C + S \quad , \text{ missä} \quad (4.1)$$

$R_{cor}$  korroosioriski

$L$  elinkaaren pituus, pisteytys 1...4(5), missä 5 vastaa noin 40 vuotta

$C$  olosuhteiden korrosiivisuus, pisteytys 1...5, missä 5 pistettä erittäin korrosiivinen

$S$  herkkyys muutoksille, pisteytys 1...3(5), missä 5 pistettä erittäin herkkä

Menettelyllä saadaan korroosioriskille kokonaisluokitus, missä kullekin osatekijälle on käytettävissä pisteytys 1...5 pistettä vastaten minimiarvoa 3 pistettä ja maksimiarvoa 15 pistettä. Taulukossa 4.3 on esitetty viisitason korroosioriskiluokitus em. menetelmällä

pisteytettynä. Korroosionsietoisuudella tarkoitetaan korroosiosuojauksen tehokkuuden suhdetta korroosioriskiin. Korroosionsietoisuusanalyysissä on pidettävä erillään taajuusmuuttajan ulkopuolinen ja sisäinen korroosionhallinta. Molemmat on analysoitava erikseen ottaen huomioon elinkaaren kattavat korroosioriskit.

**Taulukko 4.3** *Korroosioriskiluokitus*

<b>KORROOSIORISKILUOKAN KUVAUS</b>	<b>RISKIN PISTEYTYYS</b> $R_{cor}$	<b>KORROOSIORISKILUOKKA</b>
Erittäin pieni korroosioriski	3...4	R1
Pieni korroosioriski	5...7	R2
Kohtalainen korroosioriski	8...10	R3
Suuri korroosioriski	11...13	R4
Erittäin suuri korroosioriski	14...15	R5

Korroosiotason arviointi kenttätarkastuksen yhteydessä on vaikeaa, sillä tason määrittely perustuu yleiseen näkemykseen siitä, millainen käyttötilanne olisi kysymyksessä. Edellä esitetty riviliittimen tarkastus voidaan toteuttaa yksinkertaisin välinein, joita ovat taskulamppu ja suurennuslasi. Ohjeistuksella voidaan määrittellä karkeat arviointikriteerit, minkä mukaan tarkastuskohteelle tehdään korroosioluokittelu. Esimerkiksi kuparipinnoista voidaan karkeasti arvioida, millainen korroosiotaso kulloinkin vallitsee.

Erillisen mittausjärjestelyn perusteella tapahtuva korroosiotason määrittely edellyttää samanaikaista tietoa ilman lämpötilasta, kosteudesta ja korrosiivisuudesta niin laitteen ulkopuolella kuin sisälläkin, jotta niiden perusteella voitaisiin tehdä oikeansuuntaisia päätelmiä. Purafil on kehittänyt erillisen mittauslaitteen, jonka toiminta perustuu anturimetallien, kuten kuparin, hopean tai kultapinnoitteen korrodoitumiseen ja kontaminoitumiseen./32/ Menetelmän avulla ei voida kuitenkaan suoraan erotella yksittäisiä korrodoivia aineksia, vaan lisäanalyysejä varten on tehtävä erilliset aineanalyytit. Mittaus voidaan toteuttaa kertaluonteisesti sijoittamalla mittausyksikkö tarkasteltavaan tilaan sovitun pituiseksi ajaksi ja analysoimalla vallitseva korroosiotaso. Myös erilaiset



historiatiedot, kuten aikaisempien tuotantolinjojen tai – prosessien mahdolliset vaikutukset on huomioitava. Vastaavasti esimerkiksi tiedot tulipaloista, joiden savukaasut ovat saattaneet altistaa laitteen pinnalle korroosiotasoa nostavaa kontaminaatiota. Historiatiedot muista mahdollisista ympäristövahingoista, joita ovat mm. vesivahingot, ovat tärkeää korroosioluokituksen taustainformaatiota.

#### 4.2.2.4. Asennusympäristö

Vaikka laitevalmistaja ohjeistaa käyttöympäristön minimivaatimukset, käytännössä taajuusmuuttajayksiköiden asennuspaikat (käyttöpaikat) vaihtelevat laboratorion tasoisista, ilmastoiduista tiloista prosessitiloihin, missä olosuhteet ovat luotettavan toiminnan kannalta haasteelliset. Esimerkkinä tällaisesta mainittakoon jäteveden biopuhdistamo, missä käytön sijoituspaikkana voi olla selkeytysaltaan viereinen ulkotila. Edellä esitettyjen käyttöpaikan lämpötilan ja kosteustekijöiden lisäksi on arvioitava ainakin seuraavia seikkoja, joilla on vaikutusta laitteen luotettavuuteen.

Taajuusmuuttajayksikön asennuspaikan *korkeus merenpinnan* yläpuolella on huomioitava, sillä laitteen kuormitettavuus muuttuu, mikäli se on asennettu yli 1000 metriä merenpinnan yläpuolelle. Kuormitettavuus ABB:n taajuusmuuttajilla pienenee lineaarisesti 1% jokaista 100 metriä kohden aina 2000 metriin saakka. Oikea mitoitus vaikuttaa välillisesti kuormitettavuuden kautta laitteen toimintavarmuuteen.

Käyttöolosuhteiden edellyttämä *IP -luokitus* on määritettävä oikein vastaamaan todellista asennusympäristöä. Suojausluokitus on koodaus, neljä tai kuusi merkkiä, minkä avulla toisaalta ilmaistaan ihmisen mahdollisuutena kosketella sähkölaitteen jännitteellisiä osia tai rakenteita ja toisaalta suojausluokkana veden (nesteiden) haitallisen vaikutuksen ilmaisemiseksi. IP -koodin ensimmäinen numero kertoo mekaanisen suojausluokan ja toinen numero suojauksen vettä vastaan. Taajuusmuuttajan suojausluokat ovat normaalisti tyyppiä IP00, IP21 ja IP54. IP 00 on avoin rakenne, esimerkiksi moduuli, mikä asennetaan tyypillisesti erilliseen kojekaappiin tai kojeistoon, jolloin tarvittava sähköturvallisuussuojausluokitus tulee toteutettua, laitteen jäähdytys saadaan avoimessa

rakenteessa tehokkaammaksi ja kotelointikustannukset ovat pienempinä. IP21 on tyypillisesti yleisin suojausluokka, mitä käytetään normaaleissa käyttöolosuhteissa ja IP54 on kotelointirakenne sellaisissa käyttöolosuhteissa, missä tarvitaan erityistä suojaa lähinnä roiskevettä tai voimakasta likaantumista tai pölyä vastaan (LIITE 7).

Asennusympäristö voi olla sellainen, että siihen vaikuttava jatkuva tai hetkellinen värinä voi olla huomattava, millä on luonnollisesti vaikutus laitteen toimintavarmuuteen. Ensimmäisten sukupolvien laitteet oli rakennettu mekaanisesti lujemmista materiaaleista ja myös niiden mekaaniset ratkaisut olivat kestävämpiä verrattuna nykyisiin kevyempiin rakenteisiin. Jatkuvalle mekaanisen lähteen värinällä saattaa olla merkitystä esimerkiksi piirilevyjen ja liitosten mekaaniseen kestävyyspittemällä aikavälillä. Värinän syy voi olla ulkopuolisen lähteen, esimerkiksi isot mekaaniset laitteet, aiheuttama mekaaninen impulssi tai esimerkiksi oman laitepuhaltimen merkittävä epätasapaino. Erityisesti liikennevälinesovelluksia varten suunnitellut taajuusmuuttajat kestävät mekaanisia iskuja ja värinöitä paremmin.

#### **4.2.3. Laite**

Samalla käyttöpaikalla olevien taajuusmuuttajayksiköiden rakenteet vaihtelevat riippuen valmistajasta, laitetyypistä tai kokoluokasta. Huolimatta siitä, että esimerkiksi laitteen asennustila on kaikille laitteille sama, on tavallista, että esimerkiksi käytön mitoitus tai sovellus on huomattava tekijä sen luotettavuuden kannalta. Samoissa asennustiloissa voi olla käytössä eri aikaan toimitettuja eri sukupolvia edustavia laitetyyppejä, jolloin kenttätarkastuksessa on tunnistettava erilaisia teknisiä toteutusmalleja sähkökäyttöjen ja taajuusmuuttajien käyttöhistorian ajalta. Taajuusmuuttajakäytöistä ei ollut sen alkuaikoina useinkaan paljoa kokemusta ja se koettiin alkuaikoina luotettavuudeltaan epävarmaksi, joten kriittisiin kohteisiin varustettiin poikkeuksetta moottorin suorakäyttöä varten ns. ohituskentät kylmänä redundanssina varmistamaan tuotantoprosessia. Nykyisin on tällaisesta lähes kokonaan luovuttu.

#### 4.2.3.1. Turvallisuus

Käyttöolosuhteissa taajuusmuuttajan laitekohtainen turvallisuus voidaan todeta lähinnä sen oikean asennuksen toteutumisena ja laitteen rakenteeseen turvallisuusmielessä asennettujen suojiin olemassaolon käytöllä (SFS Käsikirja 135-1 Yleinen turvallisuustekniikka).

Asennuksen yhteydessä on huomioitava:

- mekaaninen asennus
- sähköinen asennus

Laitteen mekaaninen asennus määrittelee pienen runkokoon laitteen kiinnityksen seinärakenteisiin ja vastaavasti suurempien laitteiden lattiakiinnityksen. Asennus on toteutettava siten, ettei synny mekaanisia jännityksiä, mitkä saattavat rasittaa esimerkiksi kaapelointia tai mahdollistaa mekaanisten värinöiden siirtymistä laitteen runkoon. Tämän hetken vallitseva kunnossapitostrategiamalli edellyttäisi, että kokonainen laite tai sen moduulirakenne pitäisi olla viankorjaustoimenpiteenä helposti ja nopeasti vaihdettavissa. Kunnossapidon kannalta malli suosii laitevalintoja tehtäessä sellaista laitevalmistajaa, jolla nopeasti toteutettava vaihto-operaatio on huomioitu jo laitteen suunnittelussa. Mikäli taajuusmuuttajayksikkö vaihdetaan kokonaisuudessaan uuteen, seuraavan sukupolven yhteensopivaan laitetyyppiin, on varmistettava asennuksen helppous ja mekaanisten kiinnitysrakenteiden yhteensopivuus. Taajuusmuuttajien laitekoot ovat pienentyneet, mikä mahdollistaa saman laitevalmistajan seuraavan laitesukupolven tilakokovaatimukset. Ensiasennuksessa mekaaninen asennus varmistetaan lakisääteisten asennustarkastuksien yhteydessä (esim. KTMP 517/96).

Sähköturvallisuusmääräykset edellyttävät turvaetäisyydet ja kosketussuojat, mitkä ovat lähtökohtana taajuusmuuttajan tuotesuunnittelussa. Merkittävä asia on erilaisten suojaosien toiminnallisuus käyttöolosuhteissa. Käytännössä on havaittu, että mikäli suojaksi tarkoitettu rakenne ei suoranaisen toiminnan kannalta ole edellytys, saatetaan sen kiinnittäminen laistaa siihen liittyvien asennusteknisten haastavuuksien takia. Näin etenkin sellaisissa tapauksissa, jolloin vian korjauksen yhteydessä laitteen saattaminen toimintakuntoon on tehtävä nopeasti. Jälkikäteen em. suojiin paikalleen asennus saattaa jännitteelliselle laitteelle jäädä tekemättä, millä kasvatetaan turvallisuusriskiä jatkossa.

Huonoin tilanne on silloin, kun laitteen osan irrottaminen pitää tehdä käyttöpaikalla siten, että mahdolliset valmistusvaiheessa ja ns. hyvissä kokoonpano-olosuhteissa käytetyt kiinnikkeet on rikottava, jolloin uudelleen asennus jää poikkeuksesta puutteelliseksi.

Laitteen toimintavarmuuden kannalta on huomioitava, mikäli suojat jätetään asentamatta takaisin, että niillä saattaa olla oleellista merkitystä yksikön jäähtytykselle, jolloin suunniteltu laitteen sisäinen ilmanohjaus ei toteudu, mikä vaikuttaa myös laitteen muuhun vikasietoisuuteen (lämpö, lika, kontaminaatio).

Käynninaikaisina kunnossapitotoimenpiteinä on taajuusmuuttajalle voitava tehdä luotettavasti ja turvallisesti esimerkiksi sähköisiä tarkistusmittauksia. Tällöin mittausdiagnostiikan edellyttävät mittauspisteiden on oltava selkeästi merkittyjä ja laitteen rakenne on oltava suunniteltu edelleen sellaiseksi, että mittaukset voidaan tehdä turvallisesti perustyömenetelmin ja laitteen normaalia toimintaa häiritsemättä. Kenttätarkastuksissa tai -mittauksissa yhtenä perinteisenä kohteena ovat kenttäliittymän signaalien riviliittimet. Vääristä työmenetelmistä, tarkistusten ja jälkikiristysten yhteydessä, voi seurata jopa piilevä vika, kuten esimerkiksi liittimen osittainen juotoksen murtuminen aiheuttaen laitteelle myöhemmin satunnaisia vikatiloja. Riviliittimien liitäntäyksiköiden koko on laiteiden yleisen koon pienenemisen myötä johtanut siihen, että kytkentätyö saattaa olla mekaniikan kannalta teknisesti haasteellista ja liittimien rikkoontuminen on mahdollista jo ensiasennuksen yhteydessä. Riviliittimet saattavat edellyttää erityistyökaluja ja niiden koko määrittää myös juuri oikean tyyppisen kaapeloinnin ja siihen liittyvät työmenetelmät.

Laitteen käyttöliittymän on käyttöturvallisuuden kannalta oltava sellainen, että operointisymbolit ovat selkeitä ja yksikäsitteisiä, kieli loogista ja helposti ymmärrettävissä sekä inhimilliset virhetoiminnot poissulkevia. Mikäli paneeli on laitteen ainoa käyttöliittymä, on sen luotettavuuden oltava vähintään samalla tasolla kuin laitteen muun luotettavuuden, mikä tarkoittaa myös riittävää mekaanista kestävyyttä. Lisäksi sen on oltava helposti luettavissa haastavissa olosuhteissa, niin pimeällä kuin auringonpaisteessa, kuumissa kuin kylmissäkin käyttöolosuhteissa.

#### 4.2.3.2. Likaisuus

Asennustilan, kuten erillisen keskustilan, puhtausolosuhteet määräävät yleensä myös yksittäisen laitteen likaisuusasteen käytön aikana. Lian kertyminen taajuusmuuttajan rakenteisiin on seurausta yleensä laitepuhaltimen aiheuttaman ilmavirran mukana olleen mekaanisen ainesosan kiinnittymiseen sellaisiin rakenneosiin, missä ilmavirtaus on suhteessa pienin. Toisaalta mitä suurempi on laitteen jäähdytyksen ilmavirtaus, sitä suurempi on todennäköisyys, että laitteen rakenteet keräävät ilmasta epäpuhtauksia. Liaksi luokitellaan normaali hienojakoinen pöly, prosessissa syntynyt aines tai esimerkiksi trukkien pakokaasujen öljymäiset partikkelit.

Yhdessä kaasumaisessa muodossa olevan aineen kanssa mekaaninen aines voi kiinnittyä laitteen rakenteeseen lämpimissä olosuhteissa erittäin tiukasti. Tällaisia tapauksia voi esiintyä esimerkiksi sahalaitoksissa, missä mekaaninen puuainesosa kiinnittyy ilmassa olevan puupihkan kanssa prosessitilassa olleen taajuusmuuttajan komponentteihin. Toinen vastaava tyyppiesimerkki on metalliteollisuuden käyttöympäristö, missä ilmassa saattaa olla yhtäaikaisesti öljysumua ja prosessissa syntyneitä hienojakoista kuonaa.

Likaisuus voi vaikuttaa laitteen luotettavuuteen monin tavoin riippuen epäpuhtauden määrästä ja sen ominaisuuksista. Perusedellytyksenä elektroniikka- ja sähkölaitteiden kohdalla on edellytettävä, että se ei saa olla sähköä johtavaa, kuten metallipölyä. Toisaalta epäpuhtaus voi olla normaaliolosuhteissa täysin johtamatonta, mutta kosteutta saadessaan saattaa muodostaa hyvinkin voimakkaita, jopa syövyttäviä yhdisteitä. Käytännössä tilanne voi olla passiivinen pitkänkin aikaa, kunnes riittävä kosteus aktivoi kemiallisen reaktion.

Epäpuhtaudet voivat vaikuttaa taajuusmuuttajan eri rakenneosiin seuraavasti:

- tehopuolijohteiden jäähdytys-elementit
- puhaltimet tai laitetuuletinyksiköt
- tukieristimet
- piirikortit
- muut mekaaniset osat

Likaantuminen huonontaa puolijohteessa syntyneen lämpöhäviön siirtymistä

jäähdytyselementistä jäähdyttävään väliaineeseen, mikä perinteisesti taajuusmuuttajissa on ilma. Normaali likaantuminen ei aiheuttane ongelmia, mutta tietyissä ääritilanteissa se johtaa puolijohteen lämpötilan nousuun, minkä seurauksena saattaa olla puolijohteiden välittömässä läheisyydessä olevien muiden komponenttien, kuten IGBT -puolijohteiden pulssivahvistinkorttien ennenaikaista vanhenemista. Jäähdytyslementtien mekaaniset konstruktiot ovat kehittyneet niiden lämmönsiirtopinta-alan kasvattamisen seurauksena sellaisiksi, että epäpuhtauksien kertyminen kapeisiin ilmakehanaviin on helpompaa.

Puhallinyksikössä likaisuus mahdollistaa rakenteisiin kertyessään dynaamisen epätasapainotilanteen, mikä edelleen saattaa johtaa mekaaniseen tärinän syntymiseen. Tärinä voi johtaa tuuletinyksikön ennenaikaiseen vanhenemiseen tai epäsuorasti aiheuttaa esimerkiksi nauhakaapeleiden vaurioitumisen niiden hankautuessa mekaanisesti tärinän vaikutuksesta. Jäähdytyspuhaltimen häiriötilanne voi esiintyä myös silloin, kun seisokin yhteydessä laitteen puhallin on pysäytetty ja sen uudelleen käynnistyminen ei onnistu siitä syystä, että esimerkiksi kalkkipöly on seisokin aikana kerääntynyt puhaltimen päälle jumittaen sen käynnistystilanteessa.

Laitteen sähköiset eristimet tai eristerakenteet ovat erityisen herkkiä likaantumiselle. Välijännitepiirin tasajännite 500 - 1000 voltia edellyttää sähköisen eristystason, mikä voi huonota oleellisesti likaantumisen seurauksena. Mahdollisessa läpilyöntitilanteessa vikaantumisen seurauksena ovat yleensä suuret vauriot joko energiavaraston (elektrolyyttikondensaattorit) rikkoutuessa tai tehopuolijohteiden läpisytytyessä. Tukieristeet ovat rakenteellisesti sellaisia, että epäpuhtaudet ovat vaikutukseltaan pieniä, mutta etenkin välipiirin kiskostojen välieristeet ja niiden turvaetäisyydet voivat alittaa oleellisesti likaantumisen seurauksena. Silmämääräisen tarkastuksen kannalta ne sijaitsevat valitettavasti laitteessa usein siten, että niiden tarkastaminen edellyttää osittaista laitteen purkua.

Elektroniikkapiirikorteilla syntyvä tehohäviö on niin pieni, että IP22 -laiteluokassa ei niiden jäähdytystä ole toteutettu erillispuhaltimella, vaan se tapahtuu suoraan laitteen sisäilmaan johtumalla. Piirikortin likaantuminen on kuitenkin mahdollista sisäilman luonnollisen ilmakierron myötä, mihin vaikuttaa kortin muoto, sijainti ja asento rakenteessa. Suljetuissa IP5x rakenteessa on mahdollisesti sisäilmatuuletin, millä

varmistetaan riittävä ilmankierto laitteen sisällä. Aikaisemmin elektroniikkakorttien pakkaustiheys ja käyttöjännitteet olivat sellaisia, että likaantuminen ei ollut välttämättä niin kriittinen tekijä laitteen luotettavuudelle. Lisäksi piirikortit oli suojattu hyvin paksulla lakkauskerroksella. Pakkaustiheyden kasvettua piiri- ja pintaliitoskomponenttitekniologian myötä ovat rakenteet sellaisia, että likaantuminen saattaa helpommin aiheuttaa ongelmia komponenttien ilmavälien ollessa hyvin pieniä. Vastaavasti jännitteet ovat näissä sovelluksissa matalampia (CMOS -taso), jolloin siltäkin osin likaantumisen aiheuttama vikaantuminen, etenkin kosteudelle altistuessaan, voi olla todennäköisempää. Elektroniikkakortilla hybridipiirien tehontarve ja sitä kautta jäähdytyksen tarve on niin ikään pienentynyt. Käytännössä on teollisuudessa huomattu, että nimenomaan seisokkien yhteydessä piirikorttien jäähdyttyä jännitteettömänä, on tullut uudelleen käynnistymisen yhteydessä ongelmia nimenomaan sellaisissa laitteissa, missä likaantuminen on ollut selvästi havaittavissa.

Likaantuminen vaikuttaa toimintavarmuutta pienentävästi erityisesti mekaanisiin komponentteihin, kuten katkaisijoihin, erottimiin, kontaktoreihin, kytkimiin tai potentiometreihin. Hienojakoinen pöly tunkeutuu laitteeseen ja saattaa kuivattaa voidellut liukupinnat aiheuttaen helposti toimintahäiriöitä. Tyypillinen esimerkki on taajuusmuuttajan syöttöyksikön pienjännitekatkaisija, jolle normaalisti tulee hyvin vähän toimintakertoja. Huoltotarpeen laiminlyöminen varsinkin hienojakoista pölyä esiintyvissä paikoissa voi johtaa tilanteeseen, jossa katkaisija seuraavan kerran toimiessaan voi jäädä mekaanisesti lukittuun tilaan. Lian päästessä kontaktorin sisälle, saattaa se aiheuttaa pääkoskettimien huonon kontaktivoiman ja sitä kautta niiden vaurioitumisen ylimenovastuksen aiheuttaman lämpöhäviön takia.

Sisäisen likaantumisen pienentämiseksi laitteessa voi olla erilliset suodattimet, joiden likaantuminen ja tukkeutuminen johtaa nopeasti laitteen sisälämpötilan nousuun ja nopeutta elektroniikkakorttien osalta komponenttien vanhenemista.

Likaantuminen on merkittävä tekijä laitteen luotettavuuden kannalta, mihin liittyy hyvin läheisesti sen seurauksena erilaiset korroosioilmiöt. Kenttätarkastuksissa voisi taajuusmuuttajan likaantumistasen määrittää taulukon 4.4 mukaan seuraavasti, minkä perusteella puhdistus ja myös ennaltaehkäistävät toimenpiteet pitäisi huomioida.

**Taulukko 4.4** *Laitteen likaisuuden määrittäminen*

<b>KUVAUS</b>	<b>MITTA-ARVO</b>
Normaali	Ei selvästi havaittavia kertymiä
Huomattava	Havaittava kontaminaatio, puhdistettavissa esimerkiksi pölynimurilla, yms
Kriittinen	Hyvin likainen, johtava kontaminaatio, vaatii erityispuhdistuksen

Likaantunut taajuusmuuttaja tai komponentti voidaan puhdistaa seuraavin menetelmin:

Normaali paineilma soveltuu esimerkiksi jäähdytyslementin ripojen puhdistukseen, mutta sen kanssa on oltava varovainen, ettei puhallus toisaalta aiheuta lian siirtymistä yhä tiukemmin ja syvemmälle laitteen rakenteeseen.

Pölynimurilla puhdistaminen on toimiva menetelmä, mutta herkkien elektroniikkakomponenttien ollessa kysymyksessä ESD -vaatimukset on huomioitava käytettävien puhdistusvälineiden suhteen. Etuna pölynimurilla kanssa puhdistamiseen on samanaikaisesti tehty laitteen visuaalinen tarkastelu.

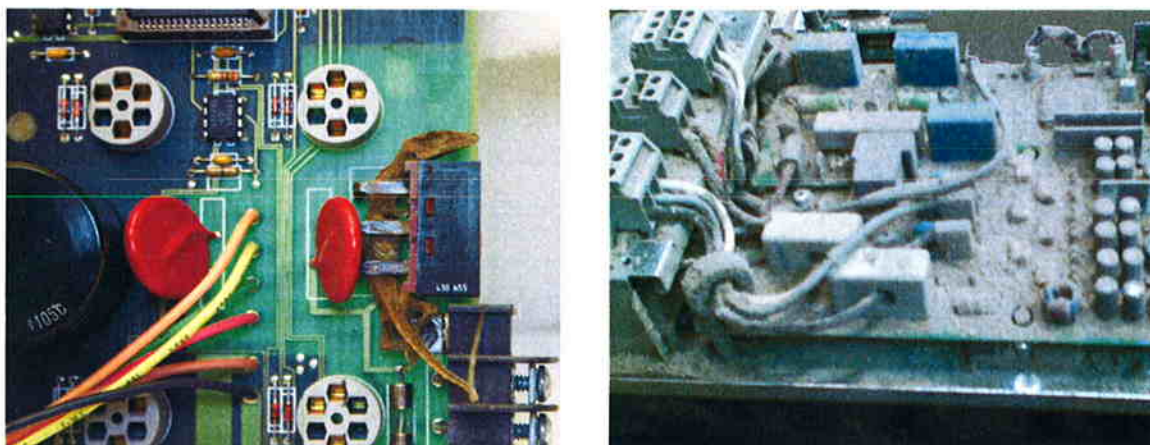
Vesipesu ultraäänilaitteistolla on myös tehokas menetelmä ja voidaan tehdä helposti yksittäisille korteille. Pesu poistaa pienistäkin rakenneosista, kuten mikropiirien kannoista, normaalin mekaanisen lian, mutta myös muut mahdolliset pinnan epäpuhtaudet. Menetelmä tosin edellyttää kenttäolosuhteissa tarvittavan laitteiston sekä pestyjen osien tehokkaan kuivaamisen.

Hiilidioksidipuhdistus (CO<sub>2</sub>) on menetelmä, missä puhalletaan paineilmalla kaasuuntuva hiilihappojää puhdistettavalle pinnalle. Tämä on tehokas toimenpide erittäin vaikeasti likaantuneille komponenteille. Epäkohtana puhdistukselle on tarvittavan laitteiston hankintahinta ja toimenpiteen edellyttämät puhdistuskohteen erityisjärjestelyt.

Kun laitteen rakenne on valittu käyttöolosuhteisiin sopivaksi, on sen puhtaustasoa seurattava. Käytännössä puhdistus on kunnossapitotoiminto, mikä saattaa olla aiheellinen



laitteen toimintavarmuuden takaamiseksi kerran tai kaksi laitteen elinkaaren aikana. Laitetyypin rakenne ja käytetyt pintamateriaalit määrää, kuinka epäpuhtaus pääsee kertymään taajuusmuuttajan eri rakenteisiin ja sitä kautta vaikuttamaan vanhenemiseen esimerkiksi huononneen lämmönsiirron seurauksena (Kuva 4.2).



**Kuva 4.2** Käyttöolosuhteet määrittävät laitteen suojausluokan. Vasemman puoleisessa kuvassa pieni eläin on päässyt piirilevyille mahdollisesti aiheuttaen laitevaurion. Oikeanpuoleinen kuva on taajuusmuuttajasta, joka on ollut asennettuna erittäin likaiseen käyttöpaikkaan eikä suojausluokka ole ollut oikein valittu.

Yhtenä havaintona voidaan mainita, että likaantuminen yhdessä korroosiovaikutuksen seurauksena saa aikaan laitteen ulkonäön muuttumisen rumaksi, mikä ei kylläkään vaikuta laitteen käytettävyyteen, mutta jossakin olosuhteissa esteettisenä voi jopa vaikuttaa esimerkiksi laitoksen yleiseen arvostukseen.

#### 4.2.3.3. Laitteen lämpötila

Nykyteknologia mahdollistaa helposti laitteen sisälämpötilan mittauksen käynnin aikana. Mittauselementti on mahdollista integroida suoraan puolijohdekomponenttiin mittaamaan liitospinnan lämpötilaa. Tällöin saadaan aikavakioltaan nopea ja tarkka terminen tieto yksittäisestä tehopuolijohteesta, mitä voidaan hyödyntää esimerkiksi laitejäähdyttimen toiminnan valvontaan, rinnankäyvien komponenttien kuormitusjakauman seurantaan tai itse

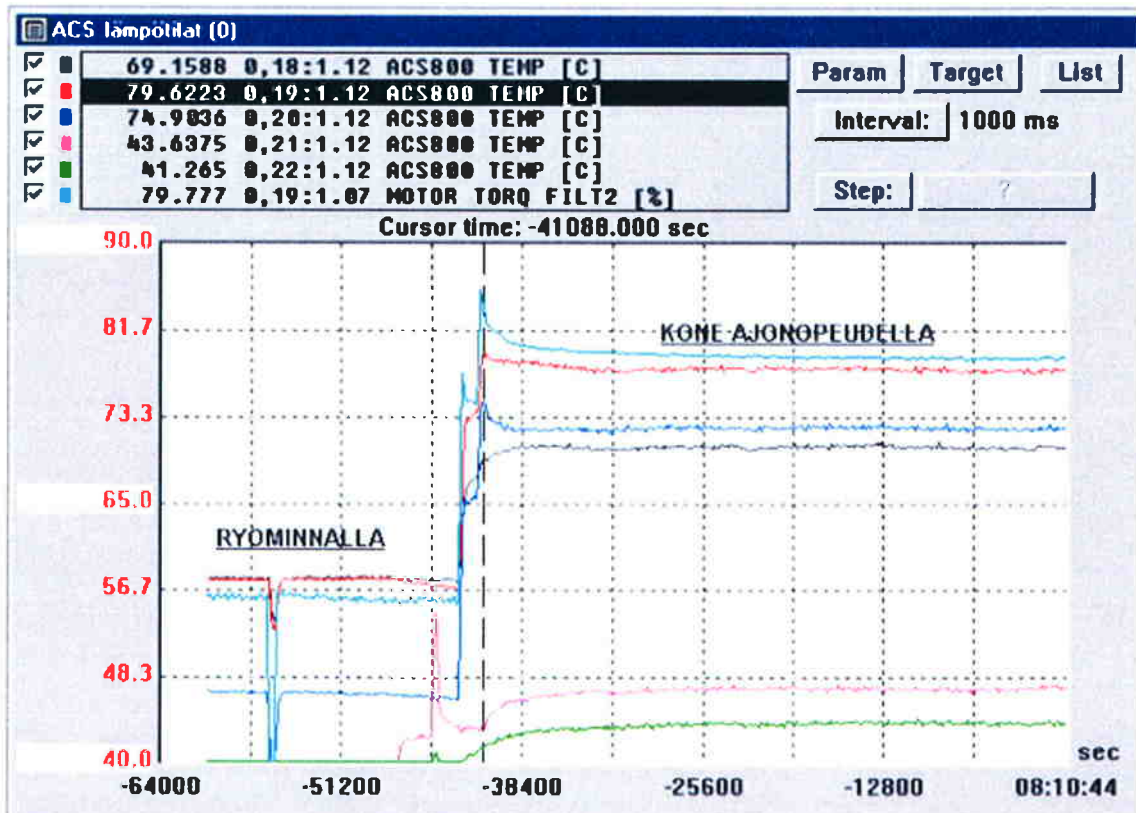
komponentin suojaamiseen. Aikaisemmin puolijohteiden jäähdytyselmenttiin saatettiin kiinnittää lämpötila-arvoltaan määritelty ns. ”klikson” -tyyppinen kytkin, minkä raja-arvoa käytettiin jäähdytyksen valvontapiirissä. Joissakin ensimmäisissä taajuusmuuttajissa jäähdytyksen valvonta toteutettiin myös valvomalla kojeiston jäähdytysilmapuhaltimen muodostamaa alipainetta. Kotelon tai kojeiston sisälämpötilaa ei ABB:n taajuusmuuttajissa valvota, mikä saattaa johtaa erikoistapauksissa siihen, että piirikorttien ja kotelon sisäisten komponenttien lämpötila kohoaa niin korkealle tasolle, että lämmölle arat komponentit ovat kohonneen sisälämpötilan vanhentavan vaikutuksen piirissä. Sisäilman kiertoa on saatettu sellaisissa tapauksessa tehostaa erillisellä kotelon sisäisellä laitepuhaltimella, näin tehdään esimerkiksi IP54 koteloituissa yksiköissä.

Kohonnut lämpötila kertoo laitteen

- jäähdytyksen toiminnasta
- kuormitusolosuhteista

Taajuusmuuttajan jäähdytys on voitu toteuttaa siten, että laitteessa on moduulirakennetta kohden yksi tai kaksi puhallinyksikköä. Jossain olosuhteissa ns. kuuma redundanssi varmistaa toisen puhaltimen ollessa toimintakyvytön, laitteen toiminnan – varsinkin, jos taajuusmuuttaja ei toimi nimellistehollaan. Jäähdytysilmapuhallin on yksi taajuusmuuttajan kriittisimmistä komponenteista ja sen vikaantuminen voi johtaa hyvin nopeasti laitteen häiriötilaan jäähdytyksen lyhyen lämpöaikavakion takia. Tällaisessa tapauksessa yksikön lämpötila on saattanut nousta hyvin korkeaksi aiheuttaen HALT -tyypin kuormitusvaikutuksen.

Jäähdytysrivat tai jäähdytysilman ilma-aukot voivat olla myös niin tukkeutuneita, että suunniteltu ilmanvaihto on häiriintynyt. Tällaista tapausta edustakoon esimerkkinä ESD - suojausvaatimuksien takia asennetut ilmansuodatinrakenteet, jotka ovat herkkiä tukkeutumaan normaaleissa käyttöolosuhteissa ja vaativat näin ollen jatkuvaa huolenpitoa. Käytännössä kyseiset suodattimet on voitu ottaa pois käytöstä, tosin laiminlyöden ESD:n edellyttämät vaatimukset, herkan tukkeutumisriskin takia. Kuvassa 4.3 on esitetty lämpötilat erään teollisuuslaitoksen linjakäytöstä, missä oli huomattu kenttätarkastuksen yhteydessä lämpötilamittauksissa eroja.



**Kuva 4.3** Erään paperikoneen linjakäytön lämpötilamittauksien käyrät koneen ollessa ryöminnällä ja normaalilla ajolla. Käyttöryhmän nro. 19 (keskitela KP2) kuormitus oli lisäksi korkea. Tilannetta parannettiin puhdistamalla jäähdytysilman poistopuolen ESD-verkko.

Laitetilan jäähdytystä on saatettu muuttaa siten, että jäähdyttävä ilma ei ohjaudu suunnitellusti oikein laitteelle siitä syystä, että laitetilan jäähdytysilma on kerrostunut esimerkiksi kohtaavien ilmavirtojen turbulenssien takia. Jäähdytysilmapuhaltimet ovat verrannollisia taajuusmuuttajien tehoon, mikä voi aiheuttaa sen, että tehokkaamman puhaltimen sisältämä laite ohjaa jopa koko laitetilan ilmankierron suuntaa. Määräaikaishuoltona puhaltimen vaihdon yhteydessä on mahdollisuus asentaa laitepuhallin puhaltamaan virheellisesti, mikä on ollut syynä lämpötilan kohoamiseen. Virheellinen asennus on vältettävissä sopivalla rakenteen ja sähköisten liittimien suunnittelulla.

Mikäli peräkkäisissä tarkastuksissa havaitaan ulkoisten olosuhteiden ja kuormituksen ollessa aikaisemmalla tasolla laitteen käydessä kuitenkin lämpimämpänä, saattaa kohonnut lämpötila viestiä myös hyötysuhteen pienenemisestä. Tämä ilmiö voi olla seurausta kasvaneista tehopuolijohteiden häviöistä. Näitä häviöitä voivat aiheuttaa puolijohteen

sytytyksen epätarkkuus, mikä voi olla merkinä IGBT -puolijohdetyypillä sytytyspulssin generoivan vahvistimen elektrolyyttikondensaattorin ikääntymisestä. Vastaavasti ns. GTO -invertterin snubber -piirin kondensaattorin ominaisarvojen tai sytytyspiirin optoerottimien ominaisuuksien muuttuminen voi aiheuttaa samantyyppisiä ilmiöitä.

Taulukossa 4.5 on esitetty laitteen sisälämpötilan jako luokitellen ne käyttövarmuuden kannalta tarkasteltuna kolmeen ryhmään. Normaali mitoituksen perusteella käyntilämpötila asettuu käytännössä noin 35...50 C°:een tasolle, jolloin varmistuu myös toisaalta laitteen sisälämpötilan lämpimänä pysyminen ja näin kastepisteen välttäminen, toisaalta elinkaaren kannalta komponenttien normaali vanheneminen. ABB:n taajuusmuuttajan lämpötilamittauksella on tyypillisesti varoitus- ja hälytysrajat, joiden ylitys voidaan rekisteröidä esimerkiksi järjestelmätasolle. Hälytysrajalla käyneen lämpötilan on huomattu aiheuttaneen ”sokkivaikutuksena” merkittävää komponenttien luotettavuuden alenemista. Taajuusmuuttajan sähköisten komponenttien sisäisissä rakenteissa syntyy lämpöhäviöitä ja komponentti kuumenee. Jäähtyminen on sitä tehokkaampaa, mitä suurempi lämpötilaero on komponentin ja jäähdyttävän ilman välillä. Riippuen komponenttityypistä, sillä on erilainen toimintavarmuuteen verrannollinen riippuvuus. Pääsääntönä voidaan pitää sitä, että kuumuus vanhentaa komponentteja lukuun ottamatta ehkä joitakin lankavastuksia.

**Taulukko 4.5** Laitteen käyntilämpötilan määrittäminen

KUVAUS	SISÄLÄMPÖTILA
Normaali	< 50 C°
Huomattava	50 ... 70 C°
Merkittävä	> 70 C°

Lämpökuvausta on joissain tapauksissa yritetty käyttää sisälämpötilojen mittauksessa. Menetelmän haittapuolena on se, että mitattavien pintojen on oltava säteilyabsorption takia näkyvillä, mikä edellyttää suojiin ja kansien purkamista mittauksista varten. Yksittäisten suurempien komponenttien, kuten kiskostojen, moottoriliittimien tai kontaktoreiden suhteen on lämpökuvaus toimiva, joskin harvemmin käytetty menetelmä ennakoivana kunnossapitotoimenpiteenä. Nykyisin lämpökameroiden koot ovat pienentyneet ja hinnat

laskeneet, jolloin niiden käyttömahdollisuuksia helposti käsiteltävinä mittalaitteina olisi hyödynnettävissä taajuusmuuttajien päivittäisessä kunnossapidossa.

#### **4.2.3.4. Kuormitus**

Vaikka kentällä tarkasteluolosuhteissa ei prosessin tilaa välttämättä tiedetä, antaa karkea kuormituksen arviointi kuvaa siitä, millä tasolla laitteen toimintapiste on tai mihin suuntaan se on kehittynyt. Prosessiolosuhteet ovat saattaneet muuttua alkuperäisestä, minkä seurauksena mitoituksellinen kuormituspiste on myös vastaavasti siirtynyt. Tuottavuustavoitteiden kasvaessa sähkökäytön kuormitusta on saatettu nostaa vähitellen siten, että toimintapiste on kasvanut varmuusrajoista huolimatta lähes suorituskyvyn nimellistasolle. Kun tällainen ilmiö tapahtuu pikku hiljaa, laitteen toimiessa normaalisti, ei toimintavarmuuden kannalta osata asiaan kiinnittää tarvittavaa huomiota muutoin kuin vasta käytettävyyden selkeästi laskiessa.

Kuormitustyypeittäin on toimilaitteen sovellukset jaettavissa kahteen tyyppiin, joita ovat

- Jaksottainen kuormitus
- Vakiokuormitus

Taajuusmuuttaja laskee oloarvotietomittausten perusteella kuormitustasoa, mikä usein on luettavissa yksikön käyttöpaneelilta kuormitusprosentteina. Kuormitustasoa saatetaan seurata esimerkiksi sähköisten suureiden, tavanomaisimmin virran oloarvon muodossa, mutta sen pitkäaikaista keskiarvoa ei yleensä rekisteröidä. Jos kysymyksessä on käyttösovellus, missä esimerkiksi sille ominainen kuormitettavuus sisältää jatkuvia käynnistys- ja pysäytyssekvenssejä, on dynaamisen oloarvon trendien seuranta ja vertailu verrattain hankalaa. Tällöin teknisten suoritusarvojen suhteen saatetaan jopa hetkellisesti ylittää valmistajan ilmoittamat mitoitusravot. Tasaisen kuormituksen omaavissa käyttötyypeissä, kuten pumppu- ja puhallinkäyttö, on pitkäaikaisen kuormituksen seuraaminen havainnollisempaa, joskin vähäinenkin ohjearvon kasvattaminen vaikuttaa kuormitukseen erittäin merkittävästi.

Kuormituksen tyyppin lisäksi toinen keskeinen tekijä on kuormituksen kesto. Elinkaaren luotettavuuden kannalta on merkitystä, onko laite vuoden aikana jatkuvasti kuormitettuna vai vain osan aikaa. Kun huomioidaan mahdolliset seisokit, vuosi vastaa noin 8000 tunnin käyttöaikaa, mutta taajuusmuuttaja voi ollakin kuormitettuna vain parhaimmillaan kerran, pari päivässä viiden työvuoron aikana viikossa. Arviointiin tuo lisää ulottuvuutta, onko sähkökäytön syöttö kytkettynä ja onko laite jatkuvasti toimintavalmiina, mutta ei varsinaisesti käyntitilassa. Tällöin kulumalla ikääntyvät komponentit, kuten esimerkiksi laitepuhaltimet, on huomioitava ennakkohuollon suunnittelussa eri tavoin kuin kuormitusriippuvaiset laiteosat. Ennakkohuoltojen suunnittelussa onkin yritettävä suhteuttaa mahdollisimman todenmukaisesti todellinen kuormitusaika.

Yksi huomioitava luotettavuuteen vaikuttavan seikka on todettu olevan laitteen syötön kytkentämäärien vaikutus laitteen toimintaan. Toistuvasti sähköjen kytkeytyminen, esimerkiksi käytön ohjaustoimintona useita kertoja työvuoron aikana, rasittaa latauspiirejä ja apujännitelähteitä, mutta toisaalta sähköttömänä olevan laitteen sisäosat piirikortteineen altistuvat ”kylmänä” ollessaan kosteudelle, mikä näin suurentaa korroosioriskiä. Käyttövarmuuden kannalta parempi tapa on minimoida pääjännitteiden ylimääräisiä kytkentöjä ja tehdä käyttöohjaukset ohjaussignaaleilla. On havaittu, että erilaisten kytkentätilanteiden seurauksena seisokkien yhteydessä vikataajuus kasvaa merkittävästi, jolloin toimintavarmuuden kannalta parempi vaihtoehto on pitää laitteet sähköistettynä toimintavalmiina.

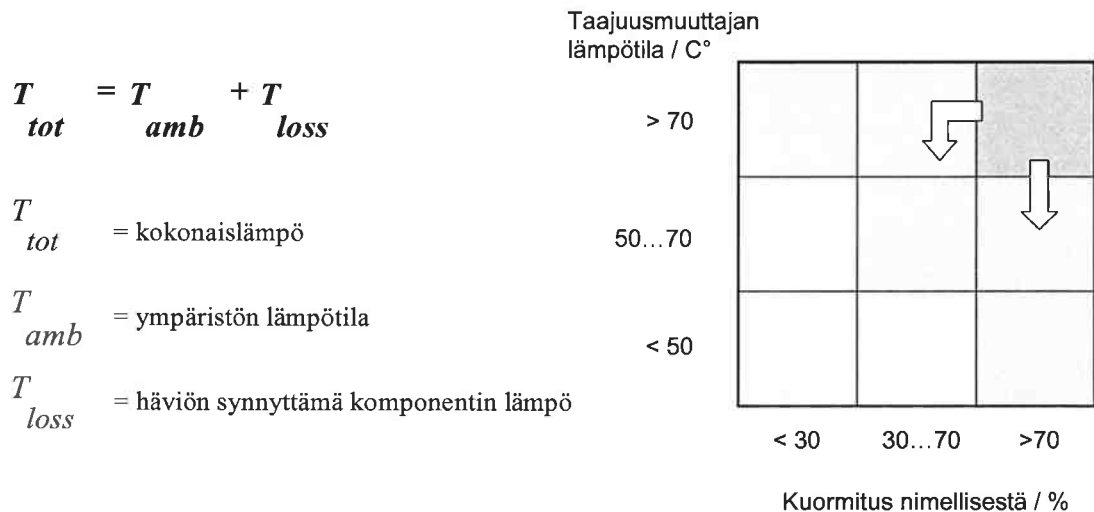
**Taulukko 4.6** *Kuormitustason (laitteen nimellisestä) määrittäminen*

<b>KUVAUS</b>	<b>KUORMITUSTASO</b>
Matala	< 30 %
Normaali	30 ... 70 %
Korkea	> 70 %

Kuormituksen noususta voidaan saada informaatiota laitteen lämpötilan mittauksen välityksellä, mitä käsiteltiin edellisessä luvussa 4.2.3.3. Tarkastushetkellä prosessi voi olla sellaisessa tilassa, että maksimikuormituksen vaikutus lämpenemään on vaikea arvioida.

Suomen olosuhteissa myös vuodenaikojen vaihtelu on osattava huomioida lämpötalouden ja kuormituksen arvioinnissa. Taulukossa 4.6 on ehdotus sopivasta kuormituksen luokituksesta.

Kuvassa 4.4 on esitetty laitteen luotettavuuteen vaikuttavia lämpötilan ja kuormituksen rasiustekijöitä. Riskikuormitus on saavutettu, kun laitteen lämpötila ja kuormitus ovat kukin ylemmällä kolmanneksella. Voidaan todeta, että esimerkiksi linjakäyttösovelluksessa asteittain kohonnut kuormitus ja sen aiheuttama häviöiden nousu luo progressiivisen mallin mukaisen kehittyvän kuormitustilanteen, missä vanheneminen nopeutuu jopa kiihdytettyjä testausolosuhteita vastaavasti ja minkä seurauksena saattaa olla taajuusmuuttajajyksikön ennenaikainen vaurioituminen. Jäähdytyksen tehostaminen tuo laitteen turvallisemmalle toiminta-alueelle, mikä saattaa olla helpommin toteutettava toimenpide kuin vastaava kuormituksen pienentäminen. Mikäli kriittistä aluetta ei voida välttää, on vaihtoehtona tehon kasvattaminen, mikä edellyttää uuden taajuusmuuttajajyksikön investointia perusteena laitteen elinkaarenaikaisen käyttövarmuuden varmistamiseksi.



**Kuva 4.4** Taajuusmuuttajan lämpötilan ja kuormituksen välinen riippuvuus. Tumma alue kuvaa kriittistä aluetta, mistä on pyrittävä pois, jotta luotettavuus varmistettaisiin. Kokonaislämpötilaan ( $T_{tot}$ ) vaikuttaa ympäristön lämpötila ( $T_{amb}$ ) ja laitteen komponenttien tuottama häviölämpö ( $T_{loss}$ ). Asko Kavala.

#### 4.2.3.5. Käyttöjännite

Taajuusmuuttajan tekninen suunnittelu perustuu syötön pääjännitteeseen, minkä on oltava määritellyssä nimellisarvossaan määritellyllä toleranssialueella. Ylijännite voi lyhentää taajuusmuuttajan elektroniikkakomponenttien elinkaarta ratkaisevasti ja suuritehoisten piirien läpilyöntiriskit kasvavat. Kun syöttöjännite on kohonnut nimellisestä arvostaan, vanhentaa suure laitteen piirejä ja komponentteja, kuten jäähdytyspuhaltimia, tehokondensaattoreita, teholähteitä, tehopuolijohteita, lineaarimikropiirejä ja liittimiä. Ylijännite vaikuttaa olennaisesti esimerkiksi elektrolyyttikondensaattoreiden odotettavissa olevan elinkaaren pituuteen lyhentävästi (LIITE 5). Vaikka komponenttitasolla on mitoitusmarginaalit huomioitu, nostaa jännitteen nousu piirien tehohäviöitä sekä kuormittaa sähköisiä rajapintoja. Vastaavasti alijännitteellä taajuusmuuttajan säätöpiirien toiminta tulee epävarmaksi ja virtapiirien kuormitus saattaa kasvaa.

Sähkön laatu, mikä tarkoittaa mm. särön, jännitteen ja taajuuden tasoa, on oltava suunnitteluperusteisesti riittävän korkealla tasolla. Nopea syöttöverkon heilahtelu tai särötason vaihtelu voi olla kuormitustilanteessa kohtalokkaita laitteen toiminnalle. Laitteen omat suojaus- ja säätöpiirit eivät välttämättä aina ehdi kaikissa olosuhteissa mukaan suojaamaan verkon puolelta tulevan syöttöjännitteen epäjatkuvuuksilta. Suomessa syöttöjännitteet ovat tyypillisesti hyväksyttävällä tasolla, mutta poikkeustilanteita syntyy esimerkiksi ukkosten aikana tai esimerkiksi samassa syöttöpiirissä tapahtuvien suurien kuormien kytkentöjen yhteydessä.

Kenttätarkastuksissa voidaan todeta syötön staattinen jännitetaso ja huomioida se, mikäli oloarvo ylittää määritellyt toleranssit. Jännitetason mittausta on tehtävissä sopivasta syöttöpisteestä tai sen arvo todetaan laitteen välipiirin jännitetason oloarvotietoina. Syötön jännitetasoon vaikuttaa, onko laitos mittaushetkellä normaalissa kuormituksessa tai kenties osittain pysähtynyt. Mahdollinen vaihejännitteiden epätasapaino voi aiheuttaa taajuusmuuttajan välipiirin tasakomponenttiin vaihtojännitteen, mikä edelleen kuormittaa kondensaattoreita sekä mahdollistaa jopa tehopuolijohteiden virhetoimintoja. Sähkön laadullisia mittauksia ei tarkastuksissa ole tarkoituksenmukaista tehdä, vaan ne sovitaan toteutettavaksi yleensä vasta sitten, kun sähkön jakelusta johtuvista häiriötilanteista on epäily tai osittain niitä on jo pystytty tunnistamaan.



**Taulukko 4.7** Taajuusmuuttajan syöttöjännitteen poikkeama nimellistasosta  $U_n$ .

KUVAUS	SYÖTTÖJÄNNITE
Normaali	$< \pm 5 \% U_n$
Lievä poikkeama	$< \pm 10 \% U_n$
Huomattava	$< \pm 20 \% U_n$

Taulukossa 4.7. on esitetty syötön nimellijännitteen  $U_n$  poikkeama kolmella eri jännitdeviaatiolla.. Jännitetasoja valvotaan nykyisin taajuusmuuttajien sisäisellä mittauksella ja suojausdiagnoosilla. Laitteen yli- ja alijännitelaukaisurajat, mitkä suojaavat laitteen välittömiltä vikatilanteilta, ovat tyypillisesti taajuusmuuttajissa huomattavasti suurimman ikkunan ulkopuolella. Esimerkiksi ACS600 taajuusmuuttajan sallittu jännitealue on  $\pm 10\% U_n$  (LIITE 6).

#### 4.2.3.6. Toteutetut kunnossapitotoimenpiteet

Valmistajan ohjeistuksen mukaiset määräaikaisten ja toteutetut kunnossapitotoimenpiteet ovat osana laitteen kunnossapitovarmuutta. Ennakoivien toimenpiteiden laiminlyöntien syynä voi olla:

- Ei tiedetä elinkaaren aikaista huolto-ohjelmaa
- Aikaisemmat kokemukset huollon tuloksista
- Taloudelliset perusteet
- Ei tunnisteta asennettua laitekantaa
- Ei ole valittu kunnossapitostrategiaa
- Osaaminen, oma / toimittajan

Erilaisia taajuusmuuttajatyyppejä kehitetään ja lanseerataan myyntiin jatkuvasti, mikä vaatii valmistajalta myös jatkuvaa kunnossapitotoimintojen kehittämistä. Käyttäjä saattaa

olla tietämätön siitä, minkälaisia elinkaareen sidottuja kunnossapitotoimenpiteitä voi laitteelle olla saatavilla. Vielä 1990-luvun alussa mielenkiinto kohdistui yleensä toimitetun laitekannan takuunaikaiseen toimintavarmuuteen. Tuotetuen ei koettu olevan kilpailukyvyyn kannalta yhtä relevantti tekijä kuin vasta 2000-luvulla. Luotettavuuden hallinta edellyttää valmistajalta mm. huolto-ohjeet ja kattavat elinkaaripalvelut, joiden toteuttamiseen osallistuu niin myynnistä kuin huollosta vastaava oma tai ulkopuolinen organisaatio.

Käyttäjät on voinut kokemukseräisesti todeta, että huolto on tarpeetonta, sillä laitteiden luotettavuus on saavutettu riittävän korkealle tasolle huoltamattomuudesta huolimatta. Kokemukset ovat saattaneet muuttua, mikäli verrataan esimerkiksi eri sukupolvien taajuusmuuttajia keskenään. Laitteen ollessa elinkaarensa *Active-Limited* -vaiheessa, käyttöolosuhteiden hyvät ja epäkäytettävyyden hyväksytyllä tasolla, koetaan kunnossapito-ohjelmien noudattaminen raskaaksi ja ylimääräisiä kustannuksia aiheuttavaksi toiminnoksi. Staattiset taajuusmuuttajat markkinoitiin huoltovapaina, jolloin varsinkin elinkaaren loppuvaiheilla, uusien huolto-ohjelmien kehittyessä, niiden esittäminen paikalliselle huolto-organisaatiolle oli erityisen haastavaa. Tällöin määriteltiin laitekunnossapidolle ensimmäistä kertaa sellaisia toimintoja ja kustannusrakenteita, joita sen ei ollut tarvinnut aikaisemmin huomioida.

On mahdollista, että huolloista on saatu huonoja kokemuksia huoltovaraosien epäluotettavuuden seurauksena. Tässä suhteessa huoltovaraosien edellytetään olevan toimintavarmuudeltaan jopa parempia kuin alkuperäisten. Kokonaisuuden kannalta luotettavuus ei parane, mikäli huoltoväli toteutetaan suunniteltua tiheämmin ja huollossa käytettyjen vaihto-osien vikatiheys on samaa tasoa kuin uuden laitteen vikatiheys./21/ Ylihuoltaminen lisää myös epäluotettavuuden riskiä ja huomattava kustannusvaikutuksia. Kriittiseksi tilanne tulee, jos huoltovaraosan luotettavuus (MTBF) on huonompi kuin laitteen ollessa sarjatuotantovaiheessa vastaavan alkuperäisen osan luotettavuus. Syynä tällaiseen voi olla esimerkiksi alihankintana toimitettujen varaosien laatu, osien yhteensopivuus tai vaikkapa elektroniikkakortin päivitystyön laatuksymykset. Taajuusmuuttajien huoltotyössä käytetyn varaosan luotettavuuden merkitys kasvaa, kun määräaikaishuoltona vaihdetaan kunnossa ollut, esimerkiksi elektroniikkakortti, uuteen tai huollettuun osaan.

Huollossa käytettyjen komponenttien ohella erittäin tärkeä tekijä on huoltotyön tekninen osuus, missä korostuu laitteen huollettavuus, mutta myös huoltajien kokemus ja ammattitaito. Lopputuloksen kannalta on resurssit kohdistettava siten, että varmistetaan onnistuminen käyttämällä koulutettuja ja motivoituneita tekijöitä. Taajuusmuuttajien suhteen huollot tehdään poikkeuksetta toimiviin laitteisiin ja huollon edellytys onkin, että prosessi on täysin käytettävissä työn jälkeen - etenkin, jos kysymyksessä on tiukkaan aikataulutettu seisokkityö. Laitteen huollettavuus määrittelee luonnollisesti ne ominaisuudet, miten huoltotoimenpiteet ovat laitteen toimintavarmuutta silmällä pitäen myös turvallisesti tehtävissä.

Yksi peruste huoltamattomuudelle on, että käyttäjä ei tunnista kaikkia laitteitaan, jotka voivat edustaa useiden eri valmistajien eri aikakausien tyyppiperheitä. Huolto-ohjelmien määrittäminen on koettu aikaa vieväksi ja on saatettu jättää muiden akuuttien toimintojen takia tekemättä. Ei myöskään osata hyödyntää mahdollisen kunnossapitojärjestelmän niitä ominaisuuksia, jotka tukevat ennakkohuoltojen suunnittelua. Mikäli laitteet eivät ole käyttäjällä minkäänlaisessa rekisterissä, on niiden hallittu kunnossapitosuunnittelu käytännössä lähes mahdotonta toteuttaa systemaattisesti.

Taulukossa 4.8 on esitetty kenttätarkastuksen yhteydessä arvioitu kunnossapidon toteutus, millä todettaisiin olevan merkitystä laitteen luotettavuuden kannalta. Kenttätietoina voidaan todentaa toimenpiteiden toteutuminen, joita ovat esimerkiksi merkinnät vaihtotyöstä, sopivat tarrat päivämäärineen tai työn suorittajan tunnisteet.

**Taulukko 4.8** *Taajuusmuuttajan ennakoivan kunnossapidon huomioiminen*

<b>ENNAKOIVA KUNNOSSAPITO</b>	<b>LUOTETTAVUUSARVIO</b>
Ei tunnisteta, ei toteuteta	10%
Tunnistettu, osittainen toteutus	50%
Huolto-ohjelman mukainen toteutus	70%
RCM -tyyppinen toteutus	90%

Valittu kunnossapitostrategia määrittelee myös sen, miten toimenpiteet painotetaan eri laitteille. Riippuen laitteen kriittisyydestä, määräytyvät aktiviteetit vastaavasti sen mukaan.

Monesti jakoperusteet muodostuvat laitteen kokoluokan mukaisesti, jolloin esimerkiksi pienitehoiset laitteet saattavat jäädä vähemmälle huomiolle, kun taas suuremmat yksiköt ovat olleet huoltojen suhteen tarkastikin määriteltynä ja ohjeistettuna. Staattisten taajuusmuuttajien käytettävyyden ollessa nykyisin korkea, strategiasuunnittelussa ehdollistetaan perusteita siitä, onko käytettävyyden ylläpito tai parantuminen ollut seurausta sinänsä ikääntyneen komponentin vaihdosta vai siitä, että elektroniikkakorttien vaihtotyön yhteydessä yhtenä samanaikaisena asiana on liittimien vaihto ja vaihto-osien käyttö, jolloin mahdolliset korroosiovaikutukset on tulevat sitä kautta ennaltaehkäistyä.

#### **4.2.3.7. Vikapuskuri**

Ensimmäisten taajuusmuuttajien vikadiagnostiikka perustui yleensä analogisten oloarvotietojen ja vastaavan suureen asettelutietojen vertailuun, jolloin ylitys liipaisi esimerkiksi releen merkiksi vertailupiirin toiminnasta. Niin sanottujen lippureleiden ja myöhemmin merkkidiodien välityksellä saatiin täten häiriöstä yksinkertainen indikaatio, jonka toimintaan suhtauduttiin varauksella. Mikroprosessorit toivat mukanaan numeraalisen analyysin ja muistitoiminnot. Taajuusmuuttajan vikadiagnostiikan sisältö monipuolistui ja tapahtumia pystyttiin rekisteröimään laitteen muistiin. Alkuaikoina kuitenkin käyttöliittymä oli toteutettu monesti siten, että laitteen vikalokin tulkinta saattoi vaatia erillisen työkalun sekä käyttäjän tai kunnossapitäjän erityisosaamista tyyppikohtaisten koodien tulkinnassa.

Hyvin harvoin vikarekisterien luku tapahtumana on vielä kuulunut ennakoivan kunnossapidon suunniteltuun ennakkohuolto-ohjelmaan, vaikka toimenpiteenä se on yksinkertaisesti tehtävissä. Syynä tähän on ollut se, että laitteen oman diagnostiikan luotettavuus on koettu aikaisemmin epävarmaksi niin sen sisällön kuin tarkkuudenkin suhteen. Vikapuskuri (vikaloki) on nousemassa yhdeksi tärkeäksi osaksi taajuusmuuttajan ennakoivassa kunnossapidossa. Merkittävä syy tähän on erilaisten mittauksien ja niitä hyödyntävän diagnostiikan kehittyminen. Ensinnäkin mittaustarkkuuden myötä digitaalimuodossa asetteluarvot pystytään määrittelemään tarkoiksi, mikä tuo luotettavuutta itse vian luokitteluun. Toiseksi kullekin mittaukselle voidaan määritellä esimerkiksi

useampi raja-arvo, kuten erilliset varoitus- tai hälytysrajat. Tosin varoitusrajat ovat jääneet käytännössä hyödyntämättä, jolloin tieto kunkin raja-arvon ylityksestä jää vain laitteen muistiin, jollei sitä ole monitoroitu laitteesta ylemmän tason järjestelmiin. Kolmantena taajuusmuuttajien ohjelmistoihin voidaan rakentaa algoritmeja, jotka hyödyntävät yhtä tai useampaa oloarvon mittaustietoa. Näiden merkitys on laskennallisesti mallintamalla muodostaa numeraalisia arvoja, jotka vaatisivat erikseen tehtynä erillisiä mittausteknisiä lisälaitteita. Esimerkiksi sähkömoottorin lämpenemä voidaan määrittää näin laskennallisesti tietyissä olosuhteissa riittävällä tarkkuudella.

Oloarvomittauksiin perustuvat valvonnat ovat vaikutukseltaan pysäyttäviä, varoittavia tai informatiivisia (LIITE 8). Pysäyttävien vikasignaalien kuittaus on toteutettu eri tavoin; osa tehdään kytkemällä laite sähköttömäksi ja osalle nollaus on mahdollista näppäimistön tai kenttäsignaalin välityksellä. Myös signaalien automaattikuittaus on toteutettavissa laitteen sovelluskohtaisilla parametriasetuksilla.

Kenttätarkastusten välillä laitteen rekisteröidyt tapahtumat on syytä kirjata muistiin, jolloin niiden antamaa informaatiota voidaan tarkastella ja hyödyntää myöhemmin esimerkiksi huoltojen suunnittelussa. Vikailmoitukset rekisteröityvät nykyisin taajuusmuuttajan ohjausyksikön muistiin reaalikellolla, mistä tapahtumia voidaan tarkastella myöhemmin joko paneelilla tai erillisellä työkaluohjelmalla. Vikaviestit perustuvat asetettujen kynnsarvojen ylityksiin tai alituksiin ja ne ovat osana laitteen suojaustoimintaa. Tällaisia taajuusmuuttajan ilmoituksia ovat esimerkiksi yli- ja alijännitelaukaisut, sähkömoottorin jumitilanne, ylivirta jne. Jos havaitaan, että tietyn tyyppisiä viestejä on yksittäiselle laitteelle tai saman projektin yhteydessä toimitetulle laitekannalle rekisteröitynyt useita, voidaan niiden avulla päätellä laitteen teknistä elinkaaren tilaa tai vaikkapa korroosion mahdollisesti aiheuttamia häiriötilanteiden ensimerkkejä. Vastaavasti ilmoituksien esiintyvyydestä tietyllä syöttöjännitejakealueella ja sovelluskohteella voidaan tehdä päätelmiä sähköisten mitoitusten onnistumisesta tai toimilaitteen prosessista johtuvista tapahtumista.

Osa häiriöilmoituksista kertoo taajuusmuuttajan erilaisista teknisistä statustiloista, joiden tarkoitus on helpottaa ja selventää häiriötilanteessa laitteen tai toiminnan vikadiagnostiikkaa. Nykyinen teknologia mahdollistaa laitteen itsediagnostiikan kautta

kerätä erilaisia oloarvotietoja, joita voidaan hyödyntää laitteen itsensä lisäksi myös toimilaitteen tai prosessin tilaa määriteltäessä. Taajuusmuuttajan käyttötietojen voidaan katsoa toimivan eräänlaisena sovelluskohtaisena kunnonvalvontamittarina. Esimerkkinä mainittakoon taajuusmuuttajakäyttöinen pumppusovellus, missä pystytään sähköisten oloarvosuureiden avulla määrittelemään pumpun kuntoa. Taajuusmuuttaja onkin mielletävissä jo eräänlaiseksi mittalaitteeksi sen parantuneen toimintavarmuuden ja mittaustarkkuuden ansiosta. Moottorimallinnettu taajuusmuuttajan ohjelma pystyy havaitsemaan käytännössä sellaisen orastavan moottorivaurion, mistä suorakäyttöisenä sovelluksena sama moottori ei anna mitään merkkejä kuin vasta moottorin ollessa jo vakavasti vaurioitunut. Vikailmoitusten tulkinnan kannalta on lisäksi otettava huomioon eri valmistaja- ja laitesukupolvien ilmoitusten sisällön merkityksen epäyhtenäisyys.

Kehittyneet väylä- ja muistiteknologiat mahdollistavat jatkuvan tiedon keräämisen (automaatio)järjestelmän tasolla, jolloin voidaan toteuttaa reaaliaikainen taajuusmuuttajatekniikkaan perustuva kunnonvalvonta. Tällaisia ABB:n sovelluksia ovat mm. DriveScan (DrivePro) ja Remote Service.

#### **4.2.3.8. Kriittisyys**

Toiminnon tai prosessin kriittisyys määrää vastaavasti sen komponentin, tässä tapauksessa taajuusmuuttajan, kriittisyystason ja -vaatimukset kohdan 3.1.2.4. periaatteiden mukaisesti. Sama kriittisyystaso on moottorikäytön sarjakytkennän perusteella toimintopaikan suhteen niin taajuusmuuttajalla kuin sähkömoottorillakin. Prosessin kannalta kriittisyystarkastelu voidaan määrittää käyttöpaikkatasolla erilaisilla jaoilla, jotka voivat olla seisokki-, aika-, kapasiteetti-, laatu-, ympäristö- ja energiaperusteisia sen mukaan, mikä on kulloinkin tarkasteltava vaikutus./33/ Kriittisiltä käyttökohteilta odotetaan vastaavasti korkeaa luotettavuutta, mikä merkitsee sitä, että kaikki käyttövarmuuteen vaikuttavat ja sitä parantavat osatekijät on huomioitava. Laitteen valmistajan kannalta luotettavuus ei riipu kriittisyydestä, mutta valmistaja luo laitteella mielikuvan sen käyttökelpoisuudesta kriittisissä käyttökohteissa odotettavan elinkaaren aikana. Kriittisiin käyttökohteisiin

laitevalintojen perusteina voi olla kyseisen laitteen luotettavuudesta ja laitetuesta saadut kokemukset. Esimerkiksi aikaisemmin kriittiseen kohteeseen hankittu taajuusmuuttaja olivat varustettu yleensä ns. ohituskentällä (kylmä redundanssi), jolla pystyttiin kytkemään oikosulkumoottoriin suora syöttö taajuusmuuttajan vikatilanteessa. Taajuusmuuttajien käyttökokemusten perusteella on tällaisista järjestelyistä pääosin jo nykyisin luovuttu.

Kentällä tarkastuksien yhteydessä ei pystytä yleensä suoraan ottamaan kantaa laitteen kriittisyystasoihin, mutta yleisellä tasolla pystytään arvioimaan usein vähimmäisvaatimukset luotettavuuden varmistamiseksi. Kriittisten laitteiden kohdalla on huomioitava erityisesti viankorjausajan (MTTR) minimointiin, mikä tarkoittaa erilaisten kunnossapidollisten valmiuksien, kuten varaosien, osaamisen, dokumentoinnin varmistamista.

#### **4.2.3.9. Energiatehokkuus**

Säädettävä sähkökäytön yleisin käyttösovellus on joko puhallin- tai pumppukäyttö, mikä on hyvin energiatehokas sovellus verrattuna mekaanisiin kuristussäätöihin. Taajuusmuuttaja oikein mitoitettuna voi säästää sähköenergiaa niin, että sen investoinnin takaisinmaksuaika saattaa olla vain lyhimillään vuosien luokkaa, mikäli verrataan käyttöä suoraan käyttöiseen moottoriin ja tuotantoprosessin mekaaniseen säätämiseen. Nykyaikaisen kansainvälisen ja kansallisen energia- ja ympäristöpolitiikan seurauksena panostetaan laajasti käyttäjien omien organisaatioiden, erilaisten laitetoimittajien tai energia-asiantuntijoiden toimesta sellaisten käyttökohteiden selvityksiin, missä esimerkiksi säädettävä moottorikäyttösovellus on energiatehokkuuden kannalta perusteltua.

Kenttätarkastuksessa on mahdollista selvittää potentiaalisia energiasäästökohteita. Jos sovelluksessa on jo säädettävä sähkökäyttö, voidaan energiatehokkuuden arviointia syventää arvioimalla tässä tapauksessa oikosulkumoottorin ja taajuusmuuttajan normaalin käytön aikaista toimintapistettä. Käyttökohteen historia saattaa olla sellainen, että käyttöpaikalla on aikoinaan toiminut suoraan käyttöiseksi hankittu sähkömoottori, minkä syöttöön on myöhemmin lisätty moottorin tehon perusteella taajuusmuuttaja. Moottorin

pyörintänopeus ja kuormitus on voinut jäädä tai ajautua prosessin muuttumisen seurauksena sellaiselle toiminta-alueelle, missä käytön kokonaisenergiatehokkuus ei ole enää optimaalinen. Kenttätarkastuksen yhteydessä voisi olla mahdollista arvioida energiatehokkuutta toimintapistettä tarkastelemalla, mutta se edellyttäisi riittävästi teknisiä lähtötietoja ja työkalun, millä voidaan karkeasti määrittää edelleen perusteet tarkemmalle laskennalle. Energiatehokkuuden selvitys saattaa antaa perusteet kokonaan uuden sähkökäytön uusinnalle tai vaikkapa moottorin osalta ennakkohuollon kautta tehtäville toimenpiteille; esimerkiksi moottorin vaihtaminen määräaikaishuollossa paremman hyötysuhteen moottoriin huomioimalla samalla optimimitoituksen. Taulukossa 4.9 on malli energiatehokkuuden arvioimiseksi.

**Taulukko 4.9 Energiatehokkuuden määrittelyt**

KUVAUS	ENERGIATEHOKKUUS
Ei tarvetta	Normaali käyttötilanne
Selvitys	Käyttötilanteen, toimintapisteen, ajotavan perusteella on syytä olettaa, että energiatehokkuuden tehostaminen on selvitettävä

Energiatehokkuuden huomioimisella laiteosalla on mahdollisuus vaikuttaa taajuusmuuttajan hyötysuhteen paranemiseen, mikä tarkoittaa käytännössä komponenttien matalampia toimintalämpötiloja ja sitä kautta elektroniikan luotettavuuden hallintaa.

#### **4.2.3.10. Varasto / varaosat**

Varastoituna varaosa tai -laite edustaa kylmää redundanssia. Käytännössä varastointiolosuhteet vaikuttavat yleensä elektroniikkavaraosan luotettavuusestimaattiin alentavasti ja myös teknistä elinkaarta lyhentävästi. Aikaisemmin elektroniikkavaraosat ja -komponentit on saatettu varastoida teollisuudessa fyysisesti samoin kuin esimerkiksi pelkästään mekaniikkaa sisältävät laiteosat. Varaston lämpötilavaihtelut ovat olleet normaaleja käyttöolosuhteita haastavammat tai varaosat ovat saattaneet altistua



varastointiaikana helpommin ilman kosteudelle ja siten korroosiolle. Lisäksi elektroniikkavaraosien varastoinnista ja käsittelystä ei ole ollut aikaisemmin tietoa eikä riittävää ohjeistustakaan.

Kunnossapidettävyyden kannalta taajuusmuuttajan viankorjausaika voidaan hallita ylläpitämällä riittävää korjausvalmiutta joko erillisillä varaosavarastoilla, kokonaisilla vaihtoyksiköillä tai toimittajasopimuksilla. Varaosien käytön edellytyksenä on niiden oltava teknisesti luotettavassa kunnossa sekä yhteensopivia, niin mekaanisesti kuin ohjelmallisesti, samalla huomioiden asennettu laitekanta niin määrillisesti kuin kriittisyydenkin kannalta. Yhteensopivuuden varmistaminen on haaste tuotesuunnittelun kannalta, sillä laitteen mekaniikka on osattava määritellä kyseisen laitesukupolven suunnitteluvaiheessa oikein, jotta erillisiä asennustarvikkeita tai -kittejä ei jatkossakaan tarvita. Varaosan mekaanista sovitusta tärkeämmäksi on noussut ohjelmallisia piirejä sisältävien piirikorttien versioiden hallinta ja yhteensopivuuden varmistaminen. Jatkuva sovellusohjelmien revisiointi voi johtaa sellaiseen tilanteeseen, että uusi varaosa ei ole yhteensopiva aikaisemmin hankitun taajuusmuuttajan kanssa. Vastaavia ongelmia voi syntyä puolijohteiden teknisen yhteensopivuuden suhteen, kuten esimerkiksi rinnankäyvissä tehoyksiköiden sovelluksissa alihankkijoiden muuttaessa komponenttien teknisiä ominaisuuksia ja tuotantoprosessia.

#### **4.3. Tiedon luokitus ja analysointi**

Esitetty käynninaikainen laitteen tarkastus mahdollistaa vain laitteen ja toimintaympäristön arvioinnin niiltä osin kuin se on tuotantoajan aikana mahdollista tehdä. Tarkastuskierrosten tiheys määräytyy laitekannan kriittisyyden mukaan, mutta käytännössä sen on koettu 1 - 2 vuoden välein tapahtuvana olevan riittävä luotettavuuden ennakkoinnin kannalta. Elinkaarenaikaisen luotettavuuden arvioinnilla yritetään tuoda esiin kohteet, joilla voidaan vaikuttaa välittömästi tarkastellun laitteen elinkaaren tilaan ja luotettavuustavoitteeseen. Ammattitaitoisesti tehdyn tarkastuskierroksen perusteella saadaan helposti selvitettyä kiireellisyyttä vaativat kunnossapitokohteet, jotka muutoin ilmenisivät vasta laitteen vikaantumisenä. Kun tarkastuksen piiriin otetaan mukaan myös täydentäviä kohteita,

voidaan laajemmassa mittakaavassa arvioida myös laitevalmistajan kannalta sellaisia ominaisuuksia, mitkä antavat informaatiota esimerkiksi tietyn laitetyypin suunnitteluvaiheessa sovittujen teknisien ratkaisujen kenttäkelpoisuudesta.

Käyttöpaikan yleiset olosuhteet arviointikohteena on esitetty yhteenvetona taulukossa 3.10. Asennus- ja käyttöpaikalla on suuri merkitys laitteen tekniseen elinkaareen. Käyttöolosuhteisiin liittyvät määrittelyt ovat teknisen suunnittelun perustana ja niiden huomiotta jättäminen johtaa yleensä takuuajana takuun raukeamiseen ja myöhemmin ennenaikaiseen vaurioon varsinkin siinä tapauksessa, kun ennaltaehkäisevät kunnossapitotoimenpiteet ovat jääneet tekemättä. Käyttöpaikan kautta luotettavuutta heikentävät mekanismit ovat tyypillisesti hitaita ja niiden vaikutukset on havainnoitavissa vasta vuosien käytön jälkeen, jolloin myöskään syiden ja korjaavien toimenpiteiden analysointi ei ole helppoa (esim. VVA). Ensimmäisten teollisesti valmistettujen taajuusmuuttajien alkuaikoina käyttöpaikan ei koettu olevan myöskään kovin kriittinen ja laitteiden ollessa yksittäisistä komponenteista koottuja, hyvin suurikokoisia ja erityisesti vain teollisuuden suunniteltuja, tietty ”robustisuus” koettiin valmistajan ominaisuudeksi. Nykyisin on tunnustettu elektroniikan käyttöolosuhteiden vaatimukset, mikä osataan jo ottaa huomioon laitehankintojen yhteydessä laitetilojen ja jäähdytyksen suunnittelussa.

Taulukossa *kohde* on valittu siten, että sen arviointi kenttätyönä on mahdollista sekä sillä on selkeät perusteet luotettavuuden kannalta. Kohteet perustuvat ABB:n valmistamien taajuusmuuttajien tyypillisiin ominaisuuksiin, mutta yleisellä tasolla on arviointi sovellettavissa niin ikään muiden valmistajien AC -käyttöihin ja myös nykyaikaisiin tasavirtakäyttöihin. *Havaintomenetelmä* kuvaa havainnon perusteet ja mittauksen sisällön, mitä pystytään arvioimaan käytön aikana vallitsevilla kenttäolosuhteilla. *Luokitus* kuvaa tehdyn havainnon määrittämistä siten, että mitattavilla suureilla on raja-arvot, vaihteluvälit tai erillinen sanallinen kuvaus. *Merkitys luotettavuuteen* on kenttä, missä on lyhyt kuvaus kyseisen arvion merkityksestä taajuusmuuttajan elinkaarenaikaiseen käyttövarmuuteen. Viimeisenä sarakkeena on arvioitu tarkasteltavana olevan *tiedon hyödyntäminen* niin käytön, tuotetuen kuin valmistajan kannalta.

Vastaavasti taulukossa 3.11 on tarkasteltu ja luokiteltu yksittäisen taajuusmuuttajalaitteen niitä ominaisuuksia, mitkä ovat niin ikään arvioitava, kun halutaan selvittää kyseisen

käyttösovelluksen tilaa ja arvioida sen perusteella laitteen tulevaa käytettävyyttä. Laitteen hallittuun elinkaaren aikaiseen toimintavarmuuteen vaikuttaa edellisen taulukon 3.10. käyttöolosuhteiden lisäksi kyseisen laitteen niin tyyppitekniset ominaisuudet kuin käyttösovelluskin unohtamatta oikein toteutettua ennakoivaa kunnossapitoa. Kerätyt tiedot on luokiteltava siten, että ne ovat edelleen käsiteltävissä tilastollisesti ja sitä kautta on laitetyypeistä havainnoitavissa niitä käyttökokemuksia ja ominaisuuksia, joihin laitteen suunnittelussa voidaan vaikuttaa.

Laitekohtaisen arvion perusteella on mahdollista määrittää juuri kyseisen laitteen käyttöolosuhteita ja ryhtyä tarvittaviin luotettavuutta ylläpitämiin tai parantaviin toimenpiteisiin. Laitekohtaisesti tarkasteltuna vikaantumismekanismit ovat nopeampia kuin edellä esitetyn käyttö- ja asennuspaikan vaikutuksesta. Juurisyiden selvitys on selkeämpää ja vastaavasti yksittäisten laitteiden ratkaisutoimenpiteiden kustannustaso on huomattavasi matalampi verrattuna tilanteeseen, jossa korjaustoimenpiteet kohdistuisivat esimerkiksi käyttöpaikan rakennusteknisten epäkohtien korjaamiseen.

Sellaisissa kohteissa, missä asennus on tehty yksittäisenä laitteena, pitää tilanne arvioida kokonaisuutena kyseisen käyttöpaikan suhteen. Apuna arvioinnissa on kokemustieto erilaisista asennus- ja sovellusympäristöistä.

**Taulukko 4.10 Yhteenveto asennusolosuhteiden arvioinnista**

<b>1. Ulkoiset käyttöolosuhteet</b>				
<b>Kohde</b>	<b>Havaintomenetelmä</b>	<b>Luokitus</b>	<b>Merkitys luotettavuuteen</b>	<b>Tiedon hyödyntäminen</b>
<b>A. Turvallisuus</b>	Visuaalinen tarkastus: -konedirektiivit -oikea asennustekniikka -merkinnät	Kunnossa Korjattava Muu huomio	Epäsuora, mutta merkitys yleisen turvallisuuden ja laitteen imagon kannalta	Käyttö  Valmistaja (kehityspotentiaali)
<b>B. Ympäristön lämpötila</b>	Lämpötilamittaus tai lämpötilan arvio normaalissa käyttötilanteessa	< 15C° 15...30 C° >30 C°	Suora vaikutus elinkaareen  Komponenttien vanheneminen	Käyttö  Valmistaja  Tuotetuki
<b>C. Ilman suhteellinen kosteus</b>	Yritetään arvioida yleisellä tasolla tarkasteluhetkellä sekä mahdollisesti seisokkien yhteydessä huomioiden asennuspaikan, ilmaston vaikutuksen	< 50% 50...80% 80...95% Kondensoituminen	Vaikutus pitkällä aikavälillä:  - Lämpilyönnit - Vuotovirrat - Korroosio ( yhdessä kontaminaation kanssa )	Käyttö  Tuotetuki
<b>D. Korroosio</b>	Arviointiin perustuva korroosiotason luokitus	(R1) R2 R3 R4 (R5)	Ääritilanteissa havainnoitavissa helposti, mutta välimuodot vaativat selkeät arviointiohjeet	Valmistaja  Tuotetuki - Installed Base - ServiIS
<b>E. Asennusympäristö</b>	Oikea laiteluokan valinta	Kunnossa Korjattava Huom!	Suuri vaikutus, mikäli kotelointiluokka on väärin määritetty	Käyttö  Tuotetuki - mitoitusohjeet

**Taulukko 4.11 Sovelluksen luokitus**

<b>2. Laitekohtaiset tiedot</b>				
<b>Kohde</b>	<b>Havaintomenetelmä</b>	<b>Luokitus</b>	<b>Merkitys luotettavuuteen</b>	<b>Tiedon hyödyntäminen</b>
<b>A. Turvallisuus</b>	Laitteen teknisen turvallisuuden arviointi, missä tarkastetaan yleinen turvallisuuden toteutuminen	Kunnossa Puutteita Käyttökielto	Välillinen vaikutus  (imago)	Käyttö  Tuotekehitys
<b>B. Likaisuus</b>	Likaantumisasasteen aistinvarainen arviointi	Normaali Huomattava Kriittinen	Suora tai välillinen vaikutus	Käyttö  Tuotekehitys
<b>C. Lämpötila</b>	Jäähdytys-elementin lämpötila, sisäinen lämpötila	< 50 C° 50...70 C° > 70 C°	Kohonneella lämpötilalla on merkittävä vanhentava vaikutus	Käyttö  Tuotekehitys
<b>D. Kuormitus</b>	Taajuusmuuttajan kuormitustaso verrattuna nimelliseen	< 30% 30...70% > 70%	Merkittävä vaikutus yhdessä lämpötilan kanssa kun kuormitustaso > 70%	Käyttö  Myynti
<b>E. Käyttöjännite</b>	Syöttöjännitteen tason keskiarvo, kun Un on nimellinen	< ± 5% < ± 10% < ± 20%	Pääjännitteissä olevien piirien ja komponenttien kuormittuminen, millä vanhentava vaikutus	Käyttö  Tuotekehitys
<b>F. Huolto-historia</b>	Todennetut huoltomerkinnät, käytössä olevat huoltosuunnitelmat	10% 50% 70% 90%	Kuluvien ja vanhenevien komponenttien määräaikainen vaihto	Tuotekehitys  Tuotetuki
<b>G. Vikapuskuri</b>	Rekisteröidään viimeiset laitteen oman diagnostiikan ilmoitukset	Vikakoodin kirjaus	Potentiaalinen kohde hyödyntää laitteen omaa diagnostiikkaa	Käyttö  Tuotetuki
<b>H. Energia-tehokkuus</b>	Toimintapisteen arviointi	Ei tarvetta  Selvitys	Välillinen vaikutus	Käyttö  Tuotetuki  Myynti

## **5. TULOSTEN ANALYSOINTI JA JOHTOPÄÄTÖKSET**

### **5.1. Kenttätietojen hyödyntäminen taajuusmuuttajan luotettavuussuunnittelussa**

Taajuusmuuttajan käynninaikainen käyttövarmuus on riippuvainen tuotetukiorganisaatiosta ja kunnossapidosta. Laitevalmistajan kanssa tehdyllä käytettävyydestä sisältävällä huoltosopimuksella voi käyttäjä osaltaan varmistaa laitteen käytettävyyttä tukevat toiminnallisuudet. Laitteiden ollessa sopimusperusteisen toiminnan piirissä, ovat myös paikalliset käyttäjän kunnossapitäjät paremmin koulutettuja ja laitevalmistajan huoltohenkilöstön paikallistuntemus parempi, mikä taas edesauttaa yhteisten luotettavuustietojen hankintaa ja arviointia. Näin saatavat tiedot voivat olla hyvin merkityksellisiä tuotekehityksen, huoltotuotteistusten ja myös huolto-organisaation toiminnan kannalta.

Kun laitevalmistaja määrittelee standardien mukaiset käyttöolosuhteet, missä luotettavuuden toivotaan toteutuvan estimoidulla tasolla, ei hankinnan yhteydessä useinkaan käyttöpaikan arviointia tehdä. Käytännössä valtaosa toteutetuista asennuspaikoista, mitoituksista ja koteloluokituksesta onnistuu hyväksytysti, mutta on toki laiteasennuksia, missä käyttöolosuhteet osoittautuvatkin lopulta hyvin vaativiksi laitteen suunnittelulähtökohtiin nähden. Tällöin tulevat laitevalmistajan erilaiset mitoitukselliset marginaalit esille. Toisaalta taajuusmuuttaja saattaa toimia hyväksyttävällä luotettavuustasolla ääriolosuhteissa, mistä käytännössä muotoutuu laitevalmistajalle tai laitetyypille imago. Kyseiseen valmistajaan liitetty yleinen laatu ja laitteen ns. ”robustisuus” yhdistetään myös helposti saman valmistajan uusien laitesukupolvien tuotteelta vaadittaviin odotuksiin. Paremminkin laadun voi havaita näin asiakkaan ostokäyttäytymisenä: asiakas määrittää laadun, ei suunnittelija.

Kenttätietojen hyödyntäminen taajuusmuuttajan luotettavuuden kannalta varmistettaisiin tarkastelemalla erityisesti seuraavia asioita:

- Taajuusmuuttajan lämpökuorma

Laitekoko on jatkuvasti pienentynyt kohonneen integrointiasteen seurauksena ja laitteessa syntyy enemmän lämpöhäviötä tilavuusyksikköä kohti. Oikein määritellyt käyttöolosuhteet ja kuormitus (mitoitus) mahdollistaa komponenttien normaalin vanhenemisen.

- Jäähdytys

Laitepuhallin on nykyisen taajuusmuuttajan kuluvin ja vikaantuvuin yksittäinen komponentti, minkä ennakkohoito perustuu käyttötuntimäärään perustuvaan vaihtoväliin. Onnistunut kunnossapito edellyttää luotettavuudeltaan alkuperäisen tasoisen varaosan sekä aktiivista jäähdytyksen seuranta.

- Korroosioriski

Ääritapauksissa korroosiosta aiheutuneiden vikojen tunnistaminen on selkeää, mutta usein käyttöolosuhteissa, missä viat esiintyvät satunnaisesti ja vaihikka, todellinen vian syyn selvittäminen on vaativa tehtävä. Käyttöpaikan korroosioriskiä pienentämällä varmistetaan poikkeuksetta elektroniikkalaitteen luotettavuus sen elinkaaren ajalta.

- Kunnossapidettävyys

Kunnossapidettävyyden strategiana on nykyisin vian korjausajan pitäminen niin lyhyenä kuin mahdollista, mikä edellyttää kattavaa laite- ja sovellusdokumentoinnin hallintaa sekä varaosien tai vaihtolaitteiden yhteensopivuuden ja käytettävyyden varmistamista, jolloin erikoistyökaluja, viritystyötä tai erillistä käyttöönottoa ei tarvita. Hyvä kunnossapidettävyys tarkoittaa myös sitä, että tarvittava tekninen osaaminen on helposti saavutettavissa ja aikataulutettu ennakkohoito minimoidaan jo laitteen suunnitteluvaiheessa.

- Vikadiagnostiikka

Laitteen sisäisen diagnostiikan hyödyntäminen on mahdollisuus, jolla pystytään

toteuttamaan taajuusmuuttajan ja jopa siihen liitetyn toimilaitteen kunnonvalvontaa. Rekisterien tarkastus olisi käyttökelpoinen vuosittainen kunnossapitotoimenpide, mutta automaattinen on-line -tiedonkeruun toteutus edellyttää järjestelmätason sovelluksia.

## **5.2. Taajuusmuuttajan tuotetuen kehittäminen**

Käyttäjät, joilla on laajempi laitekanta ja kunnossapito-organisaatiot, ovat aktiivisesti ottaneet toimintansa kehittämiseksi kriittisten vikojen analyysin, missä hyödynnetään erilaisia juurisyymenetelmiä. Menetelmien tarkoituksena on selvittää mahdollinen vian perimmäinen aiheuttamisperuste ja hyödyntää tietoa uusien vikatapausten eliminoimiseksi. Tuotteen luotettavuus ja sen elinjakson kustannukset lyödään lukkoon suunnitteluvaiheessa ja muutokset ovat kalliita tuotannon jo ollessa aloitettu, vaikka kentän palautteet vikaantumistiedoista olisivat heti käytettävissä. Käyttäjän luottamus tuotteen edustamaan laatuun vahvistuu edelleen sen osoittaessa onnistunutta toimintaa kun riittävää kunnossapidon tukea on tarjolla. Taajuusmuuttajan valmistaja onnistuu kehittämään edellä esitettyjä tuotetukimuotoja hallitsemalla toimittamiensa laitteiden yksilöityjä tietoja sovelluksista, asennuspaikoista, ja toimintavarmuudesta.

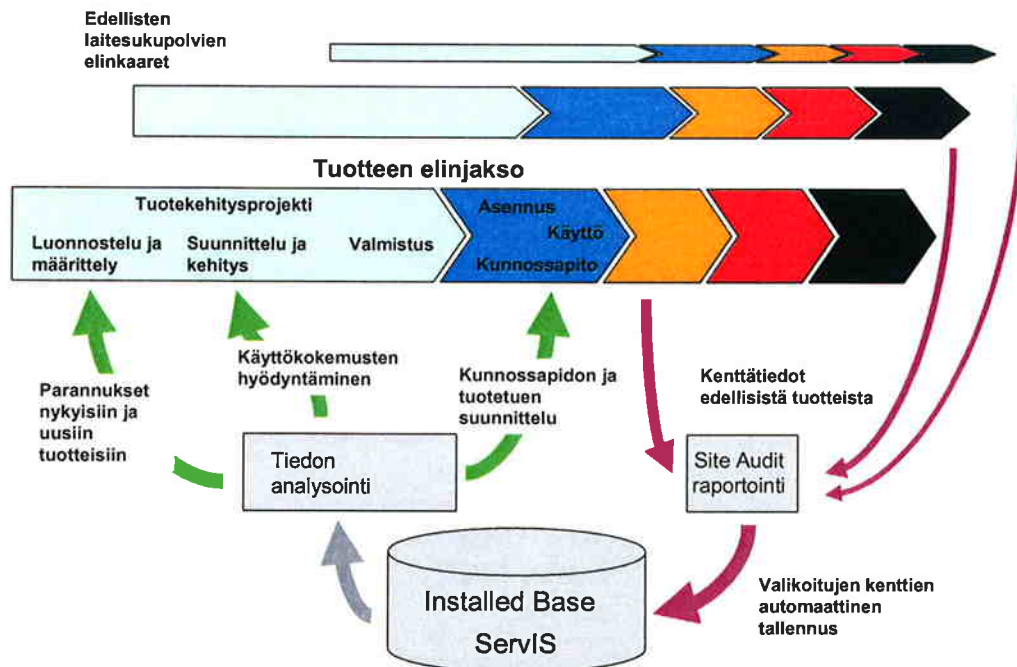
Työn perusteella nykyisiä toimintoja voidaan kehittää seuraavasti:

1. Arviointikohteiden mukaisesti on mahdollista luoda ja kehittää kentätiedon keräämisessä käytettävän ohjelmatyökalua. Luotettavuuden kannalta tärkeiksi valitut arviointikohteet ja arviointien luokitukset voidaan ohjeistaa työkaluun automaattitoimintona.
2. Kerättyjen tietojen sisältö määritellään, jolloin valmistaja ja liiketoimintojen kehitys voi kerätä laitetyypeittäin vertailukelpoista tietoa asennetusta laitekannasta. Samoin laitteen tekninen tuki voi saada kohteen laitetiedot luotettavammin, jolloin esimerkiksi takuupalvelun vastuut selkenevät.
3. Laiterekisteritietojen syöttäminen yhtenäistyy ja tiedot päivittyvät. Data voidaan siirtää manuaalisesti laitteittain tai ryhmänä sovitussa muodossa.
4. Kun laitteen kunnossapidolta edellytetään hyvin perusteltuja kunnossapitotoimenpide-



ehdotuksia tarkoituksenmukaisista RCM -tyyppisistä malleista, on systemaattisen kenttätiedon avulla mahdollista määrittää tilastollisesti käytettävyyden todennäköisyys suunnitellusta poikkeavissa olosuhteissa.

ABB:n ylläpitämiä laiterekistereiden, Installed Base ja ServIS, käyttöliittymiä voivat hyödyntää ABB:n eri yksiköt siten, että kannasta halutut tiedot olisivat käytettävissä seuraavan laitteen suunnittelussa, valmistuksessa, kunnossapitopalvelujen kehittämisessä ja markkinoinnissa (Kuva 5.1). Lisäksi vikakorjauksien yhteydessä syntyy tällä hetkellä eri järjestelmiin tietoa, mitä voitaisiin yhtenäistää yhteen järjestelmään ja minkä luokitus perustuisi edellä esitettyyn.



**Kuva 5.1** Laiterekisteritietokantojen hyödyntäminen taajuusmuuttajan luotettavuusjohtamisen työkaluina. Lähde mukailtu./13/

## 6. YHTEENVETO

Taajuusmuuttaja on yleistynyt ja kriittinen tuotantolaite useissa erilaisissa prosesseissa. Sen sisältämän elektroniikan toimintavarmuus on nykyisiin valmistusprosesseihin perustuen korkealla tasolla. Mahdollisten odottamattomien laitehäiriöiden syinä ovatkin usein puutteet laitteen käyttöympäristössä, väärä mitoitus prosessiin nähden sekä kunnossapidon laiminlyönti. Elektroniikkalaitteiden luotettavuus on parantunut niin valmistusteknologian kuin käyttökokemusten kautta. Teollisuuden investoinneilta edellytetään jatkuvuutta ja huolto on yhä tärkeämmässä asemassa taajuusmuuttajien elinkaaren hallinnassa niiden *Active – Obsolete* -vaiheiden aikana. Käyttökokemukset, oikeat tekniset määrittelyt ja testausmenetelmät varmistavat laitteen luotettavuusominaisuudet suunnitteluvaiheessa. Kenttätietojen merkitys kasvaa, kun halutaan kehittää nopealla syklillä yhä parempia laitteita. Käytännössä asennetusta laitekannasta on mahdollisuus saada tietoa vain murto-osa, mutta valmistajalle saatu kaikki informaatio on arvokasta laitteen kehittämisen kannalta. Palautetietona voi hyvinkin olla, että vikoja ei ole havaittu.

Tarkastelun perusteella ABB:llä voidaan kehittää taajuusmuuttajien luotettavuusjohtamista kehittämällä käyttötietojen keräysmetodeja ja saatujen tietojen hyödyntämistä.

- Kenttäkartoitusten arviointikohteiden yhtenäistäminen ja kehittäminen automaattitoiminnoiksi tarkastuksissa käytettyihin työkaluohjelmiin.
- Luotettavuuteen suoraan vaikuttavien kenttätietojen hyödyntäminen laiterekisterijärjestelmissä siten, että niiden arviointikohteiden määrä on hallittavissa ja lataaminen saadaan toteutettua automaattisesti.
- Tämä tarkastelu on tehty taajuusmuuttajalle, mutta samalla periaatteella voitaisiin käsitellä muita tuotteita ja luoda systematiikka kenttätiedon keräämisen ja tuotevastaavien yksiköiden välille.

Loppukäyttäjän kannalta tarkastelun perustella voidaan todeta, että taajuusmuuttajan luotettavuuden hallinta on suhteellisen yksinkertaista, kunhan varmistetaan vallitsevat käyttöolosuhteet ja ymmärretään myös laitteen elinkaaren hallintaan vaikuttavat kunnossapidolliset tekijät.

## LÄHTEET

- /1/ ABB, <http://www.abb.fi> (1.11.2009)
- /2/ ABB, <http://fi.inside.abb.com/cawp/>  
*Esitysmateriaalit: ABB\_yleistä\_kalvosarja\_2009\_intraan.ppt*
- /3/ ABB, *ABB Corporate Structure as of June 2009.*,  
sisäinen dokumentti, <http://abblibrary.abb.com/global> (1.9.2009)
- /4/ Matti Harmoinen, *SAMIn tarina*, 2002, ISBN 952915405-4, 254 sivua
- /5/ ABB, *Uutiset -sivusto*, <http://www.fi.inside.abb.com/> , (3.2.2010)
- /6/ ABB, *ACS600 tuoteluettelo 1999*
- /7/ ABB Oy, Ari Lässämäki, *Esitysmateriaali, Vantaa 16.5.2009*
- /8/ ABB, *Installed Base*, <http://fihel-s-te00025.fi.abb.com/> (15.3.2010)
- /9/ ABB, *ServIS*, <http://fi.inside.abb.com/servis> (1.4.2010)
- /10/ ABB, *ABB:n taajuusmuuttajan elinkaarenhallinta, Service Notes SP37 FI REVD 2008*, <http://www.abb.fi/library/> (1.4.2010)
- /11/ ABB, Jukka Palmunen, 2009,  
*ABB\_drive\_lifecycle\_management\_model\_May 27\_2009JP.ppt*
- /12/ ABB, Asko Kavala, 2009, *Päivitys Stora Enso linjakäyttöpäivien esitysmateriaaliin 15.10.2008 LTY;*  
*Taajuusmuuttajien elinkaarivaiheistus tilanne 1.5.2009.ppt*

- /13/ ABB, *Life Cycle Plan*, <http://nside.abb.com/abblibrary/> (1.9.2009)
- /14/ Urho Pulkkinen, TTK 2005, Luentomateriaali,  
*Mat-2.118 Luotettavuustekniikka (2,5 ov)*  
<https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/mat-2.3118/luennot> (7.12.2009)
- /15/ Guangbin Yang, 2007, *Life Cycle Reliability Engineering*,  
ISBN 978-0-471-71529-0, 517 sivua
- /16/ Alessandro Birolini, 1999, *Reliability Engineering, Theory and Practice, 3rd ed.*, ISBN 3-540-66385-1
- /17/ Tero Välisalo, Veikko Rouhiainen, VTT 2000,  
*Luotettavuusjohtaminen työkoneteollisuudessa*, ISBN 951-38-5761-1,  
58 sivua ( URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/> 1.11.2009)
- /18/ SFS-EN 60300-1, *Luotettavuuden hallinta. Osa 1*
- /19/ Lasse Koskelainen, Maintenance Academy, LTY, Luento 4.2.2005  
*Luotettavuuskeskeinen kunnossapito RCM;*
- /20/ Ronald T. Anderson and Lewis Neri, 1990, *Reliability-Centered Maintenance, Management and Engineering Methods*,  
ISBN 1-85166-470-X, 346 sivua
- /21/ Patrick D. T. O'Connor, 1985, *Practical Reliability Engineering*,  
ISBN 0-471-90551-8, 398 sivua
- /22/ Jaakko Tötterström, Mikko Mäenpää, Hannu Villanen, TTK 2001,  
*Teollinen koesuunnittelu ja FMEA*, URL:  
[https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/.../teollinen\\_koesuunnittelu.pdf](https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/.../teollinen_koesuunnittelu.pdf)  
(9.10.2009)

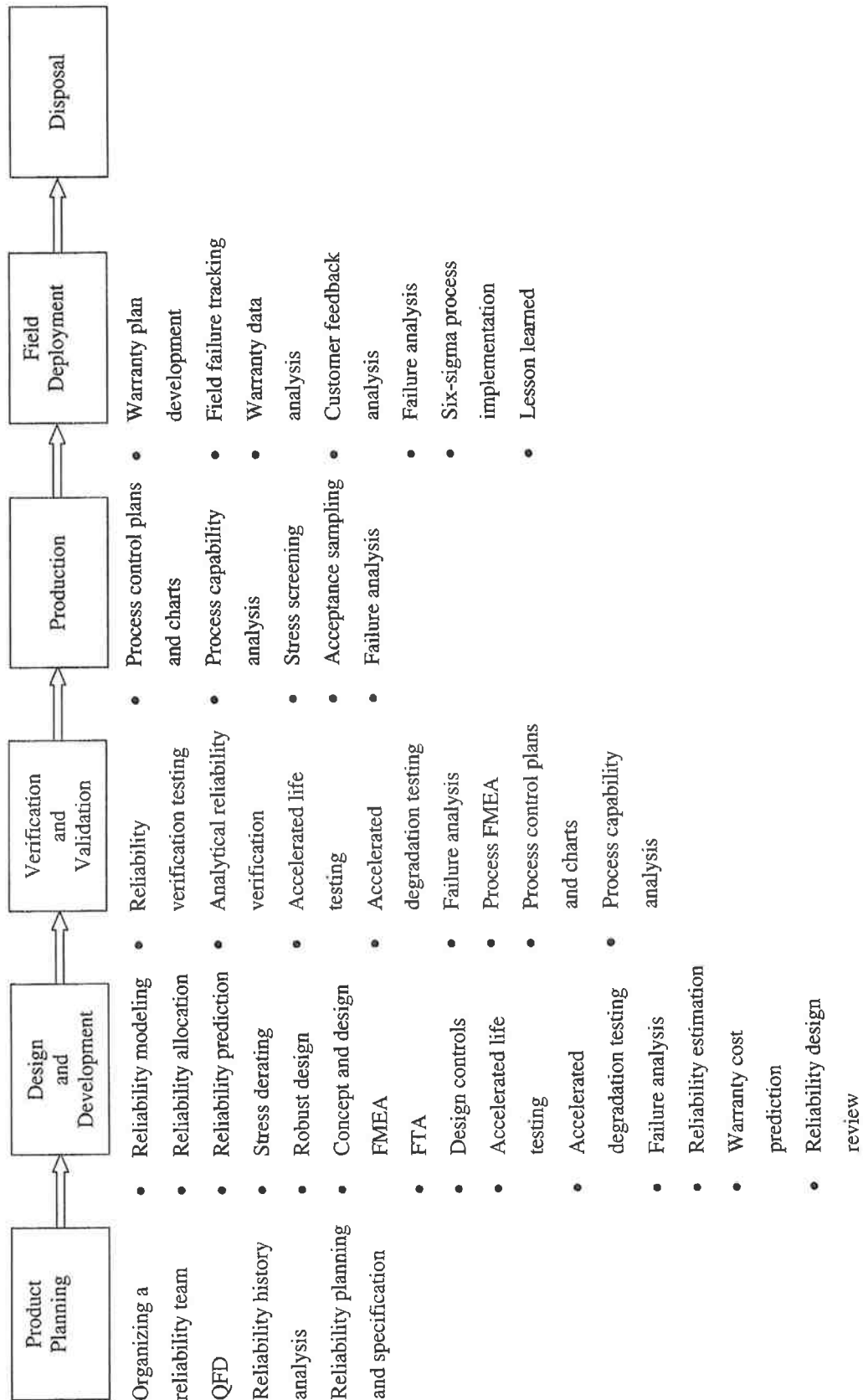
- /23/ W.E. Vesely, F.F. Goldberg, N.H. Roberts, D.F Haasl, 1981,  
*Fault Tree Handbook*, NUREG-0492, Systems and Reliability  
Research Office of Nuclear Regulatory Commission Washington, D.C.  
2055 ISBN10 0160055822  
(URL: <http://nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/staff/sr0492/sr0942.pdf> 25.3.2010)
- /24/ ABB, Asko Kavala, 2003,  
*Asiakasraportti; Vikapuu\_Metso\_VAK\_ASEAHFD.xls*  
Ei saatavuutta
- /25/ Janne Sarsama, 1997, *Luotettavuustekniikan ternejä standardiin SFS-IEC 50(191) pohjautuen: raportti VALB 222*, 28 sivua
- /26/ ABB, *ABB 9ADB000391-006ABB, Gate Model for Technology, Product and System Development 2.0*, Ei saatavuutta
- /27/ ABB Review 2/2009 ISSN: 1013-3119  
<http://www.abb.com/abbreview> ( 2.3.2010 )
- /28/ Alain Villemeur, 1991, *Reliability , Availability, Maintainability and Safety Assessment, Vol 2, Assessment, Hardware, Software and Human Factors*, ISBN 0 471 93049 0
- /29/ Risto Hienonen, Reima Lahtinen, VTT 2000, *Korroosio ja ilmastolliset vaikutukset elektroniikassa*, ISBN 951-38-5019-6
- /30/ Suomen Korroosioyhdistys, 1988, *Korroosiokäsikirja*, ISBN 951-99916-7-0, 966 sivua
- /31/ Ilmantutkimuslaitos, <http://ww.ilmanlaatu.fi> (1.2.2010)

- /32/ Purafil, *OnGuard tuotekuvaus*,  
<http://purafilonguard.com/production/> (31.3.2010)
- /33/ ABB Oy Service, Mikko Sandberg, 2003  
*Kriittisyysluokitus*, Ei saatavuutta

## **LIITTEET**

- LIITE 1 Luotettavuusjohtamisprosessi
- LIITE 2 ABB Site audit esimerkkitaulukko
- LIITE 3 ACS600 huoltovälitaulukko
- LIITE 4 ABB Service Notes
- LIITE 5 Kondensaattorin ikääntyminen
- LIITE 6 ACS 600 Tekniset tiedot 2000
- LIITE 7 IP luokitus
- LIITE 8 ACV700 taajuusmuuttajan vikaloki

LUOTETTAVUUSJOHTAMISPROSESSI JA KÄYTETTÄVÄT MENETELMÄT TUOTTEEN ELINKAAREN ERI VAIHEISSA  
 Lähde: Guangbin Yang, *Life Cycle Reliability Engineering*, 2007







HUOLTOSUUNNITELMA



ASIAKAS: LEMMA  
 TILAUS: PAK-2711-2009  
 KÄYTTÖ: PAK-2711-2009

JÄRJESTELMÄSUUNNITTEET

LAITEIDEN TIEDOT

LAITEIDEN TIEDOT

Rn	SUUNNITTELA	LAITEIDEN TIEDOT	LAITEIDEN TIEDOT	LAITEIDEN TIEDOT	LAITEIDEN TIEDOT	LAITEIDEN TIEDOT	HUOLTOVUOSI											
							2009	2010	2011	2012	2013	2014						
1	42-AT21	42-60202E	0	PAALLYSTETYN HYLYN TORNIIN KIERRAKAS	AC	INS03046270SSVA/A3005400	?	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
2	42-AT1	42-60201F	0	PAALLYSTAMÄT HYL TORNI 42-1822 MAS	AC	ACS800-01-0167	2007	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
3	42-AT1	42-60201A	0	PAALLYSTAMÄT HYL TORNI 42-1822 MAS	AC	ACS800-01-0167	2007	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
4	42-AT1	42-60201B	0	PAALLYSTAMÄT HYL TORNI 42-1822 MAS	AC	ACS800-01-0167	2007	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
5	42-AT1	42-1013	42-60211A	PIK4 SELLÄKULJETIN	AC	ACS8010030000200900	1997	C	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
6	42-AT1	42-4011	42-60211B	PIK4 JÄÄHDYTYSVESITORNI 1 PUHALLIN	AC	ACS80100730000200900	1997	C	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
7	42-AT1	42-4012	42-60211C	PIK4 JÄÄHDYTYSVESITORNI 2 PUHALLIN	AC	ACS80100730000200900	1997	C	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
8	42-AT1	42-60211D	42-60211D	PAALLYSTAMÄTOMAN HYL TORNIIN 1	AC	ACS8010060000200900	1997	C	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
9	42-AT1	42-60211E	42-60211E	PAALLYSTAMÄTOMAN HYL TORNIIN 2	AC	ACS8010060000200900	1997	C	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
10	42-AT1	42-4015	42-60211F	PIK4 JÄÄHDYTYSVESITORNI 3 PUHALLIN	AC	ACS80100730000200900	1997	C	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
11	42-AT1	42-60211G	42-60211G	PAALLYSTAMÄT HYL TORNIIN KIERRAKAS	AC	INS03046270SSVA/A3005400	?	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
12	42-AT1	42-60211H	42-60211H	PAALLYSTAMÄT HYL TORNIIN KIERRAKAS	AC	ACS800-07-01407	2004	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
13	42-AT1	42-60204B	0	HOKAISEN BULSTERPUMPPU	AC	ACS800-07-01407	2004	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
14	42-AT1	42-60202A	0	TYHÖPUMPUKAYON TYHÖNYMPY	AC	ACS800-07-01407	2004	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
15	42-AT1	42-60202B	0	TURBOPUHALLIN 1	AC	INS03046270SSVA/A3005400	2008	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
16	42-AT1	42-60202C	0	TURBOPUHALLIN 6	AC	INS03046270SSVA/A3005400	2008	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
17	42-AT2	42-60401	42-60401	OPTISEN KIRKASTEEN ANNOSTELUPUMPU	AC	ACS143-145-3	2004	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
18	42-AT2	42-60402	42-60402	PK-KIEKOSUOJIN 1 PÄÄKOTTORI	AC	ACS8010040000200900	1997	C	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
19	42-AT2	42-60403	42-60403	PK-KIEKOSUOJIN 2 PÄÄKOTTORI	AC	ACS8010040000200900	1997	C	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
20	42-AT2	42-60404	42-60404	KIERTOVOITELU MARKKAPAA PAAPUMPPU	AC	ACS8010040000200900	1997	C	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
21	42-AT2	42-60405	42-60405	KIERTOVOITELU MARKKAPAA PAAPUMPPU	AC	ACS8010040000200900	1997	C	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
22	42-AT2	42-60406	42-60406	SELLÄUJHIN 1 KUORMITUSLÄTE	AC	ACS8010060000200900	1997	C	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
23	42-AT2	42-60407	42-60407	SELLÄUJHIN 2 KUORMITUSLÄTE	AC	ACS8010060000200900	1997	C	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
24	42-AT2	42-60408	42-60408	SELLÄUJHIN 3 KUORMITUSLÄTE	AC	ACS8010060000200900	1997	C	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
25	42-AT2	42-60409	42-60409	MASSATARKKELYS LIETERPUMPPU	AC	ACS8010060000200900	1997	C	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
26	42-AT2	42-60410	42-60410	REITERIDANIE 1 ANNOSTELUPUMPPU 1	AC	ACS8010060000200900	1997	C	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
27	42-AT2	42-60411	42-60411	REITERIDANIE 1 ANNOSTELUPUMPPU 2	AC	ACS8010060000200900	1997	C	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
28	42-AT2	42-60412	42-60412	KINNITTÄMISEN ANNOSTELUPUMPPU	AC	ACS8010060000200900	1997	C	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
29	42-AT2	42-60413	42-60413	REITERIDANIE 2 ANNOSTELUPUMPPU	AC	ACS8010060000200900	1997	C	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
30	42-AT2	42-60414	42-60414	KINNITTÄMISEN ANNOSTELUPUMPPU 1	AC	ACS8010060000200900	1997	C	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
31	42-AT2	42-60415	42-60415	KINNITTÄMISEN ANNOSTELUPUMPPU 2	AC	ACS8010060000200900	1997	C	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
32	42-AT2	42-60416	42-60416	KINNITTÄMISEN ANNOSTELUPUMPPU 1	AC	ACS8010060000200900	1997	C	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
33	42-AT2	42-60417	42-60417	KINNITTÄMISEN ANNOSTELUPUMPPU 2	AC	ACS8010060000200900	1997	C	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
34	42-AT2	42-60418	42-60418	REITERIDANIE 1 ANNOSTELUPUMPPU 1	AC	ACS8010060000200900	1997	C	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
35	42-AT2	42-60419	42-60419	REITERIDANIE 1 ANNOSTELUPUMPPU 2	AC	ACS8010060000200900	1997	C	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
36	42-AT2	42-60420	42-60420	REITERIDANIE 2 ANNOSTELUPUMPPU 1	AC	ACS8010060000200900	1997	C	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
37	42-AT2	42-60421	42-60421	REITERIDANIE 2 ANNOSTELUPUMPPU 2	AC	ACS8010060000200900	1997	C	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
38	42-AT2	42-60422	42-60422	REITERIDANIE 3 ANNOSTELUPUMPPU 1	AC	ACS8010060000200900	1997	C	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
39	42-AT2	42-60423	42-60423	REITERIDANIE 3 ANNOSTELUPUMPPU 2	AC	ACS8010060000200900	1997	C	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
40	42-AT2	42-60424	42-60424	REITERIDANIE 4 ANNOSTELUPUMPPU 1	AC	ACS8010060000200900	1997	C	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
41	42-AT2	42-60425	42-60425	REITERIDANIE 4 ANNOSTELUPUMPPU 2	AC	ACS8010060000200900	1997	C	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
42	42-AT2	42-60426	42-60426	REITERIDANIE 5 ANNOSTELUPUMPPU 1	AC	ACS8010060000200900	1997	C	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
43	42-AT2	42-60427	42-60427	REITERIDANIE 5 ANNOSTELUPUMPPU 2	AC	ACS8010060000200900	1997	C	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
44	42-AT2	42-60428	42-60428	REITERIDANIE 6 ANNOSTELUPUMPPU 1	AC	ACS8010060000200900	1997	C	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
45	42-AT2	42-60429	42-60429	REITERIDANIE 6 ANNOSTELUPUMPPU 2	AC	ACS8010060000200900	1997	C	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
46	42-AT2	42-60430	42-60430	REITERIDANIE 7 ANNOSTELUPUMPPU 1	AC	ACS8010060000200900	1997	C	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
47	42-AT2	42-60431	42-60431	REITERIDANIE 7 ANNOSTELUPUMPPU 2	AC	ACS8010060000200900	1997	C	L	L	L	L	L	L	L	L	L	

T = tehty  
 S = suunniteltu

<b>ABB</b>	<b>Maintenance Schedule</b>	DOCMSACS600-1		
Issued by	Date	Language	Revision	Page
ABB Oy, Product Support	2006-10-19	en	H	1 (1)
Creator name	Ari Niskanen	Distribution	Public	

**ACS600 Drives**

<b>Legend:</b>	
Replacement of component	R
Inspection (visual inspection, correction and replacement if needed)	I
Performance of on-site work (commissioning, tests, measurements, etc.)	P
Replacement if high ambient temperature or cyclic heavy duty	(R)

	Years from start-up																					
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
<b>Start-up</b>	P																					
<b>Cooling</b>																						
➤ <b>Air Cooled Unit:</b>																						
➤ Cooling fan (MD and SD R8, R9, IP54)		I	I	R	I	I	R	I	I	R	I	I	R	I	I	R	I	I	R	I	I	R
➤ Cooling fan (SD R2-R7)		I	I	I	I	I	R	I	I	I	I	I	R	I	I	I	I	I	R	I	I	I
➤ DSU, TSU cooling fan (B1-B5)		I	I	R	I	I	R	I	I	R	I	I	R	I	I	R	I	I	R	I	I	R
➤ DC reactor cooling fan (B4-B5)		I	I	R	I	I	R	I	I	R	I	I	R	I	I	R	I	I	R	I	I	R
➤ <b>Water Cooled Unit:</b>																						
➤ Cooling Fans		I	I	R	I	I	R	I	I	R	I	I	R	I	I	R	I	I	R	I	I	R
➤ Add coolant inhibitor		I	P	I	P	I	P	I	P	I	P	I	P	I	P	I	P	I	P	I	P	I
➤ Heat Exchanger		I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
➤ Cooling water pump		I	I	I	I	I	R	I	I	I	I	I	R	I	I	I	I	I	R	I	I	I
➤ Cooling water pipe connections		I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
<b>Aging</b>																						
➤ Electrolytic capacitors (DC circuit)										(R)			R						(R)			
➤ Electrolytic capacitors (NGDR)							(R)			R			(R)						R			
➤ DSU, TSU RC resistors, capacitors							I						I						I			
<b>Connections &amp; Surroundings</b>																						
➤ Flat cables (NINT, NXPP)							(R)			R			(R)						R			
➤ Tightness of terminals				I			I			I			I			I			I			I
➤ Door filters		I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
➤ Condition of contactors				I			I			I			I			I			I			I
➤ Fiber optic cables (connections)				I			I			I			I			I			I			I
➤ Dustiness, corrosion and temperature		I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
➤ Quality of supply voltage		I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
<b>Improvements</b>																						
➤ Based on product notes		I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
<b>Measurements</b>																						
➤ Basic measurements with supply voltage		P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
<b>Spare Parts</b>																						
➤ Spare Parts		I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
➤ DC circuit capacitor reforming		P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P

**Note!** Recommended service intervals and component replacements are based on the operational environment specified by ABB. ABB recommends an annual drive inspection to be carried out in order to secure best reliability and optimum performance. Please refer to service instructions and product manuals for more information or go to [www.abb.com/driveservices](http://www.abb.com/driveservices).

A		<b>Maintenance Note</b>			
Product Service					
Department:	Date:	Author:	Checked / Approved:	Revision:	Date:

### 3 Years Preventive Maintenance

#### FUNCTIONAL DESCRIPTION:

The AC drive is equipped with the cooling fan. Cooling air enters the drive through the air inlets in the door. The direction of the airflow is upwards. The dissipation power of the switchboard is about 2% of the rated power of the switchboard.

#### REASONS OF THE CHANGE:

The manufacturers estimation for the operational time of the cooling fan (CN52B5) is shown in the diagram below. The time is about 42000 hours @ 40 degrees Celsius. The major problem is caused by the failure of the bearings.

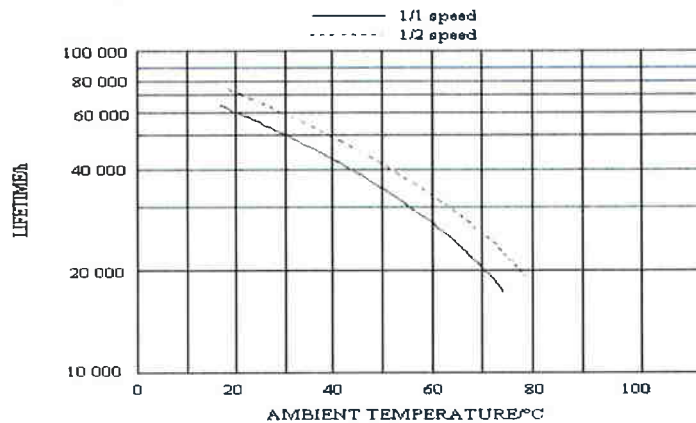


Figure 1: : Typical lifetime of the cooling fan versus ambient temperature

#### THE RESULTING EFFECT:

Ageing of the electronic cards, the components and the connections results in:

1. Increased vibration due to the imbalance of the cooling fan (can last for several months)
2. Increased temperature due to the stopped cooling fan.

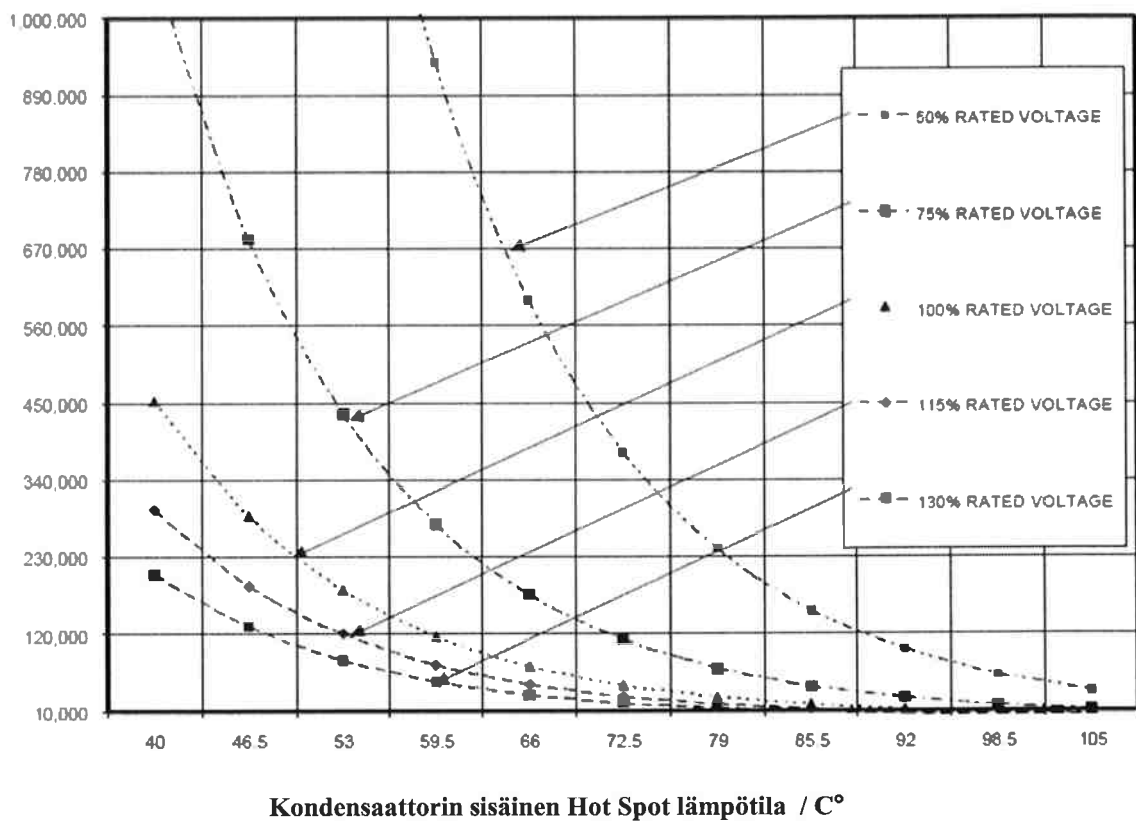
#### WHERE USED:



## KONDENSAATTORIN OLETETTU ELINJAKSO LÄMPÖTILAN FUNKTIONA ERI KÄYTTÖJÄNNITETASOILLA

Tyypillisesti taajuusmuuttajissa käytettyjen kondensaattoreiden odotettavissa oleva elinkaari on verrannollinen kondensaattoriin vaikuttavaan jännitteeseen sekä toimintalämpötilaan (Kuva). Lämpötila-akseli kuvaa kondensaattorin sisäistä lämpötilaa ns. Hot Spot -pisteessä, minkä arvo riippuu kuormituksesta, kondensaattorin sisäisen vastuksen aiheuttaman lämpöhäviön seurauksena, sekä ulkoisesta käyttölämpötilasta.

Elinikä / h



**Kuva.** Erään kondensaattorityypin tyypillinen odotettu käyttöikä. Lähde *Electronic Concepts Inc.*

## ACS 600 Erilliskäytön tekniset tiedot

IGBT- ja DTC-tekniikoita käyttävien tehokkaiden käyttöjen suojana on useisiin erilaisiin teollisuusympäristöihin soveltuva tukeva kaappi.

### Verkkoliitäntä

3-vaihesyöttö:	$U_{dN} = 208...240 \text{ V} \pm 10 \%$ $U_{eN} = 380...415 \text{ V} \pm 10 \%$ $U_{fN} = 380...500 \text{ V} \pm 10 \%$ $U_{dN} = 525...690 \text{ V} \pm 10 \%$
Taajuus:	48...63 Hz
Oikosulkuvirta:	50 kA 1 s
Tehokerroin:	$\cos\phi_1 = 0,97$ (perusaallo) $\cos\phi = 0,93...0,95$ (kokonais)

### Hyötysuhde

Nimellisteholla:	>98 %
------------------	-------

### Moottoriliitäntä

3-vaihelähtö:	$0...U_{dN} / \sqrt{3}$
Taajuusalue:	$0... \pm 300 \text{ Hz}$ $0... \pm 120 \text{ Hz du dt-suotimilla}$
Kentänheikkennyspiste:	8...300 Hz
Säätömenetelmä:	ABB:n suora momentinsäätö (DTC)
Momentin säätö:	<u>Momentin nousuaika:</u> Ilman takaisinkytkentää <5 ms nimellismomentilla Takaisinkytkennällä <5 ms nimellismomentilla <u>Epälineaarisuus:</u> Ilman takaisinkytkentää $\pm 4 \%$ nimellismomentilla Takaisinkytkennällä $\pm 1 \%$ nimellismomentilla
Nopeuden säätö:	<u>Staatinen tarkkuus:</u> Ilman takaisinkytkentää 10 % moottorin jättämästä Takaisinkytkennällä 0,01 % nimellinopeudesta <u>Dynaaminen tarkkuus:</u> Ilman takaisinkytkentää 0,3...0,4 %s. 100 % momentilla Takaisinkytkennällä 0,1...0,2 %s. 100 % momentilla

Käyttölämpötilian vaikutus ACS 600 Erilliskäytön jatkuvaan kuormitettavuuteen. Kuormitettavuus pienenee, jos korkeus on > 1000 metriä merenpinnan yläpuolella. Tämä on tyypillinen ACS 600 Erilliskäytön kuormitettavuuskorjauskäyrä. Joidenkin runkojen kuormitettavuuden pieneminen voi olla esitettyä vähäisempi.

### Kotelointi

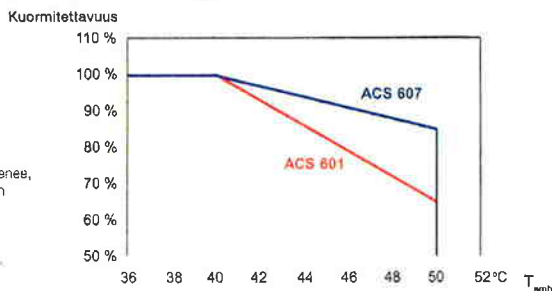
Suojaluokka:	IP 21 (ACS 607:lle vakio) IP 22 (ACS 601:lle vakio, ACS 607:lle optio) IP 42 (optio) IP 54 (optio, ACS 601:lle kuormitettavuuden korjaus) IP 54R (R = laippa ilmapölylle, optiona vain runkokoolle R11i tai sitä suuremmille)
Väri:	ACS 601 604 Vaalea beige NCS 1502-Y (RAL 90021) PMS 420C), musta ES 900 (ACS 601 runkokoot R2...R6)  ACS 607 Vaalea beige RAL 7035 puolikiiltävä

### Ympäristöolosuhteet

Ympäristön lämpötila:	Kuljetus: -40...+70 °C Varastointi: -40...+70 °C Laitte kiinnitettynä: 0...+40 °C (+50 °C kuormitettavuus pienenee, katso alla oleva kuva)
Suhteellinen kosteus:	5...95 %, kondensoituminen ei sallittu
Jäähdytystapa:	Kuiva, puhdas ilma
Korkeus:	0...1000 m merenpinnasta. Normaali kuormitettavuus. 1000...4000 m merenpinnasta. Kuormitettavuuden korjaus, katso kaava.

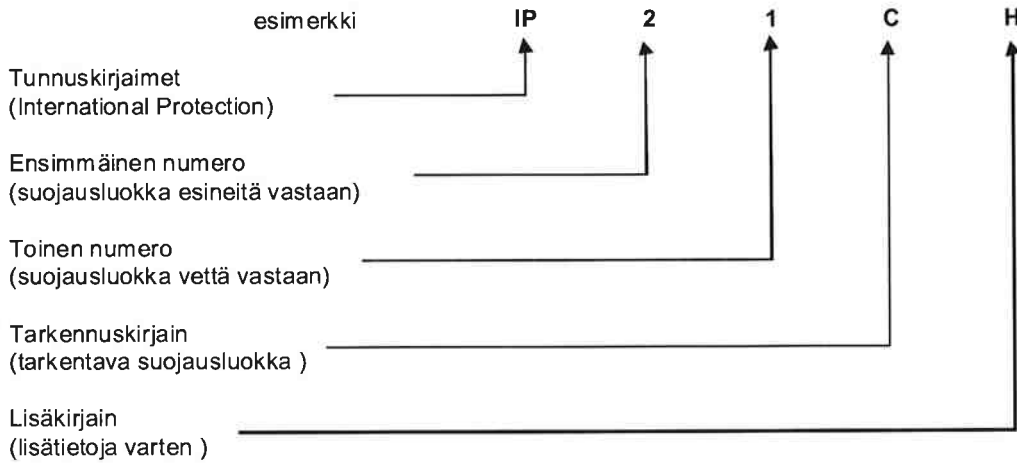
$$I_{x,y,z} = I_{N,r,c} \cdot \left( 100 \cdot \frac{h}{1000} - 1 \right) \cdot \frac{(h-1000)}{1000} + x \cdot (+40 \text{ °C} - T_{amb})$$

x = 1,5 % / °C ACS 607  
x = 3,5 % / °C ACS 601  
h = korkeus merenpinnasta, jos > 1000 m  
 $I_{N,r,c}$  = ACS 600:n nimellisvirta 40 °C:ssa  
 $T_{amb}$  = suurin käyttölämpötila.  
HUOMAA:  $I_{x,y,z} \leq I_{N,r,c}$



## Kotelon suojausluokitus IP-koodi

Standardi IEC 60529 , Degrees of protection provided by enclosures



Ensimm. numero	Suojaustason kuvaus	Testimäärittely
0	Ei suojausta	..
1	Suojattu yli Ø 50 mm esineitä vastaan	Testisondi Ø 50 mm ei saa kokonaan mennä sisälle
2	Suojattu ? Ø 50 mm esineiden kosketukselta	Testisondi Ø 12,5 mm ei saa kokonaan mennä sisälle
3	Suojattu ? Ø 2,5 mm esineiden kosketukselta	Testisondi Ø 2,5 mm ei saa kokonaan mennä sisälle
4	Suojattu ? Ø 1,0 mm esineiden kosketukselta	Testisondi Ø 1,0 mm ei saa kokonaan mennä sisälle
5	Pölysuojattu	Pölyn pääsyä ei ole täysin estetty, sisälle pääsevä pöly ei saa häiritä laitteen toimintaa
6	Pölytiivis	Pöly ei saa tunkeutua sisälle

Toinen numero	Suojaustason kuvaus	Testimäärittely
0	Ei suojausta	..
1	Suojattu pystysuoraan tippuvalta vedeltä	Pystysuoraan tippuvat pisarat eivät saa haitata laitteen toimintaa
2	Suojattu pystysuoraan tippuvalta vedeltä, kun kotelo on kallistettu 15°	Pystysuoraan tippuvat pisarat eivät saa haitata laitteen toimintaa, kun laitetta kallistetaan 15° mihin tahansa suuntaan pystyasennosta
3	Suojattu vesisuihkulta	Sivuille suihkutettu vesi aina 60° kulmaan ylöspäin ei saa haitata laitteen toimintaa
4	Suojattu roiskevedeltä	Mistä tahansa suunnasta roiskutettu vesi ei saa haitata laitteen toimintaa
5	Suojattu vesisuihkulta	Mistä tahansa suunnasta suihkutettu vesi ei saa haitata laitteen toimintaa
6	Suojattu voimakkaalta vesisuihkulta	Mistä tahansa suunnasta voimakkaasti suihkutettu vesi ei saa haitata laitteen toimintaa
7	Suojattu tilapäistä veteenupotusta vastaan	Vettä ei saa tunkeutua haitallisessa määrin sisään, kun testi tehdään standardin mukaisessa paineessa määrätyn ajan
6	Suojattu jatkuvaa veteenupotusta vastaan	Vettä ei saa tunkeutua haitallisessa määrin sisään, kun laite on jatkuvasti vedessä ostajan ja myyjän sopimassa paineessa määrätyn ajan

3AFY 61067531

## 1.1.1. Fault signals

Code	Definition [Fault text]	Mode of Action	Reset Method
0	No faults or alarms		
99	Reset, resets all resettable faults		
1	Auxiliary voltage fault [Auxil. undervoltage]	Trips	To be reset
2	Overcurrent [Overcurrent]	Trips	To be reset
3	DC intermediate circuit overvoltage [DC overvoltage]	Trips	To be reset
4	Measured overtemperature of converter [Converter overtemp.]	Trips	Self reset/ to be reset
5	Actual earth fault [Earth fault] (see parameter ACTUAL_EF_DETECT(1116))	Trips	To be reset
6	Measured overtemperature of motor [Motor overtemp.] (See param. 1605, MOT_TEMP_M1_TRIP_LIM and 1610, MOT_TEMP_M2_TRIP_LIM)	Trips	Self reset/ to be reset
7	Calculated overtemperature of motor [Motor overload] (See parameter 1506, CALC_MOT_TEMP_TRIP_LIM)	Trips	To be reset
8	A fault that is caused by hardware malfunction [Control Unit fault]	Trips	Can't be reset
9	Undervoltage of chopper [Chopper undervoltage]	Trips	To be reset
10	Overvoltage of chopper [Chopper overvoltage]	Trips	To be reset
11	DC intermediate circuit undervoltage [DC undervoltage]	Trips	Self reset
12	Output short circuit/earth fault in start-up [Earthflt in start up]	Trips	To be reset
13	Semiconductor fault in inverter unit [Powerstage fault]	Trips	To be reset
14	Speed measurement fault [Speed meas. fault] (if parameter 1803, TACHODELAY is active)	Trips	To be reset
15	Current measurement fault [Current meas. fault]	Trips	To be reset
16	Calibration of Uc measurement [UC measurement fault]	Trips	Can't be reset/ self reset

## Fault signals continued...

Code	Definition [Fault text]	Mode of Action	Reset Method
17	Matching board fault [Matching board fault]	Trips	Can't be reset
18	Write or read error in EEPROM [EEPROM fault]	Trips	To be reset
19	Analog input overlimit fault [Analog input fault] (See param. 16 05, MOT_TEMP_M1_TRIP_LIM and 16 10, MOT_TEMP_M2_TRIP_LIM if other than motor temperature measurement is selected)	Trips	Self reset/ to be reset
20	APC-Link communication error [APC-Link comm. error] (See param. 19 01, APC_COM_TIMEOUT and 19 02, APC_COM_BREAKRESP)	Param. depend. ( No action if local control )	Self reset
21	APC watch-dog error (See param. 19 03, APC_WDOGTIMEOUT and param. 19 04, APC_WDOGBREAKRESP)	Param. depend. (No action if local control)	To be reset
22	A) Motor parameters are not set B) Identification procedure fault [Motor param. fault] (See parameter 11 04, DRIVEMODE and signal 101 06, COMMIS_STAT, for further fault detection)	A) Prevents start up B) Trips	A) Param. to be set B) Param. 11 04 to be set 0
23	Motor is stalled [Motor stalled] (See parameter 1114, STALL_PROT_SEL)	Trips	To be reset
24	Tripping of thermal model supervision for INU ( IGBT clamp resistors or GTO chokes) [INU therm.curr.fault]	Trips	Self reset
25	Commutation fault [Commutation fault] ( with GTO INUs only)	Trips	To be reset
26	Thermal supervision of GTO INUs based on calculation <  5Hz  of sliding mean of instantaneous total actual current [Powerstage overcurr.]	Trips	To be reset
45	Fan stalled fault (See param. 1808, GTO_FAN_TIME)	Trips	To be reset



## 1.1.2. Alarm/Status Signals

Code	Definition [Alarm/Status text]	Mode of Action	Reset Method
101	Inhibition of false start switch has been switched [Start inhibition]	Prevents start up	Resets when released
102	Emergency stop button has been pushed [Emergency stop]	Prevents start up	Resets when released
103	Alarm of Motor temperature measurement [Motor temp. alarm] (See param. 1604, MOT_TEMP_M1_ALARM_LIM and 1609, MOT_TEMP_M2_ALARM_LIM)	Alarm indicator	Self reset
104	Indication for calculated motor temperature alarm [Motor overload alarm] (See parameter 1505, CALC_MOT_TEMP_ALARM_LIM)	Alarm indicator	Self reset
105	Alarm of inverter unit temperature measurement [INU overtemp. alarm]	Alarm indicator	Self reset
106	TC unit address not in limits [TC address alarm]	Alarm indicator	Address to be set in limits
107	Indication for magnetizing current table not being filled if vector control was selected [ImTable alarm] (if parameter 11 02, CTRLMODE = 4)	Alarm indicator	Self reset
108	Backup failure of RAM memory [RAM-backup failed]	Alarm indicator	Self reset
109	Alarm for analog input limit [Analog input alarm] (See param. 16 04, MOT_TEMP_M1_ALARM_LIM and 16 09, MOT_TEMP_M2_ALARM_LIM if other than motor temperature measurement is selected)	Alarm indicator	Self reset
110	System restart, indication for fault logger remark [System restart]	Status indicator	
111	Motor temperature measurement selected but input connector not connected or supply current out of range/selected incorrect or current source not in use [Curr.gen.meas. alarm] (if parameter 16 01, AN_INP1_SEL = {1...4} or 16 06, AN_INP2_SEL = {1...4})	Alarm indicator	Self reset
112	Master/Follower index is incorrect [Mas.Foll.index alarm]	Alarm indicator	Self reset
113	Alarm of thermal model supervision for INU (IGBT clamp resistors or GTO chokes) [INU therm.curr.alarm]	Alarm indicator	Self reset
114	APC connection OK [APC connection OK]	Status indicator	
115	Actual earth fault alarm [Act earthflt alarm] (see parameter ACTUAL_EF_DETECT(1116))	Alarm indicator	Self reset
116	Uc not in limits during stand by (Uc limit in stand by)	Prevents start up	Self reset
131	Fan stalled alarm (See param. 18 08, GTO_FAN_TIME)	Alarm indicator	Self reset