

Andrei Luukka

# Kestotestausprosessin kehittäminen taajuusmuuttajien massatuotannon laadunvarmistuksessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Insinööri (AMK)  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Insinöörityö  
6.4.2011



## **Alkulause**

Tämä insinöörityö on tehty ABB Oy:n Drives-yksikköön. Työn ohjaajana toimi ABB Oy:stä dipl.ins Harri Mustonen ja työn valvojana lehtori Krister Wikström Metropolia Ammattikorkeakoulusta. Kiitän molempia heidän antamastaan tuesta ja arvokkaista neuvoista.

Kiitos myös muille projektissa mukana olleille henkilöille sekä ABB Oy:stä dipl.ins Janne Davidsaiselle, joka antoi mielenkiintoisen aiheen insinöörityölleni.

Helsingissä 6.4.2011

Andrei Luukka

Tekijä(t) Otsikko	Andrei Luukka Kestotestausprosessin kehittäminen taajuusmuuttajien massatuotannon laadunvarmistuksessa
Sivumäärä Aika	46 sivua + 4 liitettä 6.4.2011
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaaja(t)	tuoteins., dipl.ins. Harri Mustonen lehtori, dipl.ins Krister Wikström
<p>Tämä insinöörityö on tehty ABB Oy:n Drives-yksikköön. Tässä insinöörityössä on esitetty kestotestausprosessi, jota voidaan hyödyntää taajuusmuuttajien massatuotannon laadunvarmistuksessa, jonka tavoitteena on vähentää asiakkaiden käytössä olevien laitteiden vikatapauksia kenttäolosuhteissa.</p> <p>Työn alussa on käsitelty taajuusmuuttajan toimintaperiaatetta sekä yleisintä kiihdytetyissä testeissä käytettävää matemaattista menetelmää eli Arrheniuksen lakia. Seuraavaksi on käsitelty laitteiden eliniän tilastollisia tarkastelutapoja sekä Weibull-jakauman mallia, joka on elektroniikassa yleisimmin käytetty eliniän jakauman malli. Tämän jälkeen on käsitelty kiihdytetyissä testeissä sekä tuotteen laaduntarkkailussa käytettäviä HALT- ja HASS -menetelmiä.</p> <p>Työn lopussa on kuvattu ABB:n kestotestauslaboratorion rakennetta sekä laadittu laitteiden näytemäärien ja testiaikojen perusteella laadunvarmistuksessa käytettävä kestotestausprosessi. Tämän työn aikana tehdyn kestotestausprosessiin perustuvan laaduntarkkailutestin tuloksia on käsitelty myös työn lopussa. Lopuksi on laadittu käytännön ohjeistus laboratoriotyöskentelyyn, jota voidaan hyödyntää myöhemmissä laaduntarkkailutesteissä.</p>	
Avainsanat	HALT, HASS, Kiihdytetty testaus

Abstract Author(s) Title	Andrei Luukka Highly Accelerated Stress Audit for Variable Frequency Drives
Number of Pages Date	46 pages + 4 appendices 6 April 2011
Degree	Bachelor in engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructor(s)	M.Sc Harri Mustonen, Product Engineer M.Sc Krister Wikström, Lecturer
<p>This Bachelor's thesis was carried out for ABB Oy Drives. The aim of the thesis was to create a Highly Accelerated Stress Audit procedure which is used in accelerated tests of variable frequency drives. The aim of these Accelerated Stress Audit tests is to ensure customer satisfaction.</p> <p>First the main function of the variable frequency drive is briefly introduced. Next the most common mathematical and statistical methods in accelerated tests, the Arrhenius equation and the Weibull distribution, are introduced. The principles of Highly Accelerated Life Test (HALT) and Highly Accelerated Stress Screening (HASS) are also explained.</p> <p>Based on the structure of the laboratory at ABB, the accelerated testing times and the equipment sample size, a testing process was created for performing the accelerated tests. The quality assurance test results from the first Highly Accelerated Stress Audit test are introduced at the end of this thesis. This study also includes practical instructions for working in the test laboratory for performing subsequent tests.</p>	
Keywords	HALT, HASS, Accelerated testing

# Sisälllys

## Alkulause

## Tiivistelmä

## Abstract

## Sisälllys

<b>1</b>	<b>Johdanto</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Taajuusmuuttaja</b>	<b>2</b>
2.1	Taajuusmuuttajan toimintaperiaate	2
2.1.1	Tasasuuntaaja	3
2.1.2	Vaihtosuuntaaja	3
2.1.3	Verkkoonjarruttavan taajuusmuuttajan säätötavoitteet	4
<b>3</b>	<b>Kiihdytetty testaus</b>	<b>6</b>
3.1	Kiihdytetyn testauksen tarkoitus	6
3.2	Kiihdytetyn testin menetelmät	7
3.2.1	Arrheniuksen laki	7
3.2.2	Aktivointienergia	8
<b>4</b>	<b>Tilastollinen tarkastelu</b>	<b>10</b>
4.1	Weibull-jakauma	11
4.2	Eliniän ja kuormituksen suhde	12
4.3	Jakaumapisteet	14
<b>5</b>	<b>HALT-menetelmä</b>	<b>15</b>
5.1	Kuormituksen ja kestävyys suhde	17
5.2	HALT-testaus ja lämpötila	18
5.3	HALT-testauksen hyödyt	20
<b>6</b>	<b>HASS-menetelmä</b>	<b>23</b>
6.1	HASS-menetelmän tehtävät	23

6.2	Tarkkailun vaikutukset luotettavuuteen	24
6.3	POS- ja HASA-menetelmät	25
<b>7</b>	<b>Kestotestausprosessi</b>	<b>26</b>
7.1	Kestotestausjärjestelmän kuvaus	26
7.2	Tuotannosta kerättävien näytteiden lukumäärä	29
7.3	Testattavien laitteiden sijoittelu lämpöhuoneisiin	31
7.4	Kiihdytetyn laaduntarkkailutestin testitulokset	34
<b>8</b>	<b>Käytännön ohjeistus laboratoriotyöskentelyyn</b>	<b>37</b>
<b>9</b>	<b>Yhteenveto</b>	<b>44</b>
	<b>Lähteet</b>	<b>45</b>

## **Liitteet**

**Liite 1. Lämpöhuoneen 1 kytkentäkaavio**

**Liite 2. Lämpöhuoneen 2 kytkentäkaavio**

**Liite 3. Lämpöhuoneen 3 kytkentäkaavio**

**Liite 4. ACS355-03E-08A8-4-testisekvenssi**

## 1 Johdanto

Tämä insinööriyö käsittelee ABB Oy:n valmistamien taajuusmuuttajien kestotestausprosessia. Työssä esitellään toimiva prosessi, jota voidaan hyödyntää taajuusmuuttajien massatuotannon laadunvarmistuksessa. Kestotestauksen työmenettelyistä on laadittu myös kattava ohje, jota voidaan käyttää myöhemmissä testeissä.

Kiihdytetyillä elinikätesteillä on merkittävä osa muun muassa laitteiden tuotekehityksessä. Tuotekehityksen varhaisessa vaiheessa voidaan havaita erilaisia suunnitteluvirheitä sekä vaikuttaa laitteen komponenttivalintoihin. Laitteissa ilmenevät viat voidaan korjata testien aikana ja näin parantaa laitteen toimivuutta.

Massatuotantovaiheen laadunvarmistuksessa suoritettavien kiihdytettyjen testien ansiosta voidaan havaita tuotanto- tai komponenttiero-kohtaiset ongelmat. Näin voidaan vähentää laitteissa tapahtuvien vikojen esiintyvyyttä asiakkaan käytössä, kun viat löydetään laitteista, ennen kuin laitteet päätyvät asiakkaille. Testien avulla voidaan varmistaa asiakkaiden tyytyväisyys tuotteeseen ja parantaa yrityksen markkinaosuutta.

Yleisimpiä laitteeseen kohdistuvia rasitteita ovat korkea tai matala lämpötila, kosteus, värinä ja laitteeseen kytketty kuormitus. Jokainen yksittäinen rasite tai rasitteiden erilaiset yhdistelmät lyhentävät laitteen elinikää. Tässä työssä keskitytään erityisesti korkean lämpötilan ja kuormituksen vaikutuksiin kiihdytetyissä laaduntarkkailutesteissä.

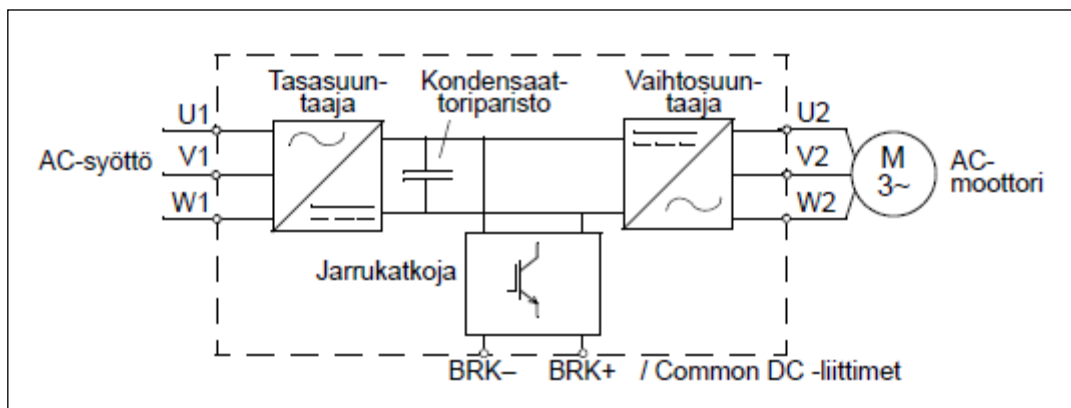
Työn alussa esitetään lyhyesti taajuusmuuttajan toimintaperiaate, yleisimmät kiihdytettyjen testien testausmenetelmät sekä testitulosten tilastolliset tarkastelutavat. Tuotannosta kerättävät laitteiden näytemäärät, tarvittavat testiajat, työn aikana tehtyjen kestotestien tulokset sekä työmenettelyistä laadittu ohje esitetään työn lopussa. Testeissä käytettävät taajuusmuuttajat kuuluvat ACS355-tuoteperheeseen.

## 2 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttaja on sähkötekniinen laite, jonka avulla voidaan portaattomasti säätää moottorin pyörimisnopeutta ja vääntömomenttia. Taajuusmuuttajia käytetään teollisuudessa muun muassa voimalaitosten puhaltimissa, sahojen kuljettimissa, paperitehtaiden leikkureissa, rakennusten pumpuissa, satamien nostureissa ja terästehtaiden rullaradoissa. (1.)

### 2.1 Taajuusmuuttajan toimintaperiaate

Yleisin taajuusmuuttajatyyppejä on välipiirillinen taajuusmuuttaja, jossa välipiirin tasajännite on tasasuunnattu yksi- tai kolmivaiheisella diodisillalla. (2.)



Kuva 1. Taajuusmuuttajan pääpiirikaavio (3, s. 25)

Tasasuuntaaja muuttaa kolmivaiheisen vaihtojännitteen tasajännitteeksi. Välipiirin kondensattoriparisto vakauttaa tasajännitteen välipiirin jännitteen. Vaihtosuuntaaja muuntaa välipiirin tasajännitteen takaisin vaihtojännitteeksi AC-moottoria varten. Jarrukatkoja kytkee ulkoisen jarruvastuksen tasajännitteen välipiiriin, kun piirin jännite ylittää sille sallitun rajan. (3, s. 25.)

Jarrukatkoja on elektroninen kytkin, joka liittää välipiiriin tasajännitteen vastukseen, jossa jarrutusenergia muunnetaan lämmöksi. Jarrukatkojan toiminnalla estetään välipiirin jännitettä nousemasta liian korkeaksi. Jarrukatkoja toimii, vaikka vaihtovirran syöttö

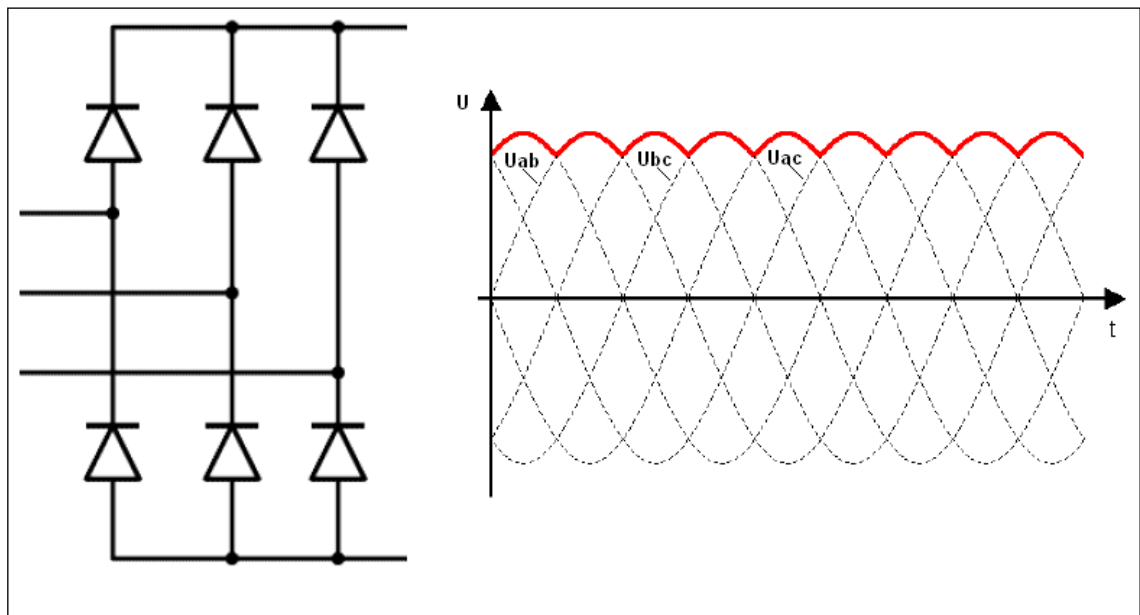


olisi poikki. Jarrutusta tarvitaan esimerkiksi sähkökatkoksen aikana tai verkon lyhytaikaisissa vikatilanteissa. (4.)

### 2.1.1 Tasasuuntaaja

Tasasuuntaajan tehtävänä on tehdä AC/DC-muunnos. Kolmivaiheisesta syöttöjännitteestä saadaan pulssimaista tasajännitettä diodisillan avulla. (2.)

Verkkokommutoitavien puolijohteiden, esimerkiksi diodien, kytkentätila määräytyy verkon jännitteistä. Diodeilla toteutetun tasasuuntaajan ylemmän haaran johtovuorossa on kytkin, jonka vaihejännite on suurin ja alemman haaran kytkimistä johtaa vastaavasti se, jonka vaihejännite on pienin. (4.)

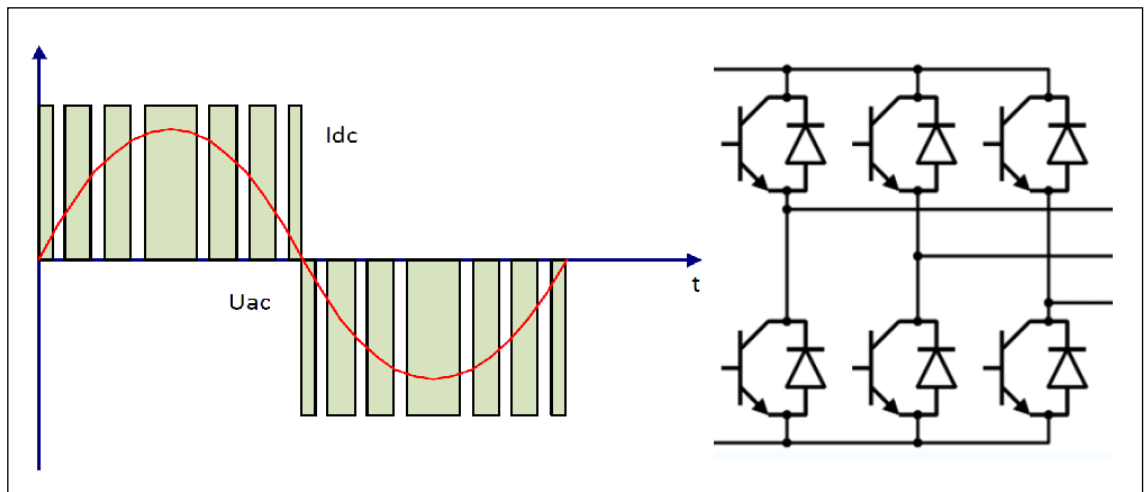


Kuva 2. Tasasuuntaajan toimintaperiaate (2)

### 2.1.2 Vaihtosuuntaaja

Vaihtosuuntaajan eli invertterin avulla muutetaan tasajännite vaihtojännitteeksi, jonka taajuutta, amplitudia tai molempia voidaan ohjata. Jos vaihtosuuntausyksikössä ohjataan vain taajuutta, pidetään syöttävä tasajännite vakiona. Koska vaihtosähköpiirin reaktanssit ovat riippuvaisia vaihtosähkön taajuudesta, on vaihtosuuntaajan jännitettä

yleensä muutettava taajuuden muutosta vastaavasti. Tällöin ohjataan sekä taajuutta että jännitettä. (5.)



Kuva 3. Vaihtosuuntaajan toimintaperiaate (2)

IGBT-komponentteja ohjataan hilalle tuotavalla jännitepulsilla. Pakko-ohjatut komponentit voidaan sytyttää ja sammuttaa verkon vaihejänniteistä tai muista verkon hetkellisistä ominaisuuksista riippumatta. (4.)

Pulssileveysmoduloidun (PWM) invertterin lähtöjännitteen kukin puolialto muodostuu monesta pulssista, joiden leveyttä voidaan ohjata. Näin ollen samalla tehoasteella voidaan ohjata sekä jännitettä että taajuutta. (5.)

### 2.1.3 Verkkojarruttavan taajuusmuuttajan säätötavoitteet

IGBT-pohjaisilla verkkojarrutusyksiköillä on kolme yleistä säätötavoitetta. Ensimmäinen tavoite on pitää välipiirin tasajännite vakaana. Näin varmistetaan, että vaihtovirtamootoreita syöttävät vaihtosuuntaajat voivat toimia optimaalisella tavalla toimintapistteestä huolimatta. Välipiirin tasajännite on vakaa, kun välipiirin tuleva tehovirtaus vastaa välipiiristä lähtevää tehovirtausta. Sopiva tehovirtaus saavutetaan säätämällä kahden vaihtovirtajärjestelmän välistä tehokulmaa.

Säädön toinen tavoite on minimoida tarvittava syöttövirta eli toimia pisteessä  $\cos \varphi = 1,0$ . Tavoite saavutetaan säätämällä verkkosuuntaajan lähtöjännitettä.

Joissakin sovelluksissa IGBT-verkkosuuntaajan halutaan toimivan myös induktiivisena tai kapasitiivisena kuormana. Säädön kolmas tavoite on minimoida syöttövirran yliaaltosisältö.

Verkkoonjarruttavan IGBT-yksikön suurimmat edut ovat

- syöttövirran yliaaltojen alhainen määrä sekä moottori- että verkkoonjarrutustilassa
- hyvä dynamiikka tehovirtauksen muuttuessa nopeasti
- mahdollisuus nostaa tasajännitettä syötettävää vaihtojännitettä suuremmaksi
- järjestelmän jännitehäviöiden kompensointi jännitteen nostokyvyn ansiosta
- mahdollisuus säätää tehokerrointa
- verkkokatkosäätö automaattisella synkronoitumisella verkkoon.

Välipiirin tasajännite on suunnilleen sama moottori- ja jarrutustilassa. Jarrutus ei aiheuta moottorin eristyksille ylimääräistä jänniterasitusta.

Verkkoonjarruttavan IGBT-yksikön suurimmat haitat ovat

- suuremmat investointikustannukset
- sähkökatkoksen aikana jarrutuksen käyttämättömyys
- korkeasta kytkentätaajuudesta johtuvat suuritaajuiset jänniteyliaallot; nämä usean kilohertsin jännitekomponentit voivat herättää muiden sähkölaitteiden pienet kondensaattorit; eri laitteita syöttävien muuntajien sopivalla suunnittelulla ja järjestelyllä tällaiset ilmiöt voidaan poistaa.

Verkkoonjarruttavaa IGBT-yksikköä käytetään, kun

- jarrutus on jatkuvaa tai usein toistuvaa
- jarrutusteho on suuri
- saavutetaan tilansäästöä jarruvastusratkaisuun verrattuna
- verkon yliaaltorajat ovat kriittisiä. (6, s. 19–22.)

### 3 Kiihdytetty testaus

#### 3.1 Kiihdytetyn testauksen tarkoitus

Kiihdytetyn testauksen tarkoitus on keinotekoisesti vanhentaa laitetta ja saada testiolosuhteissa aikaan laitteistossa nopeasti tapahtuva vika. Keinotekoisesti voidaan tuottaa hyvinkin vaativia olosuhteita laitteille, mutta testausolosuhteiden on vastattava mahdollisimman tarkasti niitä olosuhteita, joita esiintyy laitteiden normaalikäytössä. Testissä laitteelle pyritään mallintamaan samankaltainen vika kuin asiakkaan käytössä, mutta vain lyhyemmällä aikavälillä. Kiihdytetyn testauksen yleisimmät päätarkoitukset ovat seuraavat:

1. Suunnitteluvirheiden tunnistaminen

Tunnistetaan virheet ja pyritään vähentämään niitä tulevaisuudessa. Samalla voidaan löytää parempia komponenttiratkaisuja laitteiden suunnittelussa.

2. Vertailu

Vertaillaan muun muassa eri komponenttivalmistajien tuotteita sekä erilaisten testiolosuhteiden välisiä eroja.

3. Valmistusvirheiden tunnistaminen

Tunnistetaan laitteiden valmistuksessa tapahtuvat virheet ja pyritään korjaamaan ne.

4. Laaduntarkkailu

Tarkkaillaan tuotteen luotettavuutta ja suoritetaan tarvittaessa mahdollisia korjaavia toimenpiteitä tuotteen parantamiseksi.

## 5. Muiden muuttujien arviointi

Arvioidaan, kuinka paljon suunnittelu, tuotanto, materiaalit, korjaukset ja muut muuttujat vaikuttavat laitteen luotettavuuteen.

## 6. Tuotteen arviointi

Arvioidaan, päästetäänkö suunniteltu tuote tuotantoon tai myydäänkö valmis tuote asiakkaalle. Arvioidaan takuu- sekä huoltokustannukset tai virhe- sekä hajoamismäärät kenttäolosuhteissa.

## 7. Luotettavuuden toteaminen

Osoitetaan asiakkaalle, että tuotteen luotettavuus ylittää asiakkaan laatuvaatimukset. (7, s. 23).

Kiihdytetyissä testeissä vaikuttavia tekijöitä voivat olla kuormitus (esimerkiksi kuormakoneet), korkeat värinätasot, kosteus ja lämpötila. Testimenetelmiä suunniteltaessa voidaan käyttää yksittäisiä tekijöitä tai näiden tekijöiden yhdistelmiä. (8.)

### **3.2 Kiihdytetyn testin menetelmät**

Kiihdytetyn testin tuloksia voidaan käsitellä sopivalla menetelmällä. Monille tuotteille on kehitelty hyvinkin päteviä menetelmiä. Esimerkiksi kiihdytetyissä testeissä, joissa nostetaan tai lasketaan lämpötilaa voidaan hyödyntää Arrheniuksen menetelmää. (7, s. 35.)

#### **3.2.1 Arrheniuksen laki**

Yleisin menetelmä kiihdytetyissä testeissä on Arrheniuksen yhtälön soveltaminen. Yhtälön avulla voidaan mallintaa tuotteen elinikää lämpötilan funktiona. Metallin diffuusio ja kemialliset reaktiot heikentävät sähkötekniisten laitteiden komponentteja. Yhtälöllä voidaan kuvailla kemiallisten reaktioiden määrää lämpötilan vaikutuksesta.

Arrheniuksen perusyhtälö on muotoa (7, s. 75–76)

$$k = Be^{\frac{-E_a}{RT}} \quad (1)$$

jossa  $k$  on reaktionopeus,  $B$  on taajuustekijä eli törmäystekijä,  $E_a$  on Arrheniuksen aktivointienergia,  $R$  on yleinen kaasuvakio eli Boltzmannin vakio ( $8,62 \cdot 10^{-5}$  eV/K) ja  $T$  on lämpötila Kelvineissä.

Käytännön sovelluksissa hyödynnetään usein Arrheniuksen vanhenemisen kiihdytyskerrointa. Yhtälö on johdettu yhtälöstä (1), kun lasketaan kahdessa eri lämpötilassa tapahtuvien reaktionopeuksien suhde. Näin ollen termi  $B$  supistuu pois. (9, s. 21.)

$$A = e^{\left(\frac{E_a}{k}\right) \left[ \left(\frac{1}{T_1}\right) - \left(\frac{1}{T_2}\right) \right]} \quad (2)$$

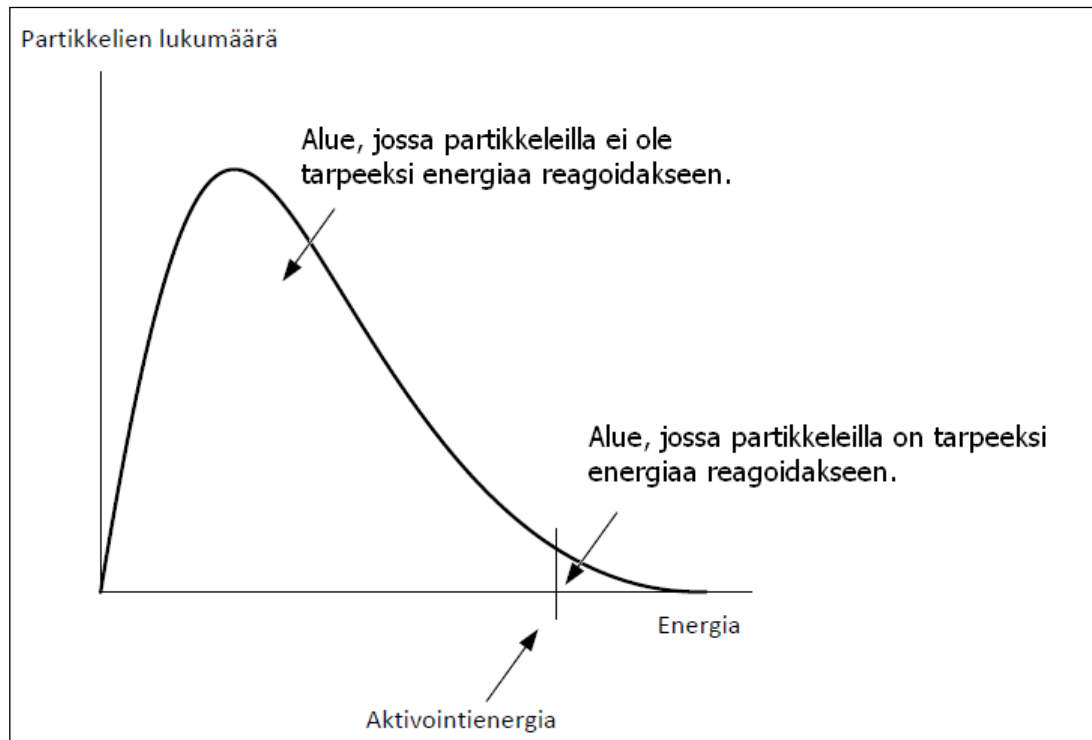
$A$  on vanhenemisen kiihdytyskerroin

$T_1$  on alkulämpötila Kelvineissä

$T_2$  on testiolosuhteissa käytettävä lämpötila Kelvineissä.

### 3.2.2 Aktivointienergia

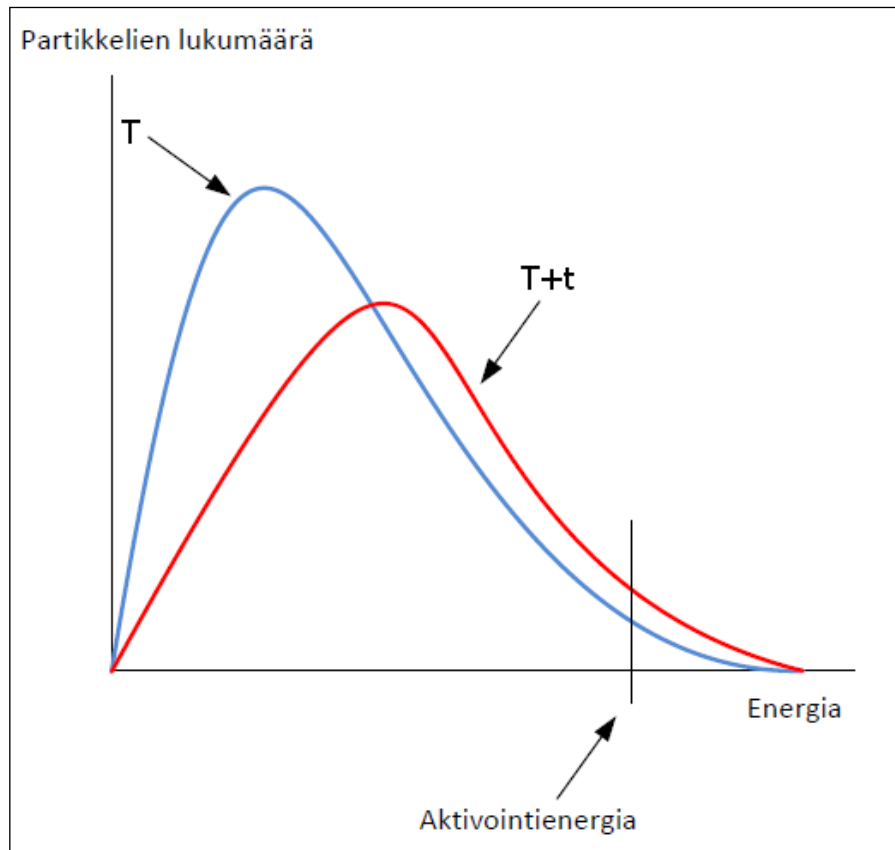
Kemiallisessa reaktiossa aineen partikkelien yhteentörmäyksillä on silloin merkitystä, jos partikkelit saavat reaktion aikaan törmätessään tarpeeksi suurella energialla. Tätä minimimäärä energiaa, jota tarvitaan reaktion aikaansaamiseksi kutsutaan reaktion aktivointienergiaksi. (10.)



Kuva 4. Aineen partikkelien energiatasot (10)

Kuvassa 4 on esitetty ne alueet, joissa eri energiatason partikkelit vaikuttavat. Korkean energiatason partikkelit voivat saada reaktion aikaan yhteentörmätessään. Suurella osalla partikkeleista ei ole tarpeeksi energiaa reagoidakseen keskenään, joten yhteentörmätessään ne sinkoavat kauemmaksi toisistaan.

Reaktiota kiihdytettäessä joudutaan lisäämään korkeaenergisten partikkelien määrää. Korkeaenergisia partikkeleita ovat ne partikkelit, joiden energiat ovat samat tai suuremmat kuin aktivointienergia. Lämpötilan lisääminen kiihdyttää korkeaenergisten partikkelien lukumäärää, jolloin kuvaajan muoto muuttuu. Kuvassa 5 (ks. seur. s.) esiintyvä käyrä T mallintaa alkuperäistä lämpötilaa ja käyrä T+t mallintaa korkeampaa lämpötilaa.



Kuva 5. Lämpötilan vaikutus aktivointienergiaan (10)

Aktivointienergian paikkaa merkatessa huomataan, että korkeaenergiset partikkelit ovat lisääntyneet, vaikka kuvaaja ei ole liikkunut kovinkaan merkittävästi.

Käytännössä piirilevyn komponenttien aktivointienergiana voidaan pitää arvoa 0,8 (11).  
(10.)

#### 4 Tilastollinen tarkastelu

Kiihdytetyissä testeissä voidaan tilastollisesti tarkastella tuotteen eliniän hajonnasta koostuvia eliniän jakaumia. Erilaisia jakaumamalleja on useita, mutta yleisin ja käytetyin malli elektroniikassa on Weibull-jakauman malli.



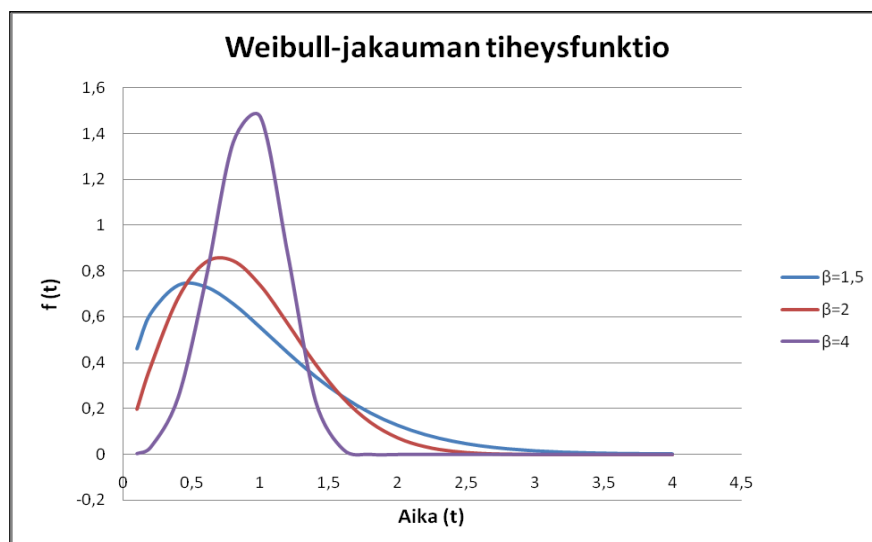
## 4.1 Weibull-jakauma

Weibull-jakaumaa käytetään usein määriteltäessä elektronisten tuotteiden elinikää, sillä se mallintaa yksinkertaisesti joko kasvavaa tai laskevaa vikojen määrää. Weibull-jakaumaa käytetään myös esimerkiksi tuotteen sähköisen tai mekaanisen kestävyysjakauman havainnollistamisessa kiihdytetyissä testeissä. Weibull-menetelmä kuvailee karkeasti laitteen ns. heikointa lenkkiä. Laite koostuu monesta osasta, joilla on sama eliniän jakauma, ja laite rikkoutuu ensimmäisen osan rikkoutuessa. Esimerkiksi kondensaattorin elinikä on määritelty sen lyhyimmän eliniän omaavan eristeen osuuden mukaisesti. (7, s. 63.)

Weibull-jakauman tiheysfunktio on muotoa

$$F(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left( \frac{t}{\eta} \right)^\beta} \quad (3)$$

jossa vakio  $\beta$  on ns. muotoparametri, vakio  $\eta$  on muuttujan skaalaustekijä ja  $t$  on aika. Suurimmalle osalle tuotteista  $\beta$  on 0,5 - 5. Elektroniikassa muotoparametrin  $\beta$  arvona käytetään usein arvoa 2. (12, s. 412.)

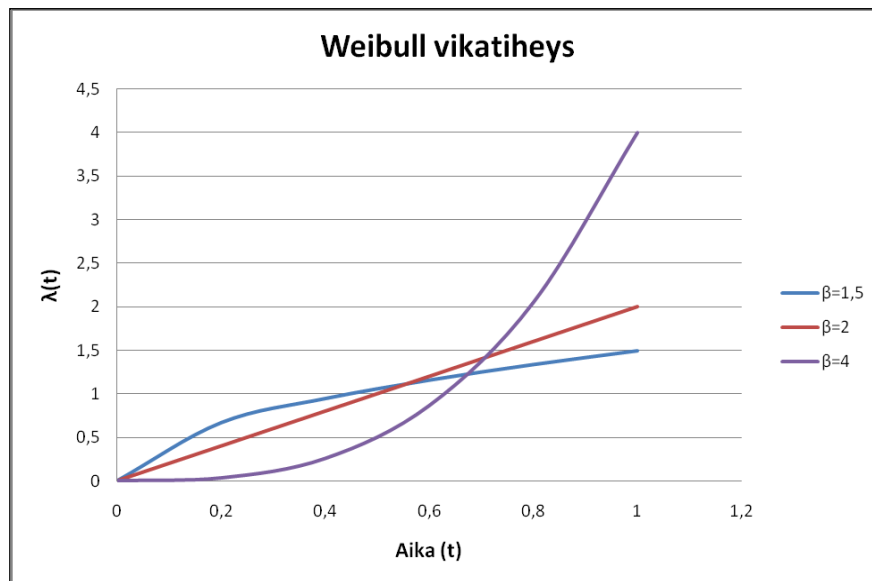


Kuva 6. Muotoparametrin  $\beta$  vaikutus tiheysfunktion kuvaajan muotoon

Jos tarkkailtavan laitteen vikatiheys noudattaa Weibull-jakaumaa, vikataajuus on

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (4)$$

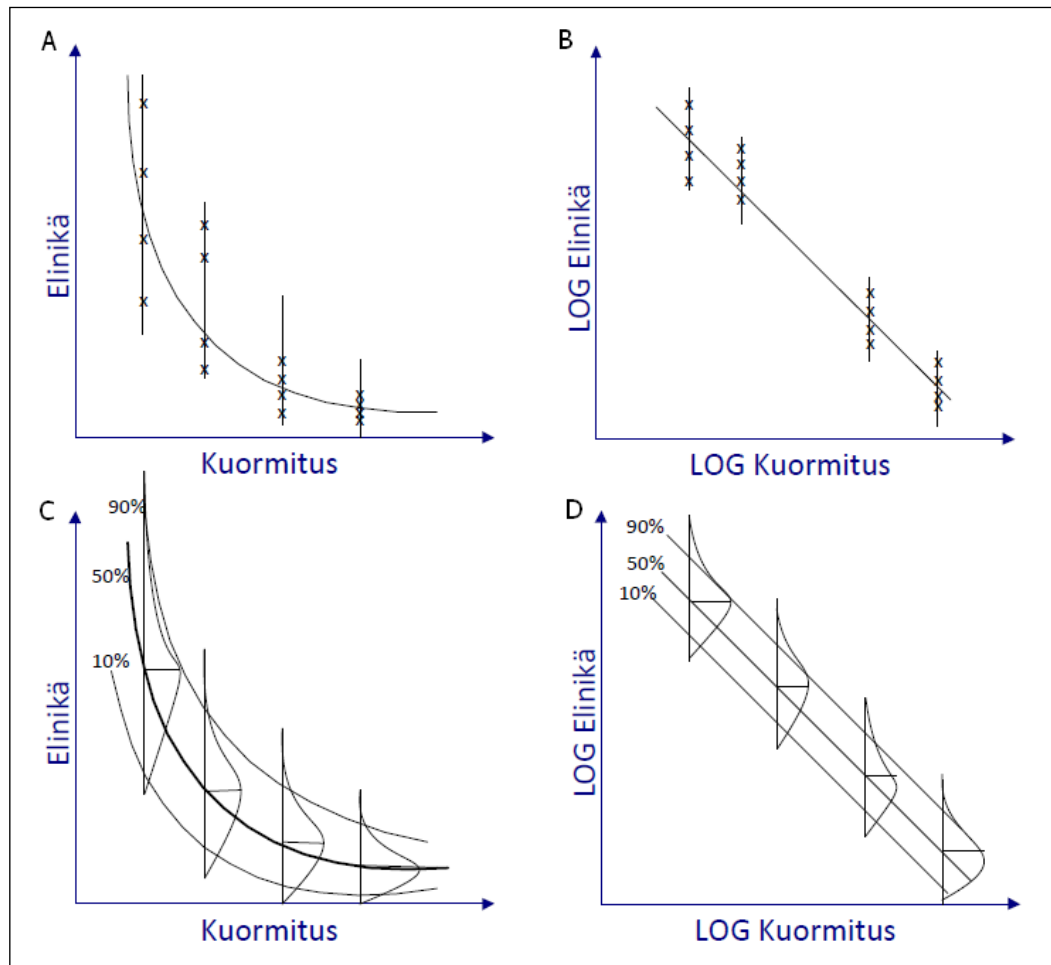
Kuvassa 7 esitetään erilaisia muotoparametri  $\beta$  :n arvoja. Kuvasta nähdään, että ajan kuluessa vikatiheyden määrä kasvaa.



Kuva 7. Muotoparametrin  $\beta$  vaikutus vikatiheyden kuvaajan muotoon

## 4.2 Eliniän ja kuormituksen suhde

Tyypillinen tieto eliniästä vakiona pysyvistä kuormituksista esitetään kuvassa 8 (ks. seur. s.) x-symbolina kuormituksen funktiona. Yleisesti elinikä on suurempi pienemmillä kuormituksilla kuin vastaava elinikä suuremmilla kuormituksilla. Myös eliniän hajonta on suurempi pienillä kuormilla kuin suurilla (7, s. 71). Kentällä asiakkaan käytössä laitteet toimivat muuttuvilla kuormituksilla, joten testitulosten perusteella saadut arviot eliniästä ovat suuntaa-antavia eivätkä siis täysin paikkaansa pitäviä.



Kuva 8. Eliniän ja kuormituksen suhteiden kuvaajat (7, s. 72)

Kuvissa esiintyvä suora viiva esittää tuotteen testituloksista saatujen tietojen perusteella olevaa elinikä-kuormitus-suhdetta. Matemaattisesti lineaarisen kuvaajan ekstrapolointi pienemmälle kuormitukselle on helpompaa arvioitaessa elinikää. Tässä tapauksessa lineaarisen kuvaajan oletetaan olevan riittävän pitkä. Kuvassa 8 esiintyvän A-kuvaajan ekstrapolointi on puolestaan huomattavasti vaikeampaa. Suoraa kuvaajaa voidaan hyödyntää, kun käytetään jotakin tiettyä yhtälöä esittämään eliniän ja kuormituksen välistä suhdetta. Arrheniuksen yhtälö (1) on tämänkaltainen yhtälö.

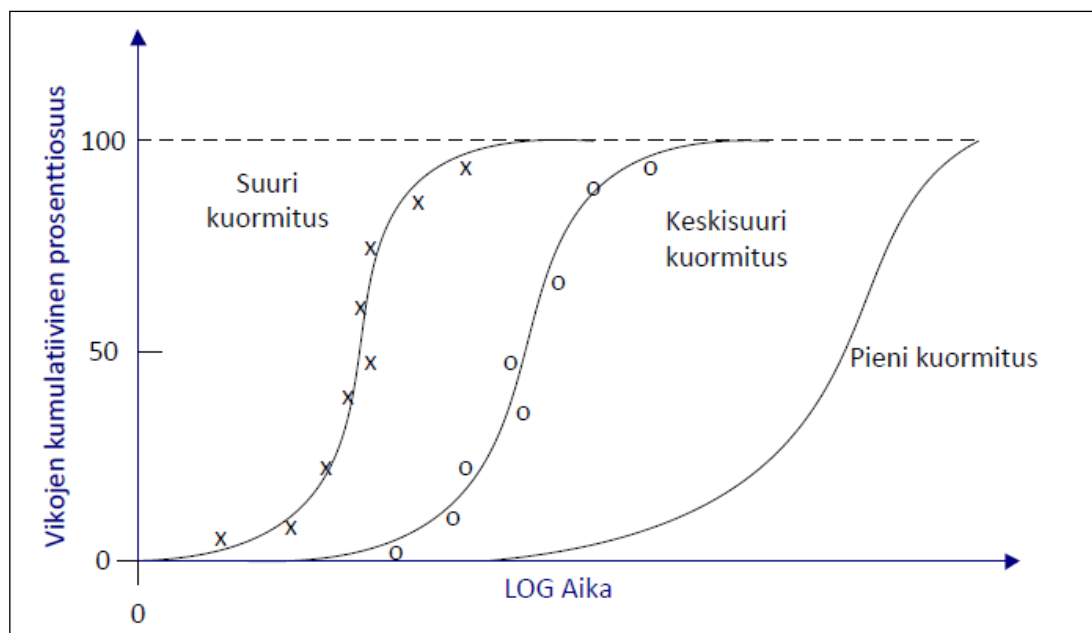
Yksinkertainen elinikä-kuormitus-suhde ei kuvaa luotettavasti testattavien yksiköiden eliniän hajontaa. Testattavalla yksiköllä on jokaisella kuormitustasolla jonkinlainen tilastollinen eliniän jakauma, jonka hajonnan arvoja voidaan tarkastella hyvin kehitetyllä menetelmällä. Kuvan 8 esittämä kuvaaja C havainnollistaa tämänkaltaisia tilastollisia jakaumia. Jyrkkä kuvaaja läpäisee jokaisen kuormituksen jakauman 50 % arvon. Loivemmat käyrät leikkaavat 10 ja 90 prosentin pisteet. Kuvan malli koostuu eliniän

jakauman sekä eliniän ja kuormituksen välisten suhteiden yhdistelmästä. Prosentuaaliset kuvaajat havainnollistavat menetelmän kuvaajaa.

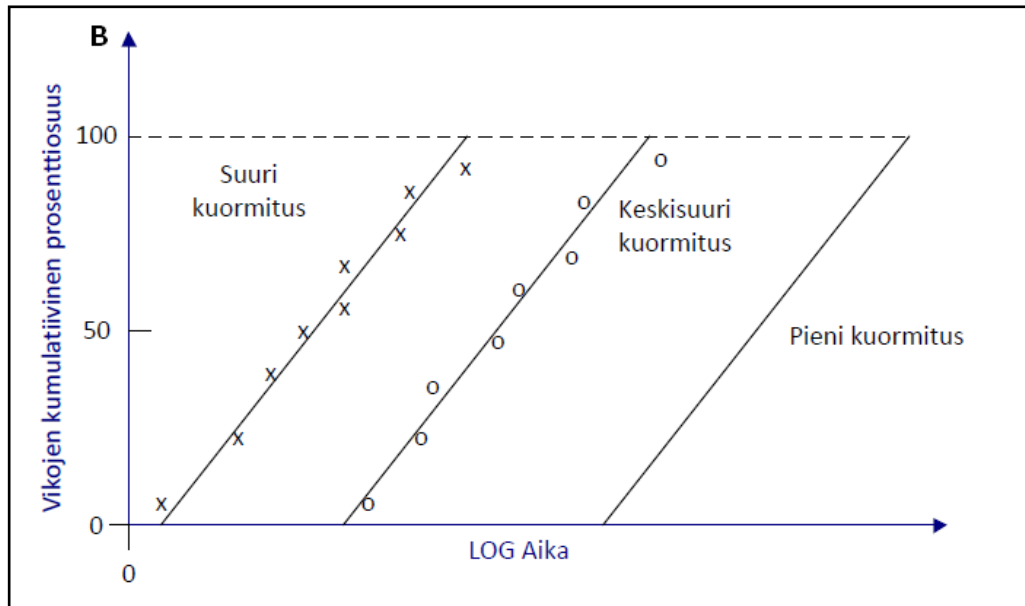
Kiihdytetyn testin testitulosten käsittely on helpompaa, kun ilmiötä havainnollistetaan lineaarisella kuvaajalla. Kuvassa 8 (ks. s. 13) olevan menetelmän kuvaaja C on esitetty lineaarisena kuvaajassa D. (7, s. 71–73.)

### 4.3 Jakaumapisteet

Kuvassa 9A nähdään hajonneen tuotteen kumulatiivisen prosentuaalisen osuuden kuvaajat ajan funktiona. Kuvaajan pisteet ovat aikoja, joissa tuote on hajonnut. Kuvan tasaiset käyrät kuvaavat siis yleistä kumuloituvaa prosentuaalista hajoamista ajan funktiona. Kuvassa esiintyvät käyrät esittävät eri kuormitustasoja ja niitä vastaavia jakaumia. (7, s. 73–74.)



Kuva 9A. Virheiden kumulatiiviset prosenttiosuudet ajan funktiona (7, s. 74)



Kuva 9B. Vikojen kumulatiiviset prosenttiosuudet ajan funktiona (7, s. 74)

Kuvassa 9B lineaarinen kuvaaja esittää laitekannan vikaantumisen kumuloituvaa prosenttiosuutta ajan funktiona kyseisellä kuormitustasolla. (7, s. 74.)

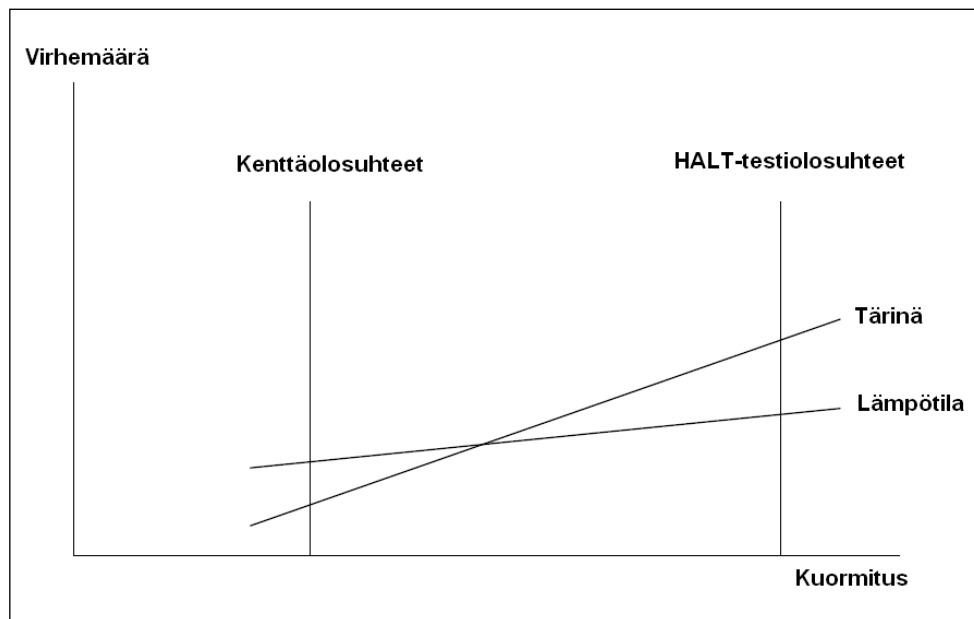
## 5 HALT-menetelmä

HALT-menetelmää (*Highly Accelerated Life Test*) käytetään kiihdytetyissä testauksissa tuotteen ollessa vielä suunnitteluvaiheessa. Testillä pyritään seulomaan mahdolliset suunnittelu- ja valmistusvirheet, joita tuotteessa mahdollisesti esiintyy. Jokainen testeissä ilmaantunut vioittunut komponentti tarjoaa hyvän mahdollisuuden parantaa laitteen suunnittelua tai valmistusta. Tämä puolestaan johtaa siihen, että suunnittelu-aika lyhenee, tuotteen luotettavuus kasvaa ja mahdolliset vian aiheuttamat kustannukset pienenevät. Tuotteen luotettavuuden kasvaessa myös asiakkaiden kiinnostus tuotteeseen kasvaa.

HALT-menetelmässä käytettävät kuormitukset eivät välttämättä vastaa normaalissa käyttöolosuhteissa esiintyviä kuormituksia. Kuormituksen tasoa lisätään asteittain, joista ensimmäiset asteet vastaavat lähes normaalissa käytössä esiintyviä kuormituksia. Lopulta kuormituksen taso nostetaan komponenttien kriittiseen kestonrajaan asti. Kuormituksen tason nostaminen näin korkealle vaatii kyseisten komponenttien kestävyyttä.

Asiakkaiden käytössä olevat tuotteet ovat käytössä normaaleissa käyttöolosuhteissa. Näissä normaaleissa käyttöolosuhteissa laitteissa ilmaantuvat viat dokumentoidaan. Laitteesta voidaan valmistusvaiheessa kehitellä liiankin kestävä, jos oleellisiin vikatyyppeihin ei olla tarpeeksi perehdytty. Tämä puolestaan johtaa siihen, että valmistuksen ja suunnittelun kustannukset nousevat.

HALT-testauksessa on myös huomioitava, että jotkin vikatyypit löydetään eri tyyppisillä rasituksilla. Kenttäolosuhteissa tietynlainen rasistus saattaa aiheuttaa laitteistossa vian, jota testauksessa ei ole löydetty (ks. kuva 10). Kuvasta nähdään, että kenttäolosuhteissa suurin vikojen aiheuttaja laitteessa on lämpötila. HALT-testauksessa värinätestit aiheuttavat suurimman osan vioista. Tämä tarkoittaa sitä, että pienemmissä näyteerissä HALT-testauksessa vian aiheuttaja kiihtyy värinätesteissä ja kenttäolosuhteissa vian aiheuttajana on lämpötila. (13, s. 4, 5, 32–33.)



Kuva 10. Hetkellisten virheiden määrä kentällä ja HALT-testauksessa (13, s. 10)

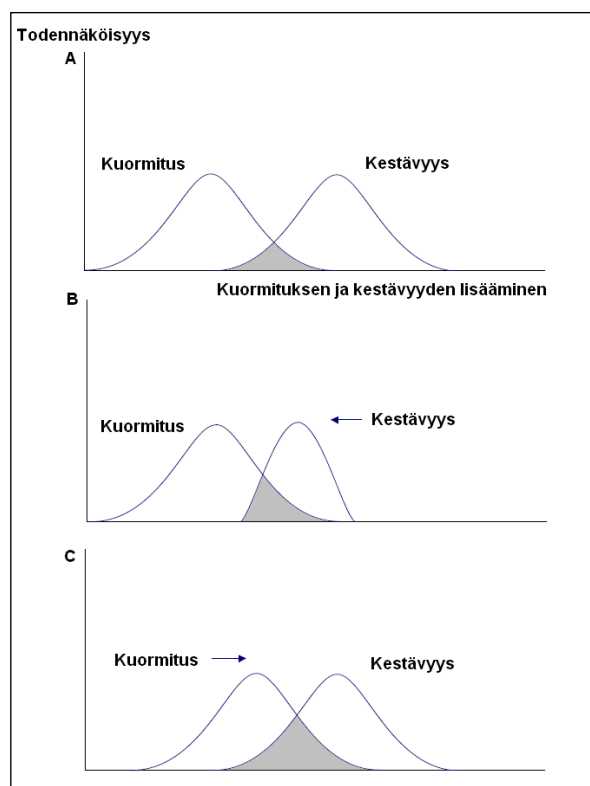
Suunniteltavan laitteen jokainen muuttuva ominaisuus vaikuttaa koko laitekannan eliniän jakaumaan, jonka tilastollista kuvaajaa ei voida ennalta tietää. Jakaumien tilastolliset ominaisuudet saadaan testaamalla suuria määriä koe-eriä, jotta saataisiin tilastollisesti merkittävä arvio eliniän jakaumasta.

Koska suurten näyte-erien testaus on hyvin epäkäytännöllistä, tulisi näyte-erän koko supistaa optimaalisesti. Pienemmälle näyte-erälle voidaan kohdistaa suurempia rasitus-tasoja, kuten korkeampaa lämpötilaa, suurempaa jännitettä tai taajuutta. (13, s. 32.)

### 5.1 Kuormituksen ja kestävyden suhde

Kuormituksen ja kestävyden jakaumakuvaajat nähdään kuvassa 11. Y-akselille on merkitty todennäköisyys sille, tapahtuuko tutkittavissa laitteissa vikoja. X-akselilla nähdään kuormituksen ja kestävyden lisäämisen vaikutus laitteissa tapahtuvien virheiden todennäköisyyteen.

Kuvaajan jakauman ns. hännät ovat ensisijainen kiinnostuksen kohde HALT-menetelmää tutkittaessa. Kuvaajista nähdään, että pienemmän kestävyden alueella laitteissa aiheutuu vikoja asiakkaan käytössä. Vikoja ilmaantuu normaalisti silloin, kun käytetty kuormitus ylittää kestävyden rajat. Kuvassa tummennettu alue esittää vikojen ilmaantumista. (13, s. 2, 32.)



Kuva 11. Vikojen esiintyvyys (13, s. 2–3)

Ajan kuluessa tuote heikkenee muun muassa komponenttien vanhentuuessa. Kuvan 11 B-kohdassa (ks. s. 17) on havainnollistettu ajan vaikutusta tuotteen kestävyteen. Vaihtoehtoisesti voidaan havainnollistaa tuotteen heikkenemistä siirtämällä kestävyyskäyrää vasemmalle, kuten kuvan 11 B-kohdassa on tehty. Kummassakin tapauksessa käyrien päällekkäisyys lisääntyy, mikä tarkoittaa sitä, että suuremmalla todennäköisyydellä enemmän tuotteita hajoaa. Kuvan 11 C-kohdassa kuormitusta voidaan siirtää oikealle, jolloin sama ilmiö toistuu. (13, s. 2.)

## 5.2 HALT-testaus ja lämpötila

Ylin toiminnallinen lämpötilaraja UOTL (*The Upper Operational Temperature Limit*) on lämpötila, jonka alapuolella laiteyksikkö toimii täysin normaalisti. Tämä ylin toiminnallinen lämpötilaraja tulee olla reilusti yli normaalin käyttölämpötila yläpuolella, jotta voidaan olla varmoja laitteen toimivuudesta vaativissa olosuhteissa. Normaali käyttölämpötila kenttäolosuhteissa määräytyy ympäristön lämpötilan perusteella.

Ylin rikkoutumisen lämpötilaraja UDTL (*The Upper Destruct Teperature Limit*) on kriittisin lämpötilaraja, jolloin laiteyksikkö tuhoutuu pysyvästi. Tämä lämpötilaraja tulisi olla reilusti yli odotettujen korkeimpien kenttälämpötilojen yläpuolella, jotta voidaan olla varmoja siitä, että laite kestää korkeimmatkin kenttälämpötilan aiheuttamat rasitukset.

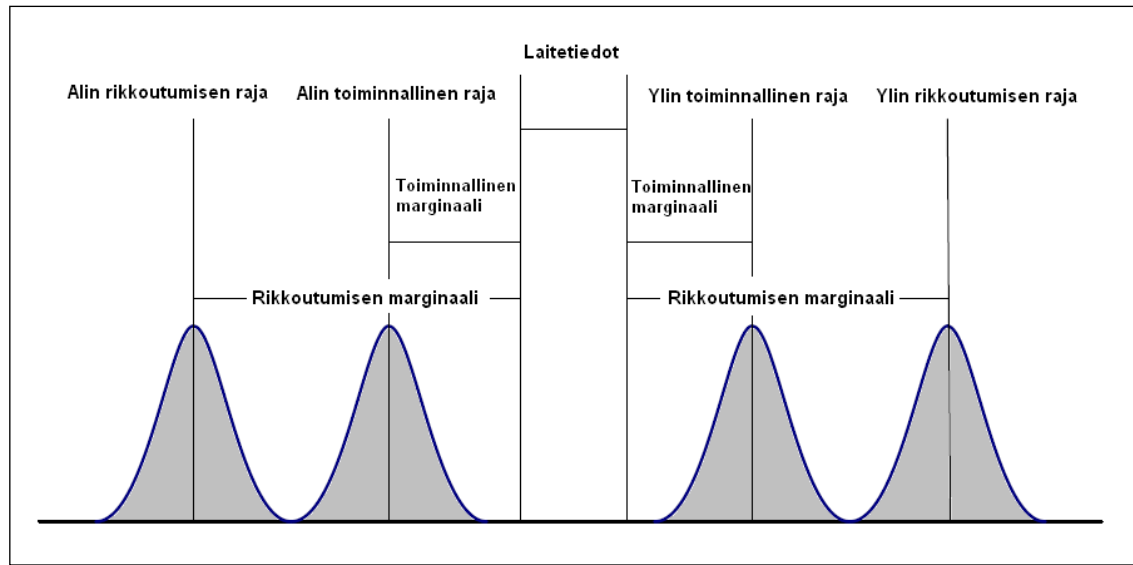
Alin toiminnallinen lämpötilaraja LOTL (*The Lower Operational Temperature Limit*) on alin lämpötila, jonka yläpuolella laite toimii normaalisti. Myös tämä lämpötilaraja tulisi olla reilusti alimpien ympäristön lämpötilojen alapuolella.

Alin rikkoutumisen lämpötilaraja LDTL (*The Lower Destruct Temperature Limit*) on lämpötilaraja, jonka alapuolella laite rikkoutuu täysin. Tämä lämpötilaraja tulisi olla reilusti odotettujen alimpien kenttälämpötilojen alapuolella.

Tyypillisin keino testata laitteistoa lämpötilan vaikutuksilta on esimerkiksi nostaa lämpötilaa asteittain +10 °C :sta +40 °C:een. Hyvin yleinen tapa on nostaa lämpötilaa asteittain esimerkiksi 10 °C kerrallaan, kunnes testattavassa laitteessa havaitaan vika. (13, s. 37–38.)



Tuotesuunnittelussa tuotesuunnittelun marginaalit on mitoitettava mahdollisimman tarkasti. Nämä tuotesuunnittelun marginaalit liittyvät muun muassa laitteen toiminnallisiin rajoihin sekä niihin rajoihin, joissa laite tuhoutuu täysin. Tämä tarkoittaa sitä, että mahdollisimman monta laiteyksilöä on testattava, jotta marginaalit voitaisiin mitoitaa mahdollisimman tarkasti. (14, s. 123). Kuvassa 12 esitetään erilaiset tuotteen marginaaliarvot.



kuva 12. Laitteen marginaalit (13, s. 44)

Testissä lämpötilaa voidaan myös pienentää tietyin välein, kunnes laitteen normaali toiminta palautuu. Jos normaali toiminta palautuu, ollaan löydetty toiminnallinen raja. Jos normaali toiminta puolestaan ei palaudu, ollaan löydetty rikkoutumisen raja. Ohjearvon ja ylimmän toiminnallisen lämpötilarajan välinen ero määrittelee ylimmän toiminnallisen marginaalin. Tiedetään, että suurimmilla marginaaleilla esiintyy vähemmän häiriöitä kenttäolosuhteissa. Näin ollen on hyödyllistä sekä teknisellä että taloudellisellakin tasolla nostaa tämä kyseinen marginaali mahdollisimman korkealle.

Testausmenetelmiä suunniteltaessa on muistettava, että HALT-testauksessa voidaan havaita ensimmäinen vika jollakin tietyllä rasiitteella. Kenttäolosuhteissa samalla rasiitustasolla vika ei välttämättä ilmene heti ensimmäiseksi. Tehokkain testausmenetelmä olisi käyttää erilaisten rasiitustekijöiden yhdistelmää. Yhden rasiitteen marginaaliarvojen ollessa korkealla on samanaikaisesti vaikuttavan toisen rasiitteen marginaaliarvo matalampi, mikä johtaa laitteen vioittumiseen.

HALT-testauksessa tuotetta parannellaan jatkuvasti ja siitä tehdään mahdollisimman kestävä. Tuotetta kehitetään niin pitkälle, kunnes korjausten kustannukset ovat liian korkeat tai kaikki marginaalit, mukaan luettuina yhdistettyjen rasitteiden marginaalit, ovat selvästi liiallisia. Tärkeää on, että laitekannan kaikki tuotteet eivät lakkaa toimimasta samassa lämpötilassa tai muussa vastaavassa rasitteessa. Vikatiheyden jakauman muotoa ei tiedetä operaation HALT-tasolla, sillä tuotteiden prototyypeillä on vain rajallinen vikatiheyden jakauma. Yksi tapa pienentää jakauman muodon tietämättömyyttä olisi tehdä marginaaleista hyvin suuria.

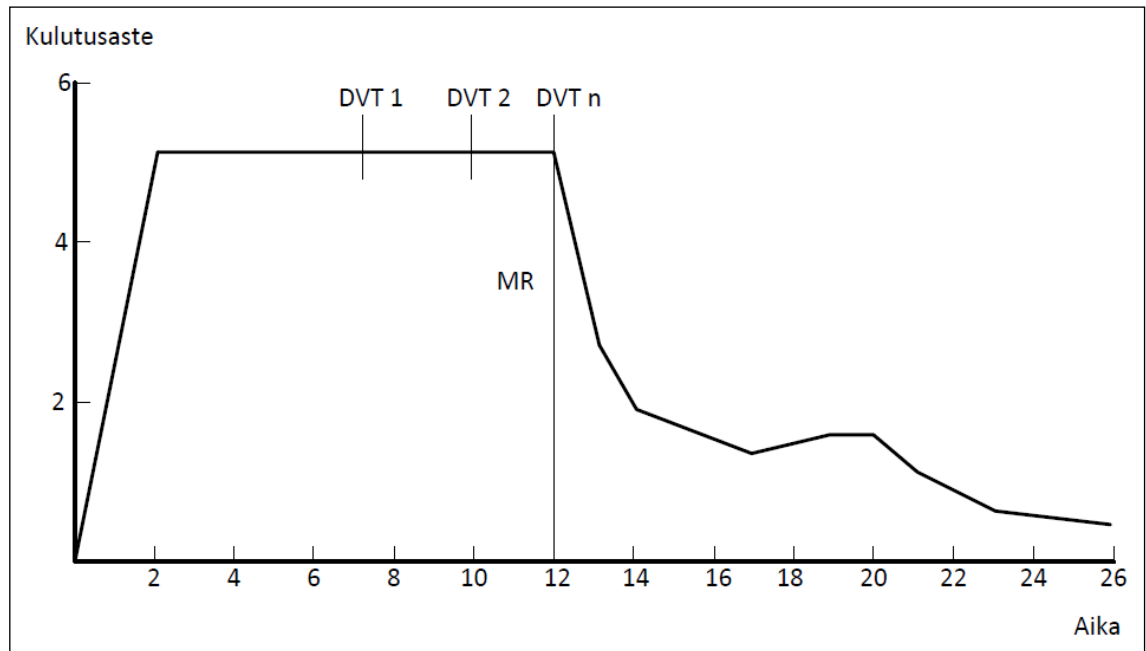
Yleisellä tasolla tuotteissa ilmeneviä häiriöitä on hyvin paljon. Jokainen yksittäinen vika on syytä tutkia erikseen, jotta tuotetta voidaan jatkossa parannella mahdollisimman paljon. Jotkin jakaumamallit voivat olla hyvinkin laajoja, ja niitä saattaa esiintyä vain suurimmilla rasitetasoilla. HALT-menetelmässä käytetään juuri korkeita rasitetasoja, mikä on korvikkeena suurelle näyte-erän koolle. Aina kun voidaan jättää yksi häiriötekijä jakauman ulkopuolelle, jakaumataso voidaan siirtää korkeamman rasitustason alueelle, mikä puolestaan antaa mahdollisuuden kehittää tuotetta paremmaksi. (13, s. 39–42.)

### **5.3 HALT-testauksen hyödyt**

HALT-testauksen hyötyjä ovat muun muassa

- nopeampi suunnittelu ja tuotteen valmistus
- aikaisempi tuotteen esittely
- vähentynyt työntarve (laboratoriomittaukset ym.)
- pienemmät kokonaiskustannukset
- vähentyneet vikatapaukset kenttäolosuhteissa
- suurempi tuotto
- kasvanut markkinaosuus.

Vanhan tuotesuunnittelumallin kulutusastetta ajan funktiona nähdään kuvasta 13. DVT (*Design Verification Test*)-tyyppisiä testejä kuvassa on  $n$  kappaletta. Testeissä on käytetty kenttäolosuhteissa käytettäviä kuormituksia, jolloin laitteissa on havaittu vain muutama vika. (13, s. 61–62, 66.)

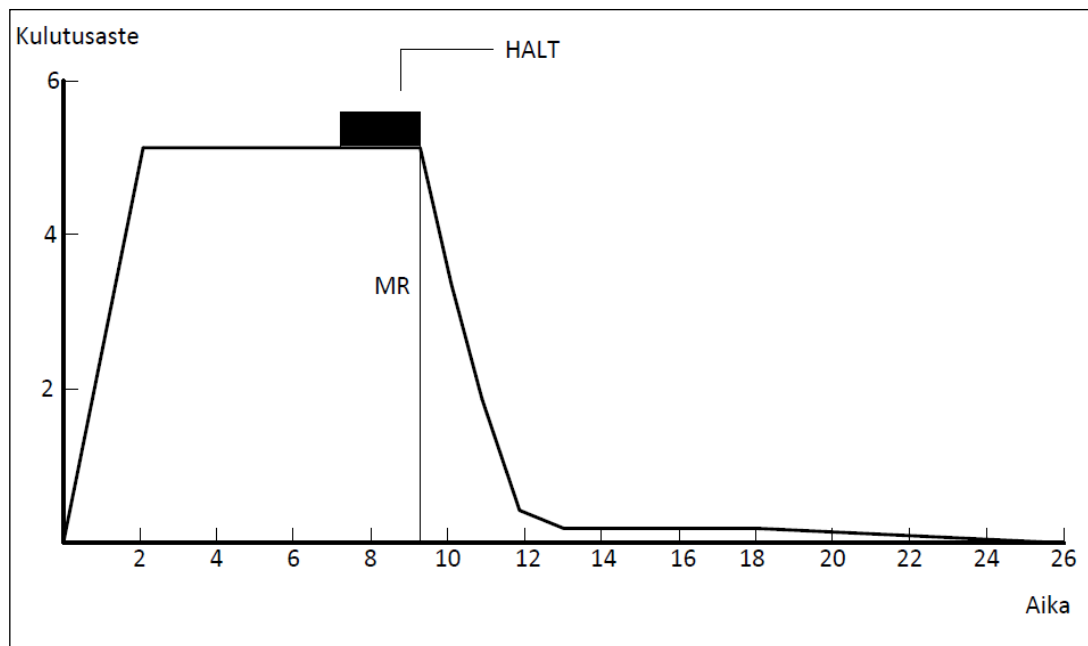


Kuva 13. Vanhan tuotesuunnittelumallin vaikutus kulutusasteeseen (13, s. 66)

Kun DVT-testejä on suoritettu tarpeeksi, ja viimeisin testi on suoritettu onnistuneesti hyvillä tuloksilla, tuotesuunnittelu lopetetaan ja tuotteen valmistus aloitetaan. Kuvassa 13 merkintä MR (*Manufacturing Release*) kuvaa tuotteen valmistuksen aloittamisen ajankohtaa.

Tässä vaiheessa tuotantoon on päästetty heikosti suunniteltu tuote. Tämän seurauksena laitteissa esiintyy kenttäolosuhteissa runsaasti vikoja, sillä suunnittelussa laitteen kestämyydestä aiheutuvia rajoitteita ei ole löydetty. Laittekannan ylläpitokustannukset ovat suuria, kun pienimarginaalista tuotetta korjailaan sen tuotantoeliniän aikana. Monesta syystä suunnitteluvirheitä tai laitteen kestämyyden rajoitteita ei ole korjattu sen jälkeen, kun tuote on päästetty valmistukseen. Näitä syitä ovat muun muassa: osien yhteensopimattomuus; suunnitteluvirheitä ei ole pystytty havaitsemaan tai työhön kuluneet kustannukset ovat liian suuria.

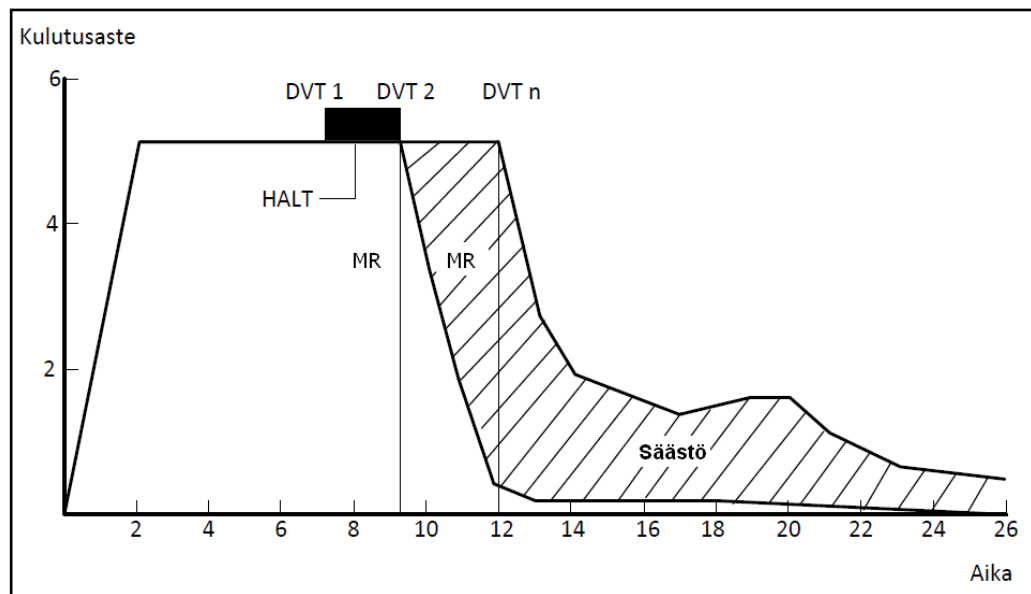
HALT-menetelmässä (kuva 14) ylikuormitustestit aloitetaan heti, kun prototyyppi on valmis testaukseen. Testaus aloitetaan paljon nopeammin kuin klassisessa testauksessa. Ongelmat löydetään ja korjataan nopeasti. Koska suunnitteluvaihe on vielä käynnissä testien aikana, tuote voidaan kehittää havaittujen vikojen perusteella kestävämmäksi. HALT-testauksessa suurin aktiviteetti löytyy muun muassa suunnittelupuolelta, testauslaboratoriosta, teknikoista, vikojen anylsoinnista sekä projektinjohdosta. Kulutusaste on tässä vaiheessa suunnittelua korkeampi HALT-menetelmässä kuin klassisessa menetelmässä. (13, s. 66–68.)



Kuva 14. HALT-menetelmän vaikutus kulutusasteeseen (13, s. 67)

Kun HALT-testi on suoritettu, valmiin testatun tuotteen valmistus voi alkaa. Tuotteen ollessa mahdollisimman hyvin testattu, ylläpitotöitä ja takuutöitä ei tarvitse tehdä merkittävästi. Tässä vaiheessa kustannukset laskevat nopeasti (ks. kuva 14). Kuvassa 15 (ks. seur. s.) nähdään klassisen testausmenetelmän ja HALT-testausmenetelmän vertailu. (13, s. 68.)

Vertailussa nähdään, että ajan kuluessa kulutusaste on klassisessa testausmenetelmässä suurempi kuin HALT-testausmenetelmässä. Klassisen menetelmän kulutusastetta lisää vielä myöhempien vikojen aiheuttamat kustannukset, joita HALT-testausmenetelmässä ei juurikaan ole.



Kuva 15. Klassisen testausmenetelmän sekä HALT-testausmenetelmän vertailu (13, s. 68)

## 6 HASS-menetelmä

HASS-menetelmää (*Highly Accelerated Stress Screening*) käytetään valmistuksessa olevien tuotteiden tarkkailuun. HASS-testeissä kuormitustasot ovat korkeampia, kuin normaaleissa olosuhteissa. Normaaleihin olosuhteisiin on lueteltu myös laitteiden varastointi ja kuljetus. (13, s. 77.)

### 6.1 HASS-menetelmän tehtävät

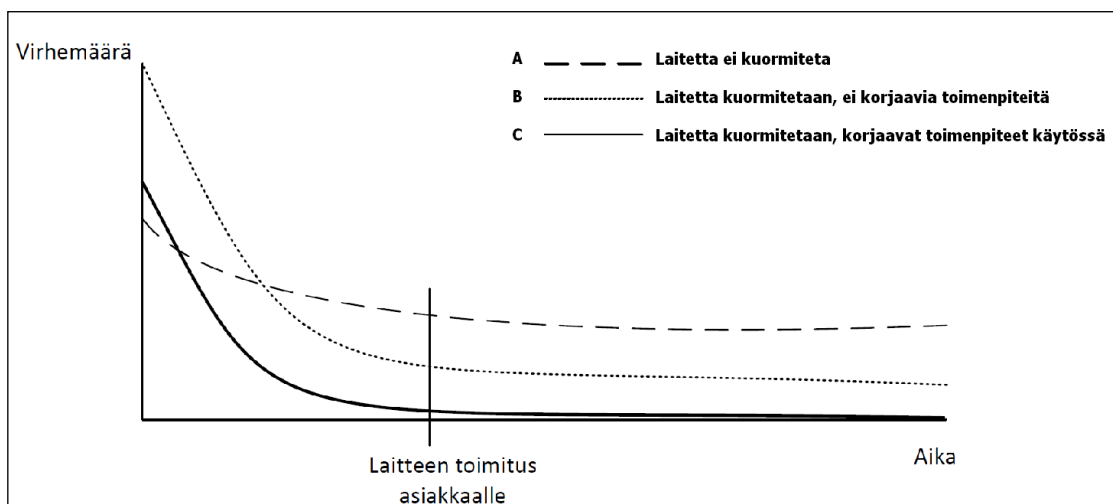
HASS-menetelmän tehtävä on

- oleellisten vikojen esiintyvyyksien kiihdyttäminen
- mahdollisimman monen vian havaitseminen minimikustannuksilla ja minimiajalla
- mahdollisten vikojen analysointi ja vikoihin tehtävät korjaavat toimenpiteet
- kenttäluotettavuuden nostaminen vähentämällä asiakkaille lähetettyjen viallisten laitteiden lukumäärää
- muun muassa tuotannon, tarkkailun ja ylläpidon kustannusten vähentäminen
- asiakkaan tyytyväisyyden nostaminen
- markkinointiosuuden nostaminen asiakkaiden tyytyväisyyden perusteella
- tuoton parantaminen tekemällä suurempia laite-eriä. (13, s. 80–81.)

## 6.2 Tarkkailun vaikutukset luotettavuuteen

Kun tarkkailua ei suoriteta, virheiden lukumäärä tehtaalla ja kentällä voidaan esittää kuvan 16 mukaisesti. Kuvasta huomataan, että virhemäärä kentällä on hyvin korkea. Jos tarkkailu on aloitettu ilman korjaavia toimenpiteitä, kuvaaja on kuvaajan B mukainen. Kuvaajan B mukaiset laitteet sisältävät vikoja, jotka on havaittu tuotannon aikana suoritetuissa tarkkailuissa. Monet näistä laitteista ehtii kuitenkin asiakkaan käyttöön, ja niissä ilmaantuu erityyppisiä vikoja.

Kun korjaavia toimenpiteitä tehdään, tuotteissa esiintyvien vikojen lukumäärä vähenee ajan mukana. Kuvassa 16 kuvaaja C esittää tämänkaltaista tilannetta, jossa korjaavat toimenpiteet ovat käytössä. C-käyrän kuvaajan tulisi ajan kuluessa lähestyä nollaa. Jos näin ei tapahdu, tuotetta joudutaan parantelemaan. Tällöin korjaaviin toimenpiteisiin olisi ryhdyttävä, kunnes käyrä lähestyy lopulta kohti nollaa. (13, s. 83–84.)



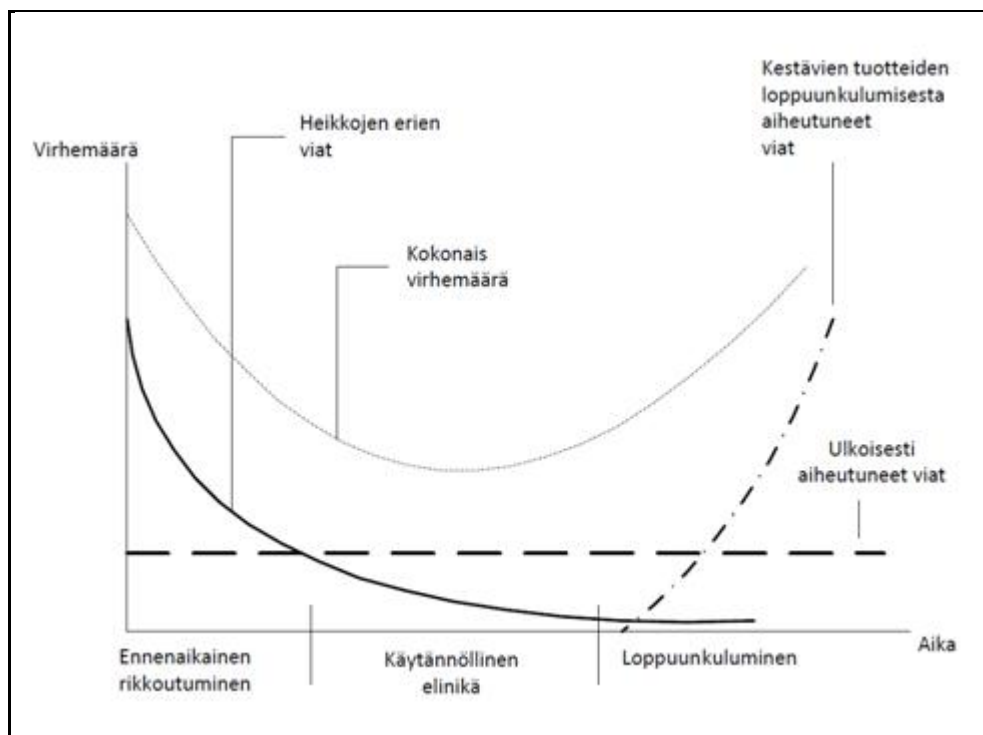
Kuva 16. Tarkkailun vaikutus virhemäärän esiintyvyyteen (13, s. 83)

Laitteissa kentällä ilmaantuvien vikojen esiintyvyyksiä esittäviä kuvaajia voidaan lähestyä kolmella eri tavalla. Kun valmistuneessa tuotteessa ilmenee suhteellisen paljon vakavia vikoja, se luokitellaan heikoksi tuotteeksi. Normaalin tuotteen käytännöllisen elinajan aikana virheitä aiheuttavat muun muassa laitteen liian suuret kuormitukset.

Normaali kestävä tuote kestää pidempään, ja lopuksi vanhetessaan siinä ilmenee loppuunkulumisesta aiheutuneita vikoja. Ennenaikaisen rikkoutumisen ja loppuunkulumisen välissä on laitteen yleinen käytännöllinen elinikä. Kylpyammekuvaajan ominainen

muoto saadaan, kun kaikki kuvaajat yhdistetään keskenään (ks. kuva 17). HALT- ja HASS-menetelmät vaikuttavat suoraan niin kutsutun kylpyammekuvaajan muotoon:

1. Tuotteen tarkkailu (HASS) vähentää virhemääriä ennenaikaisessa rikkoutumisessa, sillä jo valmistusvaiheessa tehdyssä laitteen tarkkailussa on voitu vaikuttaa mahdollisten laitteissa tapahtuvien häiriöiden aiheuttamiin vikoihin.
2. HALT-menetelmän ansiosta käyrän keskiosan virhemäärät ovat alhaisia.
3. HALT-menetelmän ansiosta laitteen loppuunkuluminen tapahtuu paljon myöhemmin. Laitteen kokonaiselinkä on siis korkeampi. (13, s. 3–4.)



Kuva 17. Kylpyammekuvaaja (13, s. 4)

### 6.3 POS- ja HASA-menetelmät

HASS-menetelmässä käytettyjä kuormitustasoja pyritään optimoimaan POS (*Proof Of Stress*) -menetelmän avulla. Testeissä käytettävät kuormitustasot eivät saa olla liian korkeita, jotta laite tuhoutuisi. Kuormitustasojen tulee olla mitoitettuja niin, että HASS-testeillä pystytään löytämään mahdolliset heikkoudet laitteistosta. (15.)

HASA (*Highly Accelerated Stress Audit*) on HASS-menetelmä, jossa testauksissa on otettu huomioon testattavien laitteiden näytemäärät (13, s.119). Tässä työssä suoritettut kiihdytetyt testit perustuvat HASA-menetelmään, jonka avulla voidaan suorittaa tuotannosta kerättäville taajuusmuuttajille kiihdytetty laaduntarkkailutesti.

## **7 Kestotestausprosessi**

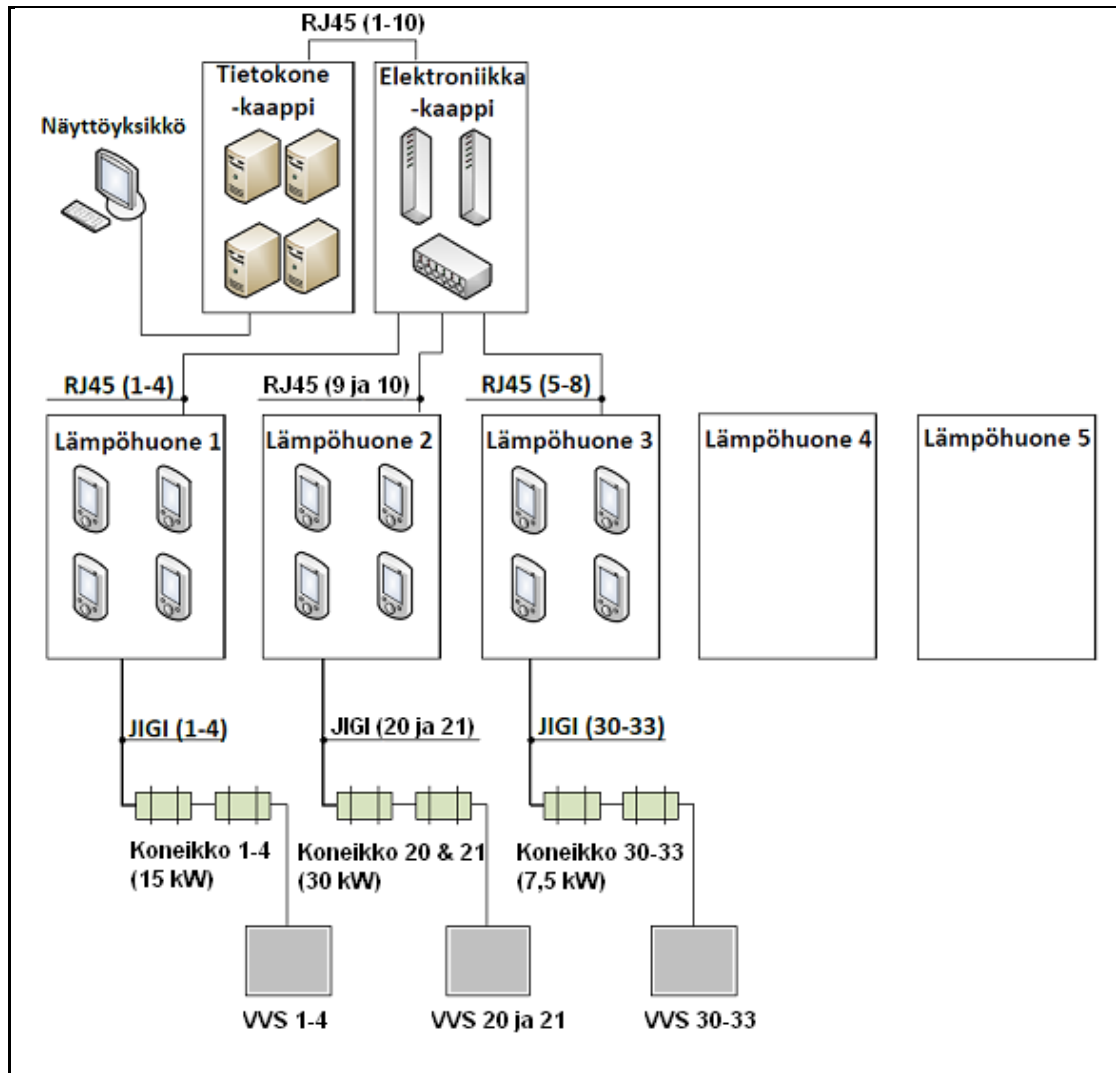
Kestotestausprosessissa tehdyillä kiihdytetyillä laaduntarkkailutesteillä pyritään paikallistamaan laitteiden mahdolliset heikkoudet, jotka voivat esiintyä asiakkaan käytössä kentällä. Mikäli testin aikana havaitaan tietyn valmistuserän laitteistoissa merkittäviä virheitä, voidaan kyseisen valmistuserän laitteiden toimitus asiakkaille estää. Kestotesteissä laitteiden rasitteena ovat korkea lämpötila, sekä kuormana toimivat oikosulkumoottorit.

### **7.1 Kestotestausjärjestelmän kuvaus**

Kuvassa 18 (ks. seur. s.) esitetään kestotestauslaboratorion kaapeloinnista esittävä periaatekaavio. Kestotestausjärjestelmä koostuu viidestä lämpöhuoneesta, joista kolmeen on asennettu moottori-generaattori-yhdistelmä. Generaattoreita ohjataan verkkoonjarruttavilla ACS800-mallin taajuusmuuttajilla (VVS).

Generaattorikytkentä toimii oikosulkumoottorin kuormakoneena. Generaattorin avulla voidaan säätää oikosulkumoottorin momenttia, jolloin testattavassa taajuusmuuttajassa virta  $I_2$  (moottorin ottama virta) kasvaa. Lämpöhuoneisiin sijoitettuja laitteita voidaan etäohjata tietokoneiden avulla. Tiedonvälitys on toteutettu RJ45-kaapeloinnilla. Lämpöhuoneiden 1 - 3 kytkentäkaaviot on esitetty liitteissä 1 - 3.





Kuva 18. Kestotestauslaboratorion kaapelointi

Näyttöyksikkö muodostuu 10 tietokonenäytöstä ja yhdestä palvelinkoneen näytöstä, jotka ovat yhteydessä tietokonekaappiin sijoitettuihin tietokoneisiin. Näytönohjauspaneelin ansiosta voidaan käyttää vain yhtä näyttöä. Jokainen yksittäinen tietokone ohjaa tiettyä verkkoonjarruttavaa taajuusmuuttajaa. Esimerkiksi tietokone 1:llä ohjataan VVS 1:tä. Elektroniikkakaappin on sijoitettu tiedonvälitykseen käytettäviä muuntimia sekä erottimia.

Kuvassa 19 (ks. seur. s.) nähdään lämpöhuoneet. Lämpöhuoneiden yläpuolella olevat valot varoittavat sähköjen kytkennöistä. Sähköt on katkaistu, mikäli vihreä valo palaa.



Kuva 19. Lämpöhuoneet

Moottorikuormitukset muodostuvat moottori-generaattori-yhdistelmistä, jotka on kytetty verkkoonjarruttaviin ACS800-taajuusmuuttajiin (kuva 20).



Kuva 20. Verkkoonjarruttavat taajuusmuuttajat sekä moottorikuormat

Laitteita ohjataan testisekvensseillä tietokoneiden avulla. Sekvenssit ovat tiedostoja, joihin kirjoitetaan taajuusmuuttajan parametriarvoja. Liitteessä 4 esitetään ACS355-03E-08A8-4-mallin taajuusmuuttajassa käytettävä testisekvenssi.

Mittaustulokset tallentuvat palvelinkoneelle, josta voidaan myöhemmin hakea mittaus- tulokset niiden analysointia varten. Kuvassa 21 esitetään tietokoneyksikkö.



Kuva 21. Tietokoneyksikkö

## 7.2 Tuotannosta kerättävien näytteiden lukumäärä

Taajuusmuuttajien valmistuserästä otetaan tietty määrä näytekappaleita, joille suoritetaan kiihdytetty laaduntarkkailutesti. Näytekappaleiden lukumäärän perusteella voidaan laatia niille ominainen testi. Näytekappaleiden lukumäärää määriteltäessä on aluksi selvitettävä Arrheniuksen eliniän kiihdytyskerroin. Tämä voidaan laskea yhtälön (2: s. 8) avulla. Tässä yksinkertaistetussa esimerkkitilanteessa on otettu huomioon vain testiolosuhteiden alku- sekä loppulämpötila.

Alkulämpötilan  $T_1$  arvona voidaan pitää huoneen lämpötilaa  $20\text{ °C}$ . Valitaan ylimmäksi testauslämpötilaksi  $T_2 = 70\text{ °C}$ .

Yhtälön (2) avulla saadaan kiihdytyskertoimeksi

$$A = e^{\left(\frac{E_a}{k}\right) \cdot \left[\left(\frac{1}{T_1}\right) - \left(\frac{1}{T_2}\right)\right]}$$

$$A = e^{\left(\frac{0,8}{8,62 \cdot 10^{-5} \frac{eV}{K}}\right) \cdot \left[\left(\frac{1}{273+20}\right) - \left(\frac{1}{273+70}\right)\right]}$$

$$A = 101,223 \approx 101$$

Laitteen ollessa kuusi vuotta kentällä, on tarvittava testiaika lämpöhuoneessa

$$\text{Kiihdytetty testiaika} = \frac{6 \cdot 365 d}{101,223} = 21,635 d \approx 22 \text{ päivää} \quad (5)$$

Yllä olevan laskutoimituksen perusteella saatiin siis kentällä olevaa kuutta vuotta vastaava kiihdytetty testiaika lämpöhuoneessa, joka on 22 päivää.

Tämän jälkeen voidaan laskea tarvittavien testikappaleiden näytemäärä.

Näytemäärä voidaan laskea seuraavalla menetelmällä:

99 %:n luotettavuudella (R), 50 %:n varmuudella (C) näytemäärä on

$$\text{Näytemäärä} = \frac{\ln(1 - C)}{\ln(R)} \quad (6)$$

$$\text{Näytemäärä} = \frac{\ln(1 - 0,5)}{\ln(0,99)}$$

$$\text{Näytemäärä} = 68,967 \approx 69 \text{ kappaletta}$$

Kun näytemäärää halutaan supistaa, joudutaan määrittelemään uusi testiaika. Valitaan uudeksi näytemääräksi 12 kappaletta.

$$Uusti\ testiaika = Kiihdytett\ y\ testiaika \cdot \left( \frac{näytemäärä}{uusi\ näytemäärä} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (7)$$

$\beta$  on weibull-jakauman muotoparametri (elektroniikassa 2,0).

$$Uusti\ testiaika = 21,635\ d \cdot \left( \frac{68,967\ kpl}{12\ kpl} \right)^{\frac{1}{2}} = 51,866\ d \approx 52\ päivää$$

Testiaika jouduttiin siis nostamaan 52 päivään, kun näytekappaleiden lukumäärä haluttiin supistaa 12 kappaleeseen.

### 7.3 Testattavien laitteiden sijoittelu lämpöhuoneisiin

Tuotannosta kerätyt näytekappaleet testataan lämpöhuoneessa, jossa lämpötilaa ohjataan kiukaan avulla. Lämpöhuoneita on viisi kappaletta, joissa kolmessa voidaan kuormittaa testattavia laitteita moottorien avulla. Kuvassa 22 neljä testattavaa laitetta on kytketty moottorikuormitukseen ja loput testattavat laitteet on kytketty tyhjäkäyntiin. Virransyöttö voidaan toteuttaa ketjuttamalla tyhjäkäynnissä olevat laitteet.



Kuva 22. Testattavien laitteiden sijoittelu

Testattavia laitteita tilataan eri toimittajilta. Laitteiden sijoittelussa tämä voidaan huomioida sijoittamalla eri toimittajilta saadut testattavat laitteet samalle tasolle. Mikäli testien aikana havaitaan laitteissa tapahtuvia vikoja, voidaan ne paikallistaa tietyn toimittajan laitteisiin ja verrata testituloksia toisen toimittajan toimittamien laitteiden testituloksiin.

Kuvassa 23 nähdään laitteiden sarjanumerot, jotka voidaan myöhemmin syöttää palvelinkoneen testihakemistoon.



Kuva 23. Laitteiden sarjanumerointi

Testeissä ympäristön lämpötila voidaan asettaa 70 °C:een. Lämpötilan ohjaus tapahtuu kosketusnäytöllisellä ohjausyksiköllä (ks. kuva 24, seur. s.), joka ohjaa kiukaan lämmitystä. Lämpötilan ohjausjärjestelmä on totetutettu niin, että lämpötilan asetteluarvoa voidaan muuttaa sekä manuaalisesti että automaattisesti.

Kun järjestelmään asetetaan oletuslämpötila, järjestelmä pyrkii automaattisesti säätämään lämpötilaa korkeammaksi tai matalammaksi, mikäli lämpötilan arvo muuttuu testien aikana. Lämpöhuoneissa lämmönjakautuminen on epätasaista, joten lämpöhuoneen nurkkapisteissä lämpötila saattaa olla korkeampi kuin muualla. Lämpötilan tarkkailu on toteutettu asentamalla lämpöhuoneen kattoon anturi.



Kuva 24. Lämpötilan ohjausyksikkö ja 2,3 kW:n kiuas

Mikäli toimittajalta on tilattu samantehoisia laitteita esimerkiksi 12 kappaletta, voitaisiin neljään laitteeseen kytkeä moottorit, ja loput kahdeksan voisivat olla tyhjäkäynnissä noin 13 päivää. Moottorikuormitukseen kytketyt laitteet voidaan 13 päivän jälkeen tarkistaa. Samalla voidaan todeta testien luotettavuus. Tämän jälkeen tyhjäkäynnissä olleet laitteet kytketään moottoreihin, muut kahdeksan laitetta kytketään tyhjäkäyntiin ja testin annetaan jatkua 13 päivää. Sama toistetaan, kunnes jokainen laite on testattu moottorikuormituksella. Testin loputtua tarkistetaan laitteiden toimivuus.

Mikäli kaikki lämpöhuoneet ovat vapaana, voidaan valita 10 laitetta (osa eritehoisia), joista jokaista kuormitetaan noin 57 päivän ajan. Testiaikaa on mahdollista vähentää, mikäli lämpöhuoneiden lämpötilaa nostetaan.

Taulukosta 1 (ks. seur. s.) nähdään, mihin lämpöhuoneeseen testattavat laitteet voidaan sijoittaa ja mitä testisekvenssiä niissä käytetään. Mikäli testattavasta laitteesta testataan digitaaliset sisääntulot ja analogiset ulos- sekä sisääntulot, käytetään sekvenssiä, jonka loppuosa on DI\_AI.

Mikäli testiaikojä halutaan muokata, joudutaan asettamaan uusi arvo testisekvenssistä löytyvään *LOOP FUNCTION* -kohtaan. Yksi testikierto on 10 minuuttia, jolloin *LOOP FUNCTION* -arvo 144 vastaa 24 tuntia.

Taulukko 1. Lämpöhuoneen ja testisekvenssin valinta

Lämpöhuoneen numero	Laitetyyppi	Testisekvenssi
1	03x-07A3-4	ACS355-03E-07A3-4
	03x-8A8-4	ACS355-03E-08A8-4
2	03x-12A5-4	ACS355-03E-12A5-4
	03x-15A6-4	ACS355-03E-15A6-4
3	03x-23A1-4	ACS355-03E-23A1-4
	03x-31A0-4	ACS355-03E-31A0-4
	03x-38A0-4	ACS355-03E-38A0-4

#### 7.4 Kiihdytetyn laaduntarkkailutestin testitulokset

Kiihdytetyn laaduntarkkailutestin alussa laskettiin testille kiihdytyskerroin. Ympäristön lämpötilaksi asetettiin 60 °C. Yhtälön (2) mukaisesti kiihdytyskerroimeksi saatiin

$$A = e^{\left(\frac{E_a}{k}\right) \left[ \left(\frac{1}{T_1}\right) - \left(\frac{1}{T_2}\right) \right]}$$

$$A = e^{\left(\frac{0,8}{8,62 \cdot 10^{-5} \frac{\text{eV}}{\text{K}}}\right) \left[ \left(\frac{1}{273+20}\right) - \left(\frac{1}{273+60}\right) \right]}$$

$$A = 44,915 \approx 45$$

Testissä kahta vuotta kenttäolosuhteissa vastaava aika laboratorioissa laskettiin yhtälön (5) mukaisesti. Kiihdytetty testiaika oli

$$\text{Kiihdytetty testiaika} = \frac{2 \cdot 365 \text{ d}}{44,915} = 16,252 \text{ d} \approx 16 \text{ päivää}$$



99 %:n luotettavuudella (R), 50 %:n varmuudella (C) näytemääräksi saatiin yhtälön (6) avulla

$$Näytemäärä = \frac{\ln(1 - C)}{\ln(R)}$$

$$Näytemäärä = \frac{\ln(1 - 0,5)}{\ln(0,99)}$$

$$Näytemäärä = 68,967 \approx 69 \text{ kappaletta}$$

Tuotannosta tilattiin 16 kappaletta ACS355-taajuusmuuttajia, joista kuusi kappaletta oli 3 kW:n ACS355-03E-07A3-4-tyyppisiä laitteita ja loput 10 kappaletta 4 kW:n ACS355-03E-08A8-4-tyyppisiä laitteita. Koska näytekappalemäärää supistettiin, jouduttiin määrittelemään uusi testiaika. Yhtälön (7) avulla uudeksi testiajaksi saatiin:

$$Uusi\ testiaika = 16,252\ d \cdot \left( \frac{68,967\ kpl}{16\ kpl} \right)^{\frac{1}{2}} = 33,74\ d \approx 34\ päivää$$

Laitteet sijoitettiin lämpöhuoneeseen, jossa neljää laitetta kuormitettiin 8,5 päivän ajan moottorikuormituksessa. Muut 12 näytekappaletta asennettiin tyhjäkäyntiin. 8,5 päivän jälkeen moottorikuormituksessa olleet laitteet kytkettiin tyhjäkäyntiin, ja moottorikuormitukseen kytkettiin aiemmin tyhjäkäynnissä olleet neljä laitetta.

Moottorikuormituksessa olleille laitteille syötettiin testisekvenssi, jossa 9 minuutin ajan laitetta kuormitettiin nimellisellä virralla (100 %:n kuormitus) ja minuutin ajan 50 %:n ylivirralla (150 %:n kuormitus).

Testissä huomattiin, että testisekvenssin kuormakoneen momenttiarvon muuttaminen liian suureksi aiheutti ohjelmistossa ja laitteistoissa mittausvirheitä. Tyypillisiä virheitä olivat taajuusmuuttajan virran rajoittaminen vakioarvoon sekä 100 %:n että 150 %:n kuormituksilla ja moottorin kierrosnopeuden laskentavirheet.

Testisekvenssiin syötetyissä momenttiarvoissa, joiden avulla voidaan säätää taajuusmuuttajan virran  $I_2$  arvoa, tulee huomioida tietyt testimarginaalit. Testisekvensseissä on siis 100 % virran arvona käytetty noin 90 % - 95 % testattavan laitteen nimellisvirrasta ja 150 % kuormituksen virran arvona on käytetty noin 120 % - 140 % virran arvoa.

Testissä ABB:n LabSOL-ohjelma ei toiminut halutulla tavalla. Ohjelmassa ilmaantui useasti *Tester Error* -tyyppisiä virheilmoituksia, jotka jouduttiin kuittaamaan ohjelmassa manuaalisesti. Virheilmoituksia ilmaantui toistuvasti noin kahden päivän välein jokaisessa moottorikuormituksessa olleessa laitteessa. Virheilmoituksen tyyppi oli useasti erilainen, mikä viittaisi kommunikointivirheisiin laitteen ja ohjattavan tietokoneen välillä.

Testin aikana ei kuitenkaan yhdessäkään testattavassa laitteessa ilmaantunut sisäisiä virheitä. Taulukossa 2 esitetään ote yhden moottorikuormituksessa olleen laitteen mitaustuloksista.

Taulukko 2. Ote kiihdytetyn laaduntarkkailutestin testituloksista

Nimi	Arvo	Aika	Nimi	Arvo	Aika
fault 150%	0	Maa 18 2011 12:52	fault 150%	0	Maa 18 2011 01:02
speed 150%	1469 rpm	Maa 18 2011 12:52	speed 150%	1470 rpm	Maa 18 2011 01:02
torque 150%	69,10 %	Maa 18 2011 12:52	torque 150%	70,10 %	Maa 18 2011 01:02
temperature 150%	114,5 °C	Maa 18 2011 12:52	temperature 150%	111,7 °C	Maa 18 2011 01:02
current 150%	11,7 A	Maa 18 2011 12:52	current 150%	11,6 A	Maa 18 2011 01:02
UDC 150%	53,5 V	Maa 18 2011 12:52	UDC 150%	53,8 V	Maa 18 2011 01:02
fault 100%	0	Maa 18 2011 12:51	fault 100%	0	Maa 18 2011 01:01
speed 100%	1482 rpm	Maa 18 2011 12:51	speed 100%	1482 rpm	Maa 18 2011 01:01
torque 100%	41,80 %	Maa 18 2011 12:51	torque 100%	41,60 %	Maa 18 2011 01:01
temperature 100%	100 °C	Maa 18 2011 12:51	temperature 100%	97,6 °C	Maa 18 2011 01:01
current 100%	8,3 A	Maa 18 2011 12:51	current 100%	8,2 A	Maa 18 2011 01:01
UDC 100%	54,1 V	Maa 18 2011 12:51	UDC 100%	54,1 V	Maa 18 2011 01:01

Taulukossa 2 nähdään kaksi 9 minuutin ja 1 minuutin testikiertoa. Sekä 100 %:n että 150 %:n kuormituksilla mitattiin moottorin pyörimisnopeus, momenttiarvo (%), IGBT-transistorin lämpötila, virran  $I_2$  arvo sekä välipiirin (UDC) jännite. Fault-nimikkeen arvo 0 kertoo, että laitteessa ei ole tapahtunut sisäisiä virheitä.

## 8 Käytännön ohjeistus laboratoriotyöskentelyyn

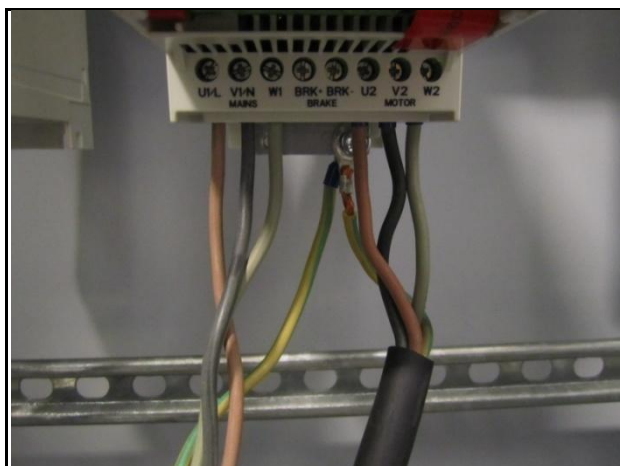
Sivulla 34 on esitetty taulukko, josta tarkistetaan, mihin lämpöhuoneeseen testattava laite voidaan sijoittaa. Ennen kytkentöjen tekemistä lämpöhuoneen yläpuolella olevan merkkilampun tulee palaa vihreänä!

1. Irrotetaan EMC-ruuvi testattavasta laitteesta.



Kuva 25. EMC-ruuvi

2. Asetetaan laitteet lämpöhuoneeseen ja kytketään syöttökaapelit testattaviin laitteeseen. Maadoituksesta on huolehdittava!



Kuva 26. *MAINS*- ja *MOTOR* -liitännät

3. RJ45-kaapelit kytketään moottorikuormituksessa oleviin laitteisiin.



Kuva 27. RJ45-kaapelointi

4. I/O-liitännät tehdään tarvittaviin laitteisiin. Asetetaan S1-kytkimet (valkoiset kytkimet) yläasentoon (kuva 28).



Kuva 28. I/O-liitännät

Johdotus I/O-liitännöissä on seuraava:

Selitys: I/O-liitäntä:

AO → AI2: 7 → 5

Maadoitus: 10 → 11

RONC: 13 → 15 → 18

RONO: 14 → 16 → 19

5. Tyhjäkäynnissä olevat laitteet ketjutetaan.



Kuva 29. Tyhjäkäynnissä olevien laitteiden virransyötön ketjutus

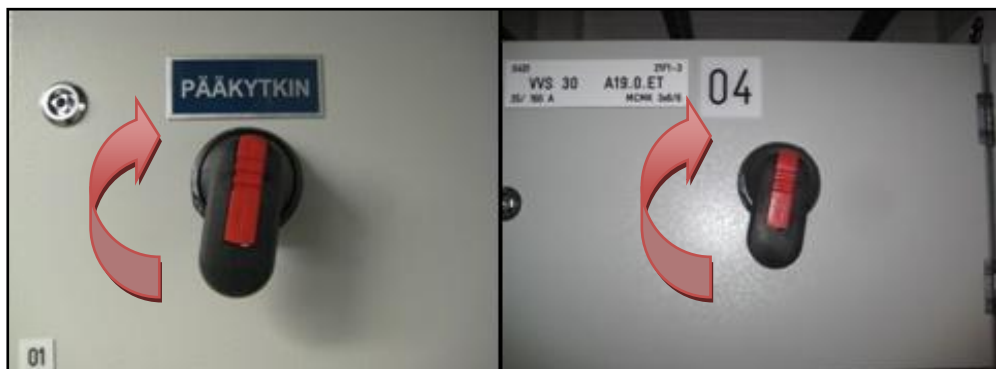
Maadoitusjohtimet on myös ketjutettava. Maadoitusjohtimet kytetään ennen virransyöttökaapelointia.

- 6 Kytetään syöttökaapelit.



Kuva 30. Syöttökaapelointi

7. Kytetään sähköt päälle lämpöhuoneen takana löytyvästä sähkökaapista. Tarkistetaan, että VVS-sähkökaapissa (verkkoon jarruttavat taajuusmuuttajat) on myös sähköt kytketty.



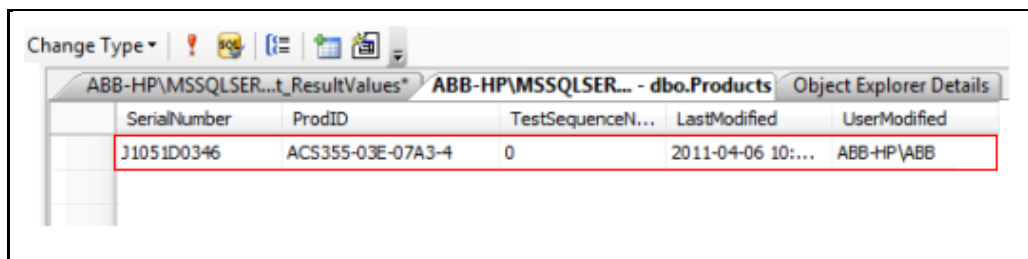
Kuva 31. Pääkytkimet

8. Asetetaan lämpötila 70 °C:een lämpötilan ohjausyksiköstä (lämpöhuoneen takana).



Kuva 32. Lämpötilan ohjaus

9. Avataan palvelinkone (serverikone) ja luodaan SQL-ohjelman *Products*-välilehdelle testattavalle laitteelle testihakemisto. Testihakemiston nimenä käytetään testattavan laitteen sarjanumeroa esim. J1051D0346. Sarjanumeron tulee olla minimissään 10 merkkiä. SQL-ohjelman *ProdID*-kohtaan kirjoitetaan laitetyyppi (esim. ACS355-03E-07A3-4).



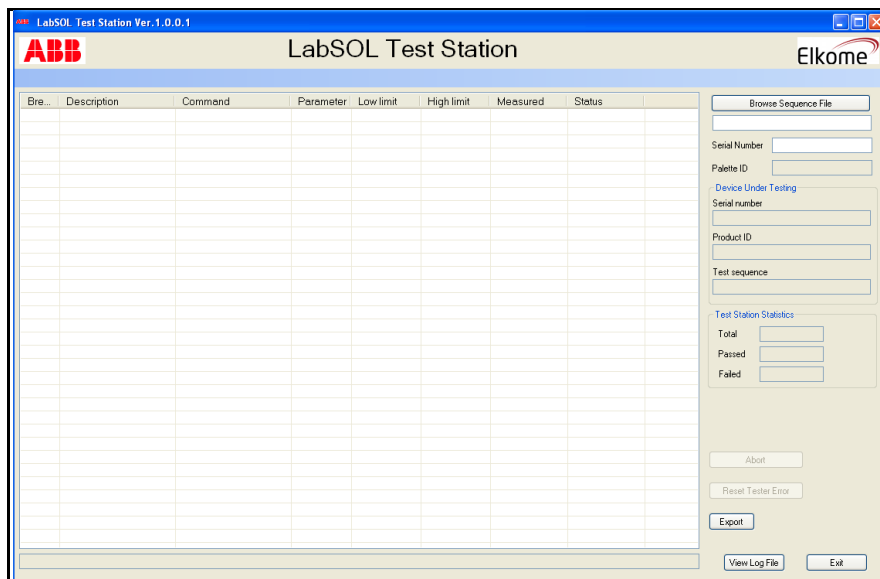
Kuva 33. Microsoft SQL-ohjelma ja *Products*-välilehti

10. Avataan testattavaa laitetta ohjaavan tietokoneen näyttö. Testikoneen näyttö voidaan avata näytönohjauspaneelin avulla (kuva 34).



Kuva 34. Näytönohjauspaneeli

11. Avataan ABB LabSOL -ohjelma. Haetaan testisekvenssi painamalla *Browse Sequence file*. Sekvenssit löytyvät kansioista: *Työpöytä/share\_folder on Abb-hp/sequence folder /ACS355 sekvenssikirjasto/sekvenssin nimi*. *Serial Number*-kohtaan kirjoitetaan palvelinkoneelle luodun testihakemiston nimi (esim. J1051D0346). Ohjelma käynnistetään painamalla ENTERiä.



Kuva 35. ABB LabSOL-ohjelma



12. Kun ohjelma on ajettu loppuun, voidaan hakea testitulokset palvelinkoneelta. Palvelinkoneelta avataan SQL-ohjelman *Test Result Values* -välilehti (ks. kuva 36).

The screenshot shows the SQL Server Enterprise Manager interface. The top pane displays the 'Test Result Values' table configuration with columns: ID, SerialNumber, SequenceNumber, ParameterName, Value, Low, High, LastModified, and UserModified. The bottom pane shows the SQL query and its results.

SELECT TOP (1000) ID, SerialNumber, SequenceNumber, ParameterName, Value, Low, High, LastModified, UserModified  
FROM Test\_ResultValues  
WHERE (SerialNumber = 'ACS355 4kw')  
ORDER BY LastModified DESC

ID	SerialNumber	SequenceNumber	ParameterName	Value	Low	High	LastModified	UserModified
5412	ACS355 4kw	12	fault 100%	0	NULL	NULL	Feb 17 2011 11:14AM	ABB-LABSOL005
5413	ACS355 4kw	12	speed 100%	1484	NULL	NULL	Feb 17 2011 11:14AM	ABB-LABSOL005
5414	ACS355 4kw	12	torque 100%	384	NULL	NULL	Feb 17 2011 11:14AM	ABB-LABSOL005
5415	ACS355 4kw	12	temperature 100%	623	NULL	NULL	Feb 17 2011 11:14AM	ABB-LABSOL005
5416	ACS355 4kw	12	current 100%	81	NULL	NULL	Feb 17 2011 11:14AM	ABB-LABSOL005
5417	ACS355 4kw	12	UDC 100%	540	NULL	NULL	Feb 17 2011 11:14AM	ABB-LABSOL005
5418	ACS355 4kw	12	fault 150%	0	NULL	NULL	Feb 17 2011 11:14AM	ABB-LABSOL005
5419	ACS355 4kw	12	speed 150%	1479	NULL	NULL	Feb 17 2011 11:14AM	ABB-LABSOL005
5420	ACS355 4kw	12	torque 150%	482	NULL	NULL	Feb 17 2011 11:14AM	ABB-LABSOL005
5421	ACS355 4kw	12	temperature 150%	641	NULL	NULL	Feb 17 2011 11:14AM	ABB-LABSOL005
5422	ACS355 4kw	12	current 150%	92	NULL	NULL	Feb 17 2011 11:14AM	ABB-LABSOL005
5423	ACS355 4kw	12	UDC 150%	538	NULL	NULL	Feb 17 2011 11:14AM	ABB-LABSOL005
5388	ACS355 4kw	12	fault 100%	0	NULL	NULL	Feb 17 2011 11:13AM	ABB-LABSOL005
5389	ACS355 4kw	12	speed 100%	1484	NULL	NULL	Feb 17 2011 11:13AM	ABB-LABSOL005
5390	ACS355 4kw	12	torque 100%	382	NULL	NULL	Feb 17 2011 11:13AM	ABB-LABSOL005
5391	ACS355 4kw	12	temperature 100%	545	NULL	NULL	Feb 17 2011 11:13AM	ABB-LABSOL005
5392	ACS355 4kw	12	current 100%	81	NULL	NULL	Feb 17 2011 11:13AM	ABB-LABSOL005
5393	ACS355 4kw	12	UDC 100%	543	NULL	NULL	Feb 17 2011 11:13AM	ABB-LABSOL005
5394	ACS355 4kw	12	fault 150%	0	NULL	NULL	Feb 17 2011 11:13AM	ABB-LABSOL005
5395	ACS355 4kw	12	speed 150%	1479	NULL	NULL	Feb 17 2011 11:13AM	ABB-LABSOL005
5396	ACS355 4kw	12	torque 150%	482	NULL	NULL	Feb 17 2011 11:13AM	ABB-LABSOL005
5397	ACS355 4kw	12	temperature 150%	577	NULL	NULL	Feb 17 2011 11:13AM	ABB-LABSOL005
5398	ACS355 4kw	12	current 150%	91	NULL	NULL	Feb 17 2011 11:13AM	ABB-LABSOL005
5399	ACS355 4kw	12	UDC 150%	541	NULL	NULL	Feb 17 2011 11:13AM	ABB-LABSOL005
5400	ACS355 4kw	12	fault 100%	0	NULL	NULL	Feb 17 2011 11:13AM	ABB-LABSOL005

Kuva 36. Microsoft SQL ja *Test Result Values* -välilehti

13. Testin loputtua suljetaan ohjelmat, katkaistaan sähköt lämpöhuoneista ja puretaan kytkentä. Testitulokset voidaan kopioida *Test Result Values* -välilehdeltä ja siirtää excel-tiluukkoon. Excel-tiluukon testituloksista voidaan luoda pivot-tiluukko.

## 9 Yhteenveto

Tässä insinööriyössä oli tarkoitus esittää toimiva kestoprosessi ACS355-taajuusmuuttajille sekä laatia ohjeistus laboratoriotyöskentelyyn. Testauksissa laitteille kohdistuvia rasitteita olivat korkea lämpötila sekä moottori-generaattori-kuormitus.

Testisekvenssien suunnittelussa havaittiin, että tietyillä momenttikuormituksen arvoilla testitulokset vääristyivät. Tämä korjattiin yksinkertaisesti pienentämällä nimellisiä testausarvoja.

Testauksissa puolestaan huomattiin, että testattavien laitteiden ohjausyksikön ohjelmistossa ilmaantui toistuvasti virheitä. Ilman virheiden kuittausta ja testisekvenssien uudelleenajoa kestoprosessiohjelma pysähtyy, mutta testattava laite sekä moottorit jatkavat toimintaansa. Tämä voi olla testattavalle laitteelle haitallista, jos ohjelmistovirhe tapahtuu testikierron 150 % kuormituksen kohdalla. Testeissä testattavat taajuusmuuttajat puolestaan toimivat erinomaisesti, eikä niissä ilmaantunut virheitä.

Prosessissa käytettävään ABB LabSOL -ohjelmaan voitaisiin kehittää automaattinen virheenkuittaustoiminto, jossa virheet kirjoitettaisiin palvelinkoneen muistiin. Kestoprosesseissa lämpötilan rampit (laskut ja nousut) rasittavat testattavia laitteita tehokkaasti, joten LabSOL-ohjelmaan ja lämpötilan ohjausyksikköön voitaisiin luoda toiminto, joka mahdollistaisi lämpötilan ohjauksen ohjelman kautta.

Nykyisin testituloksia voidaan tarkastella vain laboratoriossa. Mikäli palvelinkone yhdistettäisiin ABB:n sisäiseen verkkoon, voitaisiin tuloksia tarkastella omalta työpisteeltä. Tämä edellyttää SQL-ohjelman asentamista työpisteen koneelle.

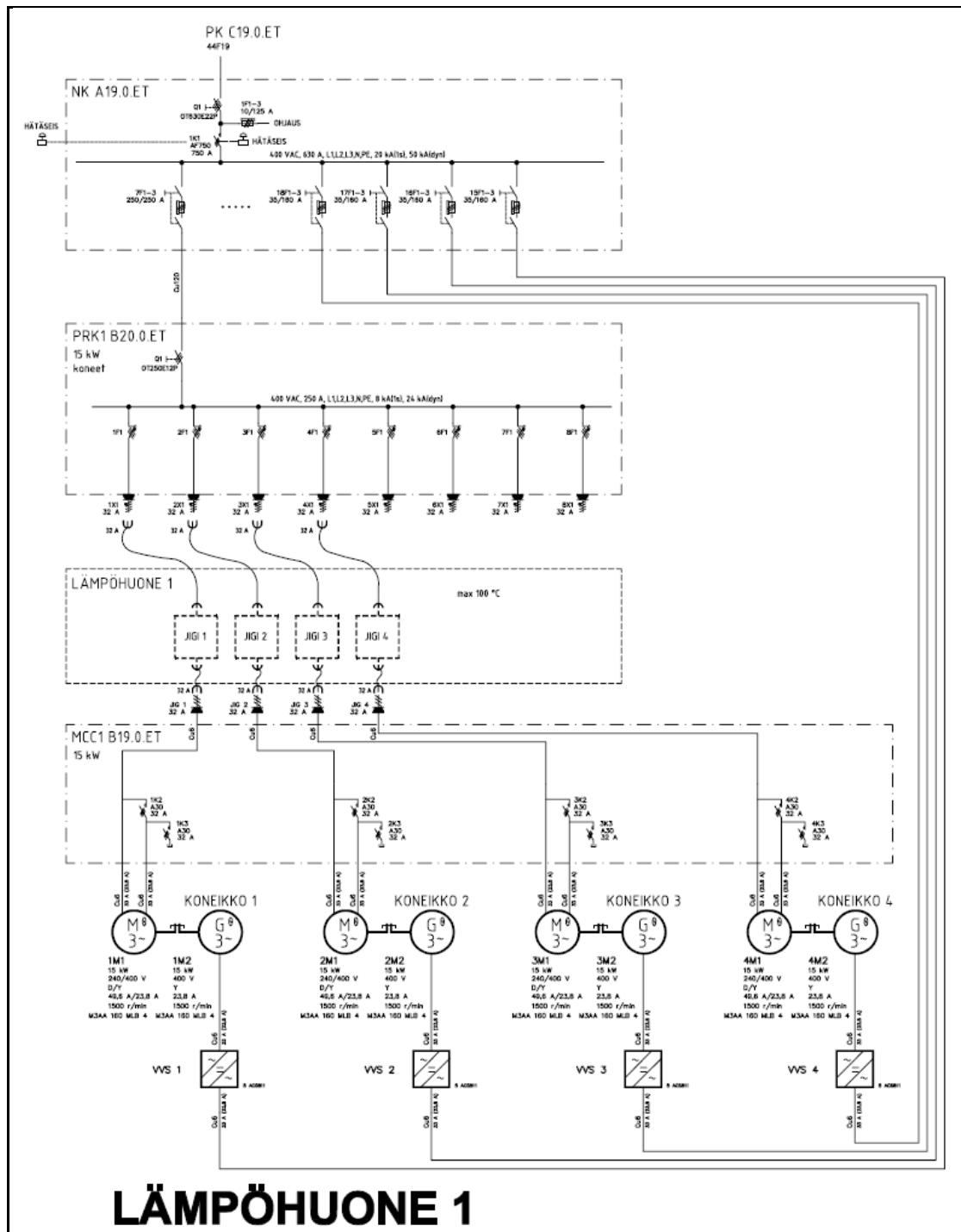
Tässä työssä laadittua kestoprosessin suunnitelmaa sekä laboratoriotyöskentelyn ohjeistusta voidaan hyödyntää myöhemmissä kestoprosesseissa. Prosessissa käytettävien testisekvensseihin voidaan tarvittaessa tehdä muutoksia, mikäli testattavien laitteiden virtojen arvot ovat liian alhaisia.

## Lähteet

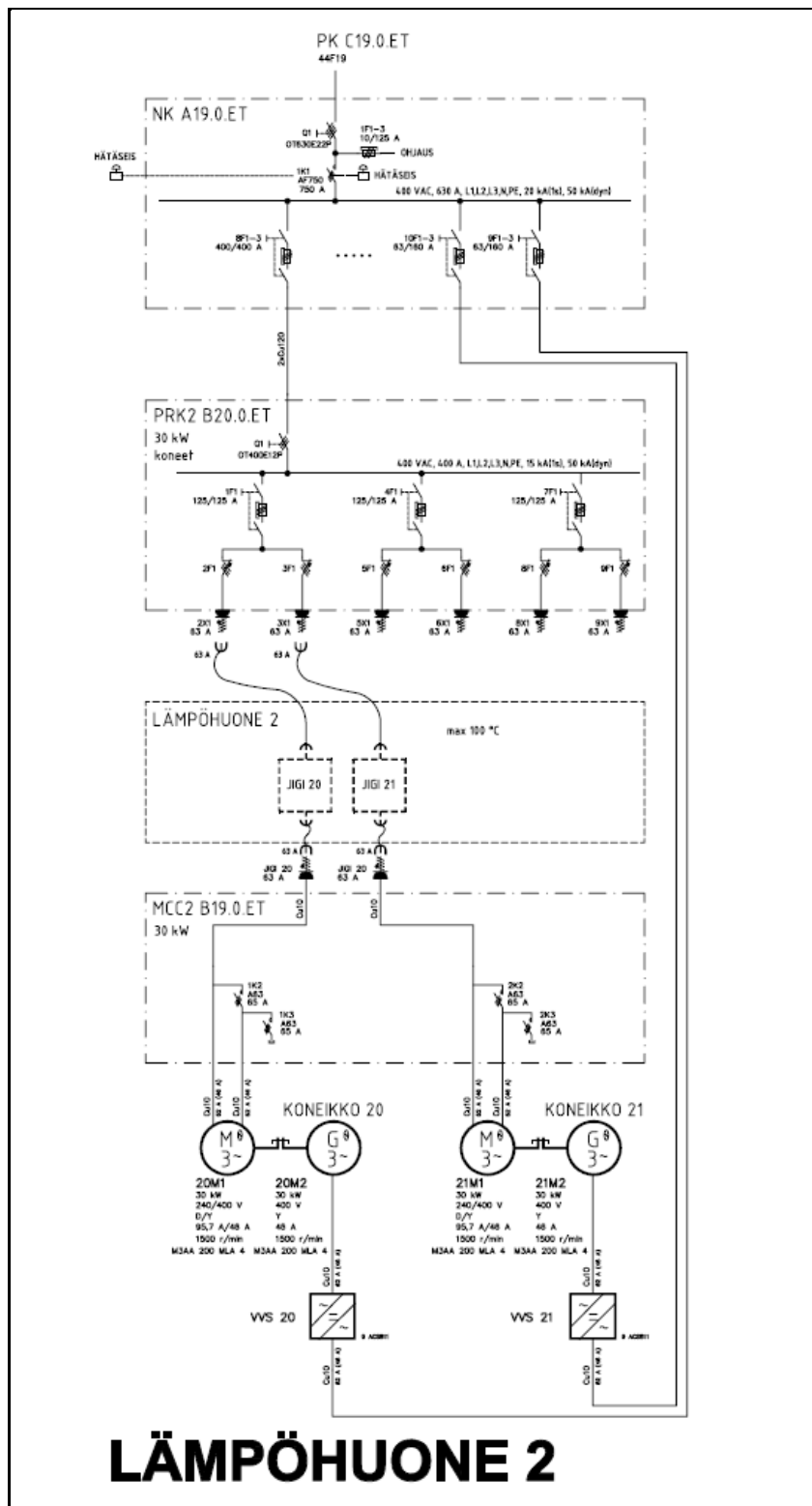
- 1 Taajuusmuuttaja kansankielellä, ABB Oy. Power Point -esitelmä.
- 2 Hedman, Antti. 2009. Taajuusmuuttajat. Verkkodokumentti.  
<<http://www.pkky.fi/Resource.phx/pkky/projektit/taitaja-osaaminen/sahko.htx.i2025.pdf>>. 9.11.2009. Luettu 4.1.2011.
- 3 ABB OY. User's manual ACS 355 Drives. Helsinki, 2010.
- 4 Tutkimusraportti. 2009. Verkkodokumentti. VTT.  
<<http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2009/TAMU-loppuraportti.pdf>>. Luettu 10.1.2011.
- 5 ABB TTT-käsikirja luku 16. 2000. Verkkodokumentti. ABB Oy.  
<[http://www300.abb.com/global/gad/gad00092.nsf/0/68413b4d9d9a2ffdc12574880023f98d/\\$file/160\\_0007.pdf](http://www300.abb.com/global/gad/gad00092.nsf/0/68413b4d9d9a2ffdc12574880023f98d/$file/160_0007.pdf)>. Luettu 2.2.2011.
- 6 Sähköinen jarrutus. 2001. Verkkodokumentti. ABB Oy.  
[http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/2e30f9c0e2d07b9ac1256d28004152df/\\$File/Tekninen\\_opasnro8.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/2e30f9c0e2d07b9ac1256d28004152df/$File/Tekninen_opasnro8.pdf). Luettu 7.2.2011.
- 7 Nelson, Wayne. 1989. Accelerated testing, Statistical Models, test Plans and data analysis. Canada: John Wiley & Sons Ltd.
- 8 Accelerated Testing.  
<<http://www.theriac.org/DeskReference/viewDocument.php?id=61>>. Luettu 10.2.2011.
- 9 Karjalainen, Petteri.2005. Insinööriyö, Kiihdytetty testaus taajuusmuuttajan laadunvarmistuksessa. Savonia Ammattikorkeakoulu.

- 10 The effect of temperature on reaction rates.  
<<http://www.chemguide.co.uk/physical/basicrates/temperature.html>>. Luettu 16.2.2011.
- 11 Accelerated life testing of RBCU, ABB Oy. Power Point -esitelmä.
- 12 Launonen, Eero – Sorvali, Esko – Toivonen, Pertti. 1996. Teknisten ammattien matematiikka 3E. Helsinki: WSOY.
- 13 Hobbs, Gregg K. 1999. Accelerated reliability engineering: HALT and HASS. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.
- 14 Porter, Alex. 2004. Accelerated Testing and Validation: Testing, engineering, and management tools for lean development. Oxford: Elsevier.

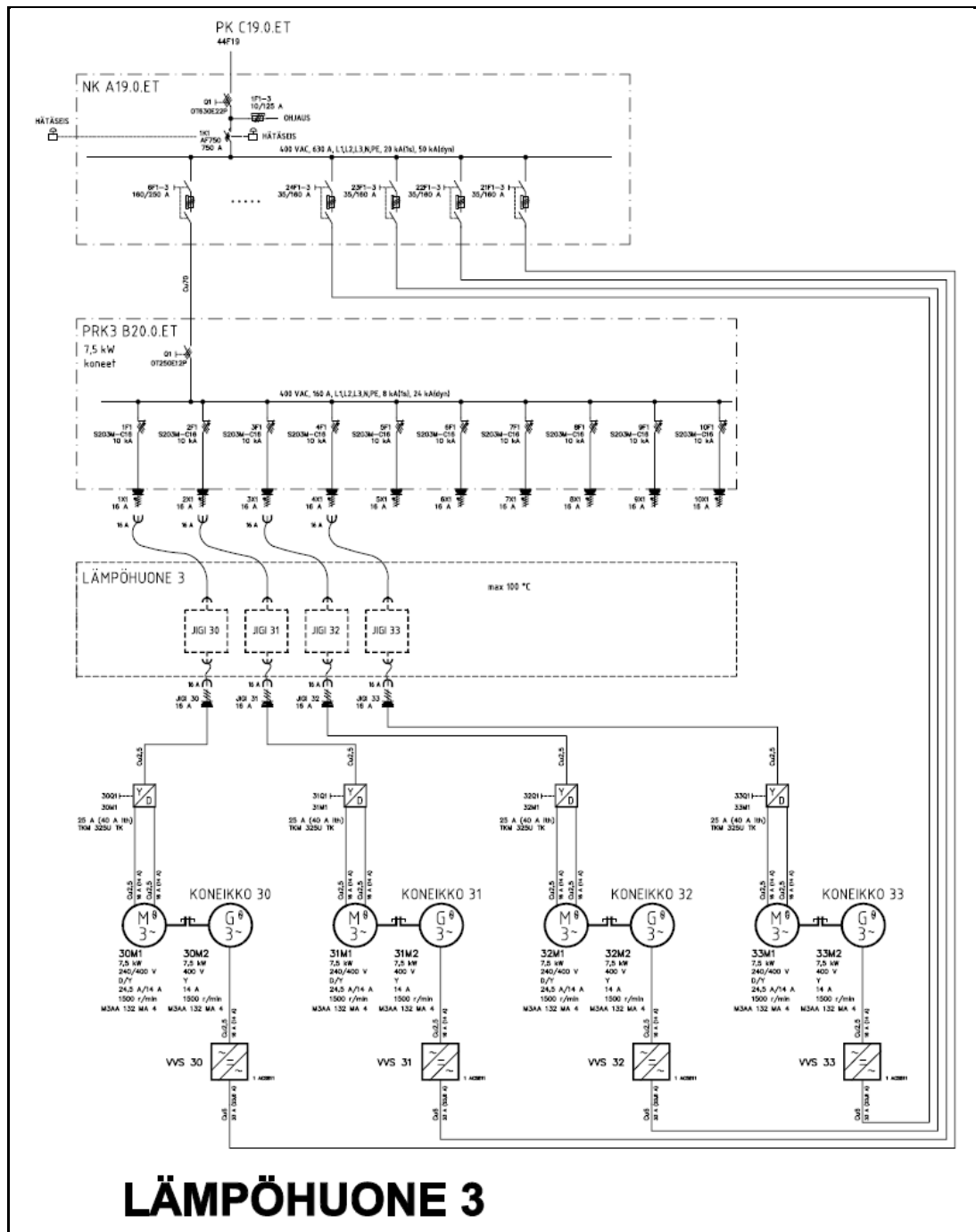
## Lämpöhuoneen 1 kytkentäkaavio



## Lämpöhuoneen 2 kytkentäkaavio



## Lämpöhuoneen 3 kytkentäkaavio



## ACS355-03E-08A8-4-testisekvenssi

```
" ACS355-03E-08A8-4 Load Cycle", ""  
" ", ""  
"Initializing testing system", ""  
"Switch off Channel", "DIO_WRITE_OFF 0,4"  
"Switch off Channel", "DIO_WRITE_OFF 0,5"  
"Switch off Channel", "DIO_WRITE_OFF 0,6"  
"Switch off Channel", "DIO_WRITE_OFF 0,7"  
"Switch off Channel", "DIO_WRITE_OFF 0,8"  
"Switch off Channel", "DIO_WRITE_OFF 0,9"  
"Switch off Channel", "DIO_WRITE_OFF 0,26"  
"Switch off Channel", "DIO_WRITE_OFF 0,29"  
"Check feedback, Ch.30", "DIO_TEST 0, 30,0"  
"Check feedback, Ch.0", "DIO_TEST 0, 0,0"  
"Check feedback, Ch.1", "DIO_TEST 0, 1,0"  
"Check feedback, Ch.2", "DIO_TEST 0, 2,0"  
"Check feedback, Ch.3", "DIO_TEST 0, 3,0"  
"Check feedback, Ch.4", "DIO_TEST 0, 4,0"  
"Check feedback, Ch.5", "DIO_TEST 0, 5,0"  
"Check feedback, Ch.23", "DIO_TEST 0, 23,0"  
"Switch on Channel", "DIO_WRITE_ON 0,1"  
"Switch on Channel", "DIO_WRITE_ON 0,2"  
"Switch on Channel", "DIO_WRITE_ON 0,3"  
"Delay 2s", "TEST_DELAY 2000"  
" ", ""  
"Initialize DUT", ""  
"Initializing COM", "COM_OPEN_RS232 COM5"  
"Open hidden lock", "COM_UNLOCK_HIDDEN COM5"  
"Reset Factory settings", "COM_WRITE COM5,10511,4012"  
"Delay 5 s", "TEST_DELAY 5000"  
"Open hidden lock", "COM_UNLOCK_HIDDEN COM5"  
"Read DUT Fault", "COM_READ COM5, 0401"
```



```
"Set Standard macro","COM_WRITE COM5,9902,1"  
"*Set Motor parameters*",""  
"Set Motor Voltage","COM_WRITE COM5,9905,400"  
"Set Motor Current","COM_WRITE COM5,9906,153"  
"Set Motor Frequency","COM_WRITE COM5,9907,500"  
"Set Motor Speed","COM_WRITE COM5,9908,1460"  
"Set Motor Power","COM_WRITE COM5,9909,75"  
" " ""  
"Initialize MD",""  
"Stop MD","OPC_WRITE 0, Stop, 1"  
"RESET MD FAULT","OPC_WRITE 0,Reset,1"  
"Set MD High TQ limit","OPC_WRITE 0,Torque_max, 2"  
"Test MD TQ","OPC_TEST 0,Torque_max, 2, 2"  
" " ""  
"Start DUT (asetetaan DI1 arvoksi 1)",""  
"Digital I/O forcing selector: DI1 to 1","COM_WRITE COM5,10301,1"  
"Digital I/O forcing data: DI1 to 1","COM_WRITE COM5,10302,1"  
" " ""  
"Kiihdytetään DUT nominaaliseen nopeuteen (noin 1500rpm)",""  
"REF1 MIN (AI1 minimi arvo)","COM_WRITE COM5,1104,500"  
"Delay 5 s","TEST_DELAY 5000"  
" " ""  
"Varmistetaan että DUT starttasi oikein",""  
"Read DUT Fault","COM_READ COM5, 0401"  
"Read DUT Speed","COM_READ COM5, 0102"  
"Read DUT TQ","COM_READ COM5, 0105"  
"Read DUT Temp","COM_READ COM5, 0110"  
"Read DUT Current","COM_READ COM5, 0104"  
"Read DUT UDC","COM_READ COM5, 0107"  
" " ""  
"Start MD (1000rpm)",""  
"Set MD speed","OPC_WRITE 0,Reference,1000"  
"Set MD Low TQ limit","OPC_WRITE 0,Torque_min, 0"
```

```
"Set MD High TQ limit","OPC_WRITE 0,Torque_max, 0"  
"Start MD","OPC_WRITE 0,Start,1"  
"Delay 5 s","TEST_DELAY 5000  
" , ""  
"Varmistetaan että MD starttasi oikein", ""  
"Read DUT Fault","COM_READ COM5, 0401"  
"Read DUT Speed","COM_READ COM5, 0102"  
"Read DUT TQ","COM_READ COM5, 0105"  
"Read DUT Temp","COM_READ COM5, 0110"  
"Read DUT Current","COM_READ COM5, 0104"  
"Read DUT UDC","COM_READ COM5, 0107"  
" , ""  
"***Load Cycle BEGINNING*** " , ""  
" , ""  
"LOOP function","LOOP 1224"  
"Set Nominal load", ""  
"Set MD High TQ limit","OPC_WRITE 0,Torque_max, 40"  
"Meas Nom load begining", ""  
"Read DUT Fault","COM_TEST COM5, 0401, 0,0"  
"Read DUT Speed","COM_READ COM5, 0102"  
"Read DUT TQ","COM_READ COM5, 0105"  
"Read DUT Temp","COM_READ COM5, 0110"  
"Read DUT Current","COM_READ COM5, 0104"  
"Read DUT UDC","COM_READ COM5, 0107"  
" , ""  
"Delay (9min)","TEST_DELAY 540000"  
"Meas Nom load begining", ""  
"Read DUT Fault","COM_READ_DB COM5, 0401, fault 100%"  
"Read DUT Speed","COM_READ_DB COM5, 0102, speed 100%"  
"Read DUT TQ","COM_READ_DB COM5, 0105, torque 100%"  
"Read DUT Temp","COM_READ_DB COM5, 0110, temperature 100%"  
"Read DUT Current","COM_READ_DB COM5, 0104, current 100%"  
"Read DUT UDC","COM_READ_DB COM5, 0107, UDC 100%"
```

```
" " ""  
 ,  
"Set 150% load", ""  
"Set MD High TQ limit", "OPC_WRITE 0, Torque_max, 68"  
"Delay 1min s (60s)", "TEST_DELAY 60000"  
"Meas 150% load end", ""  
" " ""  
 ,  
"Read DUT Fault", "COM_READ_DB COM5, 0401, fault 150%"  
"Read DUT Speed", "COM_READ_DB COM5, 0102, speed 150%"  
"Read DUT TQ", "COM_READ_DB COM5, 0105, torque 150%"  
"Read DUT Temp", "COM_READ_DB COM5, 0110, temperature 150%"  
"Read DUT Current", "COM_READ_DB COM5, 0104, current 150%"  
"Read DUT UDC", "COM_READ_DB COM5, 0107, UDC 150%"  
"End LOOP function", "END_LOOP"  
" " ""  
 ,  
"***Load Sycle END*** " ""  
" " ""  
 ,  
"Stop MD", ""  
"Stop MD", "OPC_WRITE 0, Stop, 1"  
" " ""  
 ,  
"Stop DUT (asetetaan DI1 arvoksi 0)", ""  
"Digital I/O forcing selector: DI1 to 0", "COM_WRITE COM5,10301,0"  
"Digital I/O forcing data: DI1 to 0", "COM_WRITE COM5,10302,0"  
" " ""  
 ,  
" " ""  
 ,  
"End of Whole Test Sequence", ""
```