

**Tero Ojala**

**EPÄTAHTIMOOTTOREIDEN KUNNONVALVONTA JA  
HUOLTO**

**Opinnäytetyö  
KESKI-POHJANMAAN AMMATTIKORKEAKOULU  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Huhtikuu 2011**



## TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

|  |                          |                                     |
|--|--------------------------|-------------------------------------|
| <b>Yksikkö</b><br>Ylivieska  | <b>Aika</b><br>20.4.2011 | <b>Tekijä/tekijät</b><br>Tero Ojala |
| <b>Koulutusohjelma</b><br>Sähkötekniikka   |                          |                                     |
| <b>Työn nimi</b><br>Epätahtimoottoreiden kunnonvalvonta ja huolto  |                          |                                     |
| <b>Työn ohjaaja</b><br>Yliopettaja Jari Halme  |                          | <b>Sivumäärä</b><br>39              |
| <b>Työelämäohjaaja</b>   |                          |                                     |
| <p>Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan, millaisia suureita kunnonvalvonnalla voidaan seurata ja millaisia huoltotoimenpiteitä epätahtimoottoreille voidaan tehdä. Työn alussa on teorian tietoa epätahtimoottoreista ja niiden rakenteesta. Tämän jälkeen tarkastellaan epätahtimoottoreiden rappeutumismekanismia, kunnonvalvontaa ja huoltoa.</p> <p>Opinnäytetyön lopussa selvitetään kunnossapitopalvelujen tarjoajat ja palvelutuotteet Suomessa.</p> |                          |                                     |
| <b>Asiasanat</b><br><br>Epätahtimoottori, kunnonvalvonta, huolto   |                          |                                     |

**ABSTRACT**

|   |                               |                             |
|---|-------------------------------|-----------------------------|
| <b>CENTRAL OSTROBOTHNIA<br/>UNIVERSITY OF APPLIED<br/>SCIENCES</b>  | <b>Date</b><br>20. April 2011 | <b>Author</b><br>Tero Ojala |
| <b>Degree programme</b><br><br>Electrical engineering   |                               |                             |
| <b>Name of thesis</b><br><br>Condition monitoring and maintenance of asynchronous motors  |                               |                             |
| <b>Supervisor</b><br><br>Jari Halme   |                               | <b>Pages</b><br>39          |
| <b>Instructor</b><br><br><p>This thesis examines what kinds of condition monitoring parameters can be monitored and what kinds of measures can be taken to in servicing asynchronous motors. At the beginning of the thesis there is theoretical information about asynchronous motors and their structure. After this is discussed degeneration, condition monitoring and maintenance of asynchronous motors.</p> <p>Finally, the thesis explains the maintenance service providers and service products in Finland.</p> |                               |                             |
| <b>Key words</b><br><br>Asynchronous motor, condition monitoring, maintenance   |                               |                             |

## SISÄLLYS

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | JOHDANTO.....   | 1  |
| 2     | EPÄTAHTIMOOTTORIT.....                                      | 2  |
| 2.1   | Rakenne .....   | 2  |
| 2.2   | Kolmivaiheinen oikosulkumoottori.....                       | 4  |
| 2.3   | Yksivaiheinen oikosulkumoottori .....                       | 6  |
| 2.4   | Liukurengasmoottori.....                                    | 6  |
| 2.5   | Kuvia oikosulkumoottoreista teollisuusympäristössä .....    | 7  |
| 3     | EPÄTAHTIMOOTTORIN RAPPEUTUMIS- JA VAURIOITUMISMEKANISMIT .  | 8  |
| 3.1   | Moottorin jumitilanteet.....                                | 8  |
| 3.1.1 | Käynnistyksessä .....                                       | 8  |
| 3.1.2 | Käynnin aikana .....  | 8  |
| 3.2   | Staattorikäämityksen vikaantuminen .....                    | 9  |
| 3.2.1 | Terminen vanheneminen .....                                 | 9  |
| 3.2.2 | Eristyksen kostuminen .....                                 | 9  |
| 3.2.3 | Syövyttävät aineet ja likaantuminen.....                    | 10 |
| 3.2.4 | Johtimien mekaaninen vaurioituminen .....                   | 10 |
| 3.2.5 | Kiilauksen löystyminen ja irtoaminen .....                  | 10 |
| 3.3   | Virransyötön aiheuttamia ongelmia.....                      | 11 |
| 3.3.1 | Vaihesyötön liitoksen löystyminen tai katkeaminen.....      | 11 |
| 3.3.2 | Syöttöjännitteen ja syöttövirran epäsymmetria.....          | 11 |
| 3.3.3 | Jännitesyöksyaallot staattorikäämityksessä .....            | 12 |
| 3.3.4 | Staattorikäämityksen maasulku.....                          | 12 |
| 3.4   | Taajuusmuuttajakäyttöjen erityispiirteitä.....              | 13 |
| 3.4.1 | Osittaispurkausten aiheuttama staattorikäämivaurio .....    | 13 |
| 3.4.2 | Staattorikäämityksen kierrossulku .....                     | 13 |
| 3.5   | Akselijännitteen aiheuttamat laakerivirrat ja -vauriot..... | 14 |
| 3.5.1 | Taajuusmuuttajamoottoreilla .....                           | 14 |
| 3.5.2 | Suorakäyttöisillä moottoreilla .....                        | 15 |
| 4     | KUNNONVALVONTA OSANA KUNNOSSAPITOA .....                    | 16 |
| 4.1   | Korjaava kunnossapito .....                                 | 17 |
| 4.2   | Ennakoiva kunnossapito .....                                | 18 |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.3 Parantava kunnossapito .....                      | 18        |
| 4.4 Ehkäisevä kunnossapito.....                       | 18        |
| 4.5 Mittaava kunnossapito.....                        | 19        |
| <b>5 KUNNONVALVONNAN MITTAUKSET .....</b>             | <b>20</b> |
| 5.1 Mitattavat suureet.....                           | 21        |
| 5.2 Tärinä.....                                       | 22        |
| 5.3 Prosessisuureet .....                             | 22        |
| 5.4 Lämpötila .....                                   | 23        |
| 5.5 Voiteluaineanalyysit.....                         | 23        |
| 5.6 Sähkövirta .....                                  | 24        |
| <b>6 EPÄTAHTIMOOTTOREIDEN HUOLTOTARVE.....</b>        | <b>25</b> |
| 6.1 Huoltokohteet .....                               | 25        |
| 6.2 Runko .....                                       | 26        |
| 6.3 Laakerit ja voitelu .....                         | 27        |
| 6.4 Käämitykset .....                                 | 28        |
| 6.4.1 Puhdistus .....                                 | 29        |
| 6.4.2 Kuivaus .....                                   | 30        |
| 6.5 Roottori ja akseli .....                          | 32        |
| 6.6 Tuuletus .....                                    | 33        |
| <b>7 KUNNOSSAPITOPALVELU JA PALVELUTUOTTEET .....</b> | <b>34</b> |
| 7.1 Kokonaisvaltainen kunnossapito .....              | 35        |
| 7.2 Kunnossapitopalvelujen tarjoajat Suomessa .....   | 35        |
| <b>8 YHTEENVETO.....</b>                              | <b>37</b> |
| <b>LÄHTEET .....</b>                                  | <b>38</b> |
| <b>LIITTEET</b>                                       |           |

## 1 JOHDANTO

Koneiden ja laitteiden kunnossapidon taloudellinen merkitys on Suomessa valtava. Itsessään kunnossapitotyö sekä siinä käytetyt varaosat ja uudet komponentit ovat merkittävä kustannus. Vielä suuremmat kustannukset syntyvät kun koneet, laitteet ja tuotantoprosessit eivät ole laiterikkojen seurauksena käytettävissä tai toimivat puutteellisesti. Tämä käy ilmi Promaint Ry:n käsikirjasta.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää, millaisia huoltotoimenpiteitä epätahtimoottoreille voidaan tehdä ja kuinka tulevat moottorien vikaantumiset voidaan havaita riittävän ajoissa ennen koneen pysähtymistä. Opinnäytetyön alussa on teoretietoa epätahtimoottoreista ja niiden rakenteesta.

Tässä opinnäytetyössä käsitellään epätahtimoottoreiden kuntoon perustuvaa kunnossapitoa ja siihen liittyvää koneiden rappeutumista, kunnonvalvontaa ja huoltoa. Työn lopussa selvitetään kunnossapitopalveluiden tarjoajat ja palvelutuotteet Suomessa.

## 2 EPÄTAHTIMOOTTORIT

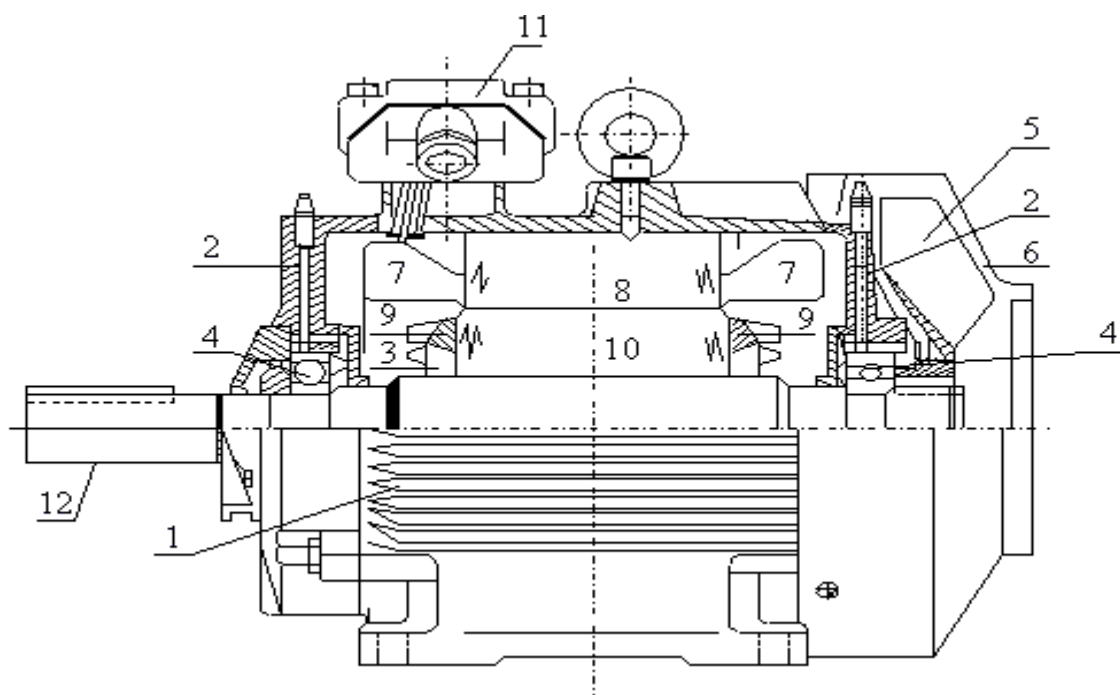
Epätahtimoottoreita kutsutaan monilla eri nimillä, kuten oikosulkumoottori, induktiomoottori tai asynkronimoottori. Oikosulkumoottori on saanut nimensä oikosuljesta roottorikämmityksestä. Induktiomoottori-nimitys johtuu siitä, että roottorivirta syntyy induktion avulla eli pyörivä magneettikenttä indusoi jännitteen roottorikämmitykseen. Epätahtimoottori-nimitys johtuu taas siitä, että roottori pyörii staattorikenttää hitaammin. (Ahoranta 1998, 279.)

Epätahtimoottorit kuluttavat lähes 70 % kaikesta teollisuuden sähköenergiasta ja yli 35 % palvelusektorin käyttämästä sähköenergiasta. Alle 75 kW:n moottorien osuus teollisuuden sähkönkulutuksesta on noin 60 %. Teollisuuden osuus kaikesta Suomessa käytetystä sähkö-energiasta oli 46 % vuonna 2009. (Motiva 2011; Tilastokeskus 2011.)

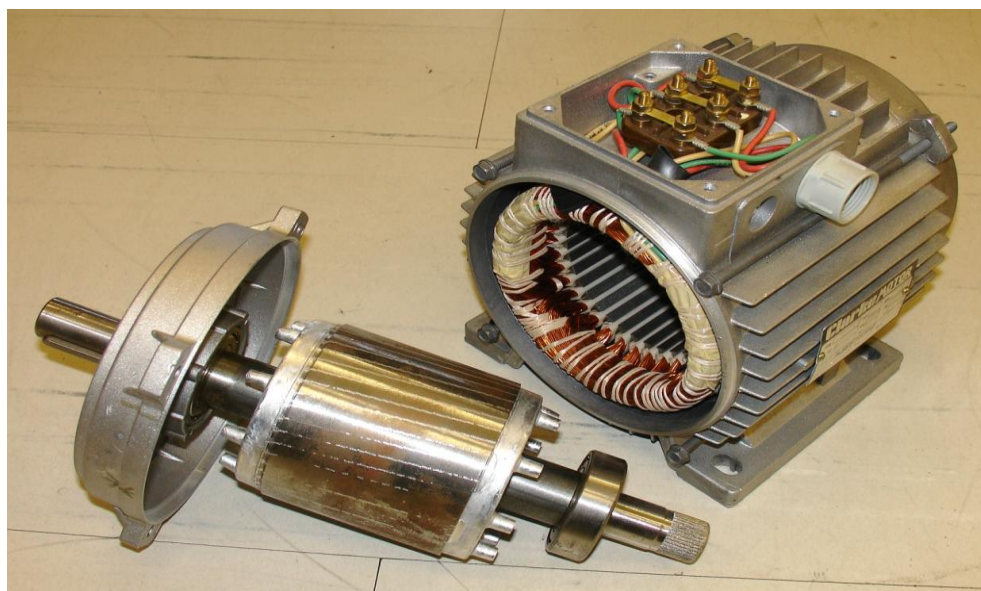
Oikosulkumoottoreilla käytetään teollisuudessa koneita, pumppuja, kuljettimia, tuulettimeja, nostureita ja työstökoneita. Moottoreiden tehot vaihtelevat kymmenistä wateista aina megawatteihin. Oikosulkumoottorit voivat olla rakenteeltaan joko yksi- tai kolmivaiheisia. (Ahoranta Jukka. 1998, 276.)

### 2.1 Rakenne

Epätahtikoneen toiminnan kannalta tärkeimmät osat ovat staattorin käänitys levy-paketteineen ja roottorin käänitys levy-paketteineen. Näistä muodostuvat koneen sähköisen toiminnan aktiiviset osat. Muut osat ovat passiivisia osia, jotka pitävät aktiiviset osat paikoillaan. Passiivisten osien tarkoituksena on johtaa sähkö koneeseen tai pois koneesta ja välittää pyörivä liike moottorista työkoneseen tai voimakoneesta generaattoriin. (Aura & Tonteri 1996, 119.)



KUVIO 1. Oikosulkumoottorin rakenne. 1 staattorin runko, 2 laakerikilvet, 3 roottori, 4 laakerit, 5 tuuletin, 6 tuulettimen suojaus, 7 staattorikäänitys, 8 staattorin levypaketti, 9 roottorin käänitys, 10 roottorin levypaketti, 11 liitäntäkotelo, 12 akseli. (Aura & Tonteri 1996, 119.)



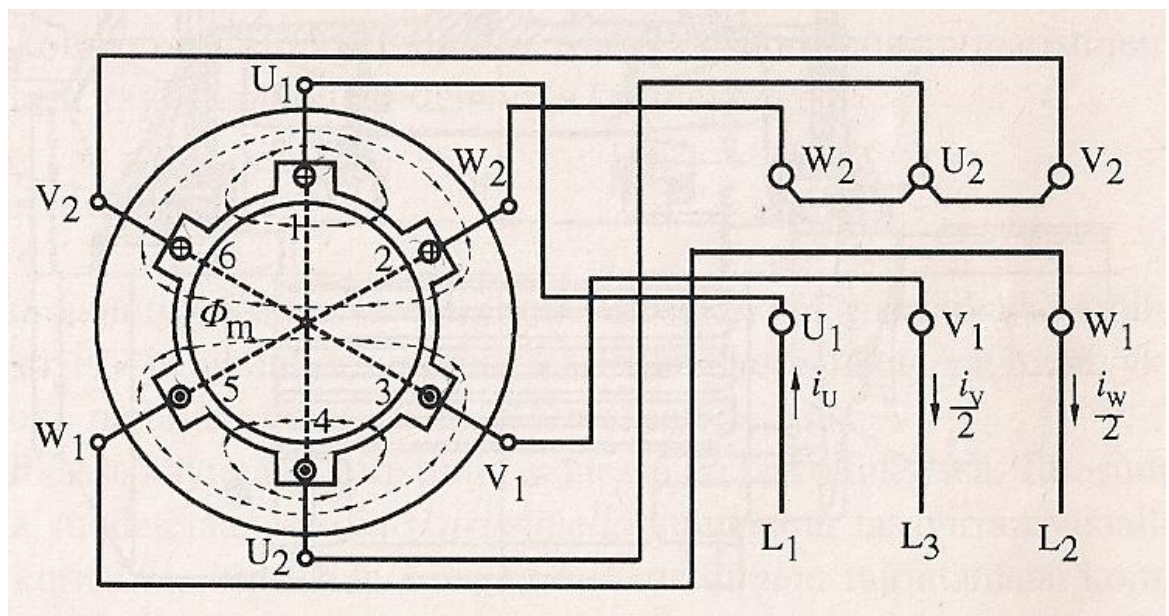
KUVIO 2. Oikosulkumoottori purettuna kahteen osaan: etualalla roottori ja takana valurautakotelo, jonka sisällä kiinteä seisojakäämitys eli staattori. (Wikipedia 2011.)



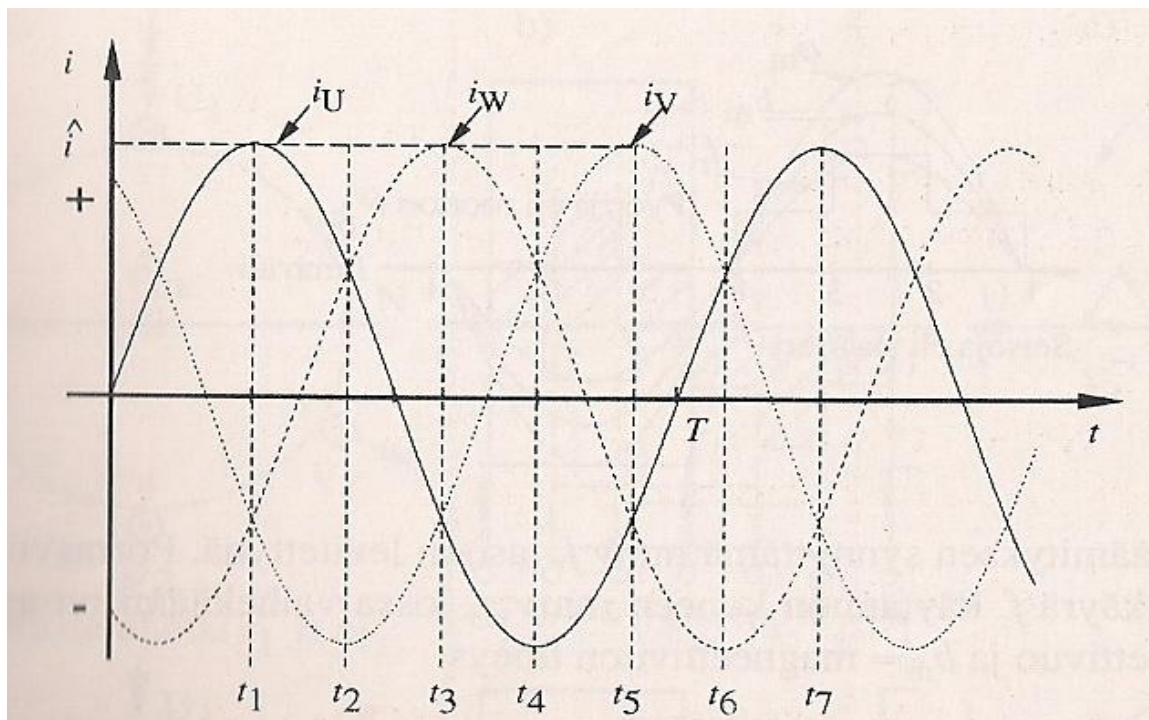
## 2.2 Kolmivaiheinen oikosulkumoottori

Kaikkien vaihtosähkökoneiden toiminnalle yhteistä on, että niiden seisijaan on kehitettävä pyörivä magneettikenttä. Tämä tapahtuu kolmivaihe- ja yksivaihekooneissa eri tavoin. Kolmivaiheisten oikosulkumoottorien toiminnan edellytyksenä oleva pyörivä magneettikenttä kehittyy näissä koneissa itsestään ilman lisälaitteita symmetrisen kolmivaihekäämityksen ja siinä kulkevan symmetrisen vaihtovirran avulla. (Aura & Tonteri 1996, 120.)

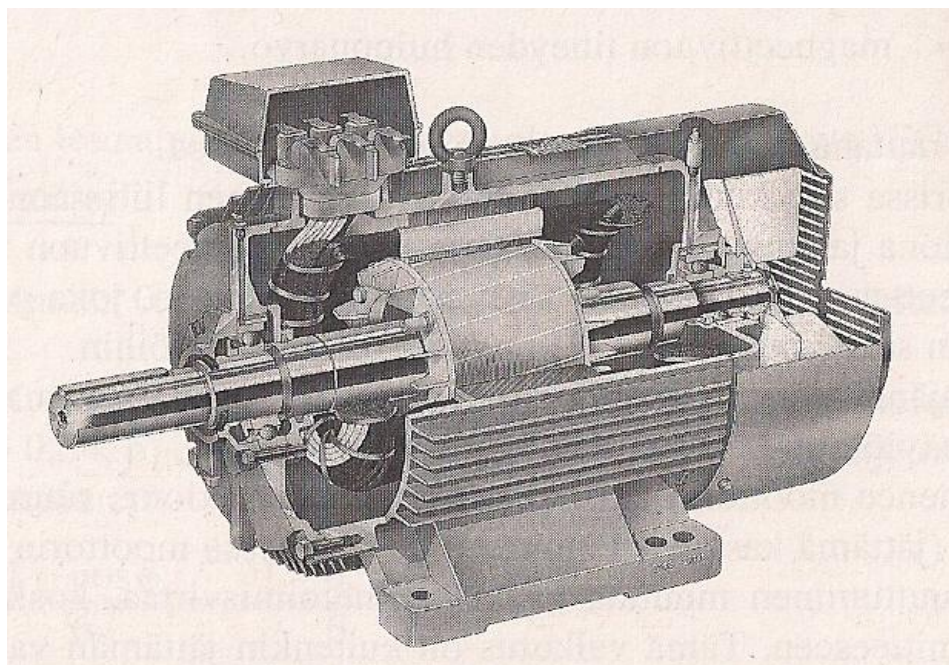
Kuvassa (KUVIO 3) on esitetty kuuteen uraan sijoitettu staattorin kolmivaihekäämitys, jossa siis on kaksi uraa kutakin vaihetta kohden. Käytännössä koneissa on staattorissa useampia kuin kaksi uraa vaihetta kohden, joiden kesken vaihekäämien johdinkierrokset jaetaan. Kun käämien alkupäät  $U_1$ ,  $V_1$ ,  $W_1$  kytketään kolmivaiheesyöttöön, alkaa käämien läpi kulkea kolmivaihevirta (KUVIO 4). Virran aiheuttama magneettikenttä on aina kohtisuorasti sen vaihekäämin tasoa vastaan, jossa virralla on huippuarvo, jolloin vaihtovirta synnyttää koneen sisälle pyörivän magneettikentän. (Aura & Tonteri 1996, 120.)



KUVIO 3. Tähteen kytketty staattorikäämitys ja sen synnyttämä magneettikenttä. (Aura & Tonteri 1996, 119.)



KUVIO 4. Kolmivaiheisen vaihtosähkökoneen vaihekäämien symmetriset sinimuotoiset virrat. + suunta on johdosta koneeseen ja - suunta koneesta johtoon.  $\Sigma i = i_U + i_V + i_W = 0$ . (Aura & Tonteri 1996, 121.)



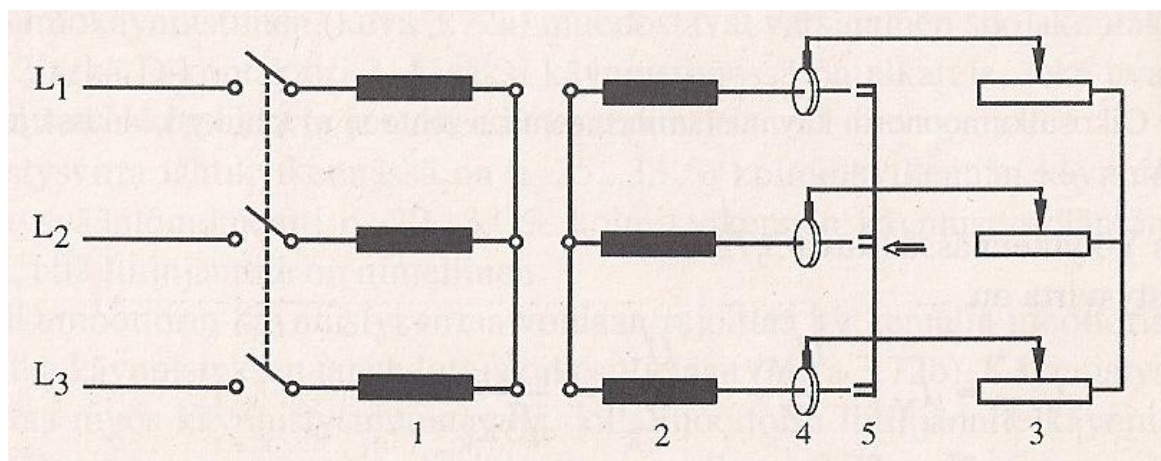
KUVIO 5. Kolmivaiheinen suljettu oikosulkumoottori auki leikattuna. (Aura & Tonteri 1996, 202.)

### 2.3 Yksivaiheinen oikosulkumoottori

Yksivaiheisten oikosulkumoottoreiden tunnusomaisena piirteenä on sykkivä magneettikenttä, joka ei pysty muodostamaan käynnistykseen tarvittavaa lähtöväntömomenttia. Tämän momentin aikaansaamiseksi on magneettikenttä ainakin moottorin käynnistysvaiheessa saatava pyörivään liikkeeseen, jotta moottoriin kehittyisi käynnistykseen riittävä vääntömomentti. (Aura & Tonteri 1996, 314.)

### 2.4 Liukurengasmoottori

Rakenteeltaan liukurengasmoottori eroaa oikosulkumoottorista vain pyörijän eli roottorin osalta. Liukurengasmoottorissa roottorikäätymys on eristetty ja yhdistetty liukurenkaisiin, joita hiiliharjat laahaavat. Näin liukurengasmoottorin vaihekäämeihin voidaan liittää käynnistysajaksi ulkoista resistanssia ja siten asetella käynnistysvirtaa sekä momenttia, mikä ei oikosulkumoottorissa ole mahdollista. Liukurengasmoottoria käytetään vain erikoistapauksissa, joissa oikosulkumoottorin käynnistysvirta on liian suuri ja käynnistysmomentti liian pieni. Näin aikaan saadaan pitkä käynnistysaika, jota oikosulkumoottoreiden roottorit eivät kestä. (Aura & Tonteri 1996, 196.)



KUVIO 6. Liukurengasmoottorin käynnistyskytkentä. 1 staattori, 2 roottori, 3 vastuskäynnistin, 4 harjat liukurenkaineen, 5 oikosulkulaitteisto. (Aura & Tonteri 1996, 196.)

## 2.5 Kuvia oikosulkumoottoreista teollisuusympäristössä

Oikosulkumoottoreilla käytetään teollisuudessa monia laitteita ja koneita. Alla oikosulkumoottori ulkotiloissa (KUVIO 7) ja sisätiloissa (KUVIO 8).



KUVIO 7. Oikosulkumoottorikäyttöinen kivenmurskain. (Alibaba 2011.)



KUVIO 8. Pumppuja pyörittäviä oikosulkumoottoreita. (Optimum Energy 2011.)

### **3 EPÄTAHTIMOOTTORIN RAPPEUTUMIS- JA VAURIOITUMISMEKANISMIT**

Sähkömoottoreilla on runsaasti erilaisia vikaantumismekanismeja, joiden tunnistaminen on kunnonvalvonnan kannalta tärkeää. Erilaisten kunnonvalvontamenetelmien tunteminen auttaa tunnistamaan vikaantumiset ja ennen vikaantumisia tapahtuvat kunnan heikkenemiset. (Kokko 2009, 370.)

#### **3.1 Moottorin jumitilanteet**

##### **3.1.1 Käynnistyksessä**

Moottorin käynnistys epäonnistuu, jos moottorin akselille kytketään suurempi mekaaninen kuorma, kuin moottorin käynnistysmomentti. Tämä synnyttää jumitilanteen, jossa sekä staattori- että roottorikäämyksessä kulkee jatkuvasti suuri käynnistysvirta. Tällöin moottorin käämykset sekä koneen levypakettien rakenteet kuumenevat nopeasti. Koneen jäähdytys on heikoimmillaan seisovalla koneella ja sen vuoksi moottorin käynnistys on keskeytettävä mahdollisimman pian liiallisen kuumenemisen estämiseksi. (Kokko 2009, 370.)

##### **3.1.2 Käynnin aikana**

Moottorin jumitilanne voi syntyä koneen käynnin aikana, jos moottorin akselille kytketty mekaaninen kuorma kasvaa moottorin vääntömomenttia suuremmaksi. Kuormitusvirran vuoksi moottorin käämytys on jo valmiiksi lämmennyt ja ylikuumentuu hyvin nopeasti. Staattorikäämyksen voimakas ylikuumentuminen aiheuttaa käämilangan pinnalla olevan eristeen ja johdinkuparin välisen rajapinnan heikkenemisen, joka puolestaan irrottaa ajan kuluessa eristeen ja johdinkuparin toisistaan. Tästä voi seurata staattorikäämyksen kierrosten välinen oikosulku eli kierrossulku. Kierrossulkukohtaan indusoituu suuri paikallinen virta, jonka seurauksena moottorin käämytys kuumenee ensin paikallisesti hyvin nopeasti aiheuttaen moottorin käämytyksen pikaisen palamisen. (Kokko 2009, 370.)

## **3.2 Staattorikäämityksen vikaantuminen**

### **3.2.1 Terminen vanheneminen**

Staattorikäämityksen käännavaiheiden eristysten terminen kunnan heikkeneminen aiheutuu liian suurista vaihevirroista roottorin jumitilanteesta tai moottorin pitkäaikaisesta ylikuormitustilanteesta. Myös alijännite ja ylijännite sekä usein tapahtuvat käynnistykset tai suunnanmuutokset aiheuttavat samantyyppistä eristeen kunnan heikkenemistä. Terminen vanheneminen aiheuttaa usein staattorikäämityksen pinnan värin muutoksen. Lisäksi pistävä haju on usein merkinä moottorin käämityksen palamisesta. (Kokko 2009, 371.)

Ylikuormituksesta seuraa myös roottorin ylikuumentumista ja sen kunnan heikkenemistä. Kuumentunut roottori nostaa akselin lämpötilaa, joka voi puolestaan johdattaa akselin taipumiseen tai laakereiden lämpötilan kasvuun heikentäen laakereiden kuntoa. (Kokko 2009, 371.)

### **3.2.2 Eristyksen kostuminen**

Staattorikäämitys saattaa imeä kosteutta pidempien seisokkien tai varastoinnin aikana, jos ympäristössä on korkea ilmankosteus, kuten kesällä. Kosteuden saavuttaessa eristyksen pinnalla pitkäaikaisesti kastepisteen, voi käämitys vettyä ja sen eristyskyky romahtaa. Näin saattaa muodostua staattorikäämitykseen maasulku, kierrossulku tai vaiheiden välinen oikosulku. Näiden seurauksena moottorin käämitys saattaa palaa jonkin aikaa käynnistytyn jälkeen. (Kokko 2009, 372.)

Eristysvastusmittauksella voidaan varmistaa moottorin eristyskyky. Tähän on tarvetta erityisesti pidemmän seisokin ja pitkäaikaisen varastoinnin jälkeen. Mikäli eristysvastus on romahtanut, tulee moottorin käämitys kuivata ennen moottorin käyttöön ottamista. (Kokko 2009, 372.)

### 3.2.3 Syövyttävät aineet ja likaantuminen

Syövyttävät aineet ja ympäristön aiheuttama likaantuminen voivat aiheuttaa staattorikämmityksen eristyksen kunnan heikkenemisen ja vaurioitumisen. Tällainen vikaantuminen voidaan estää valitsemalla moottorille kotelointiluokka, joka estää haitallisten aineiden ja likaantumisen pääsyn moottorin sisälle. Lisäksi moottori on tärkeää pitää riittävän puhtaana. Likaantuminen ja syövyttävät aineet aiheuttavat käämieristyksen eristyskyvyn heikkenemisen, joka voidaan varmistaa eristysvastusmittauksella. Eristysvastuksen pudotessa liian alhaiseksi, tulee moottorin käämitys puhdistaa ja tarkastaa. (Kokko 2009, 373.)

### 3.2.4 Johtimien mekaaninen vaurioituminen

Staattorikämmityksen mekaaninen murtuminen aiheuttaa käämitykseen paikallisia kuumia pisteitä, jotka voivat aiheuttaa käämikierrosten välisen kierrossulun. Tämä johtaa moottorin käämityksen palamiseen. Mekaanisen murtumisen seurauksena voi syntyä myös vaihevirtojen välinen epäsymmetriatilanne, jos murtuneen vaiheen virta pienenee. Virtaepäsymmetrialle arka kolmivaihemoottori kuumenee nopeasti sen seurauksena. Tavallisesti 10 % virtaepäsymmetria on moottorille haitallinen, sillä ylikuumeneminen heikentää käämityksen kuntoa. Käämityksen mekaanisen murtumisen aiheuttama kuuma piste voidaan havaita lämpökuvauksen avulla käynnin käynninaikana tai käämiresistanssi mittauksella. (Kokko 2009, 372–373.)

### 3.2.5 Kiilauksen löystyminen ja irtoaminen

Moottorin liian korkea värähtely saattaa aiheuttaa staattorin käämikiilauksen löystymistä. Tämä voi aiheuttaa ura-alueen ja uransualueen käämityksen eristyksen vaurioitumisen. Värähtely voi aiheuttaa myös kääminpään alueella kahden vaiheen välisen lisäeristyksen heikkenemisen. Käämityksen päästessä liikkumaan käämiurassa syntyy myös uran suulla käämityksen liikkumista. Tällöin uran suulle aiheutuu hankausta ja sähköisiä pintapurkauksia, jotka heikentävät pinnan eristys-

tä. Mekaaninen löystyminen aiheuttaa värinmuutosta ja valkeaa jauhetta käämityksen uransuun alueelle. Käynninaikaisilla osittaispurkausmittauksilla voidaan havaita tällainen tilanne, sillä uran suun alueella tapahtuu sähköisiä pintapurkauksia. (Kokko 2009, 374.)

### **3.3 Virransyötön aiheuttamia ongelmia**

#### **3.3.1 Vaihesyötön liitoksen löystyminen tai katkeaminen**

Staattorikäimitystä syöttävä vaihe saattaa löystyä esimerkiksi moottorikaapelin syöttöpäässä, moottorinsuojakytkimellä, turvakytkimellä tai liitäntäkotelon liitoksessa. Tämä aiheuttaa moottorille vaiheiden välistä virtaepäsymmetriaa, josta seuraa moottorin kuumeneminen. Virtaepäsymmetria aiheuttaa myös käämityksen pinnan värin muuttumisen. (Kokko 2009, 374–375.)

Moottorisyötön vaiheen katkeaminen johtuu tavallisesti viallisesta sulakkeesta, huonosta liitoksesta, avoimesta kontaktorista tai jakeluverkon yhden vaiheen katkeamisesta. Yhden vaihejohtimen liitoksen heikentyessä siirtyy osa sen virrasta muille vaiheille aiheuttaen niiden virran kasvun. Vaihejohtimen katkeaminen siirtää sen virran kokonaan muille vaiheille. (Kokko 2009, 374–375.)

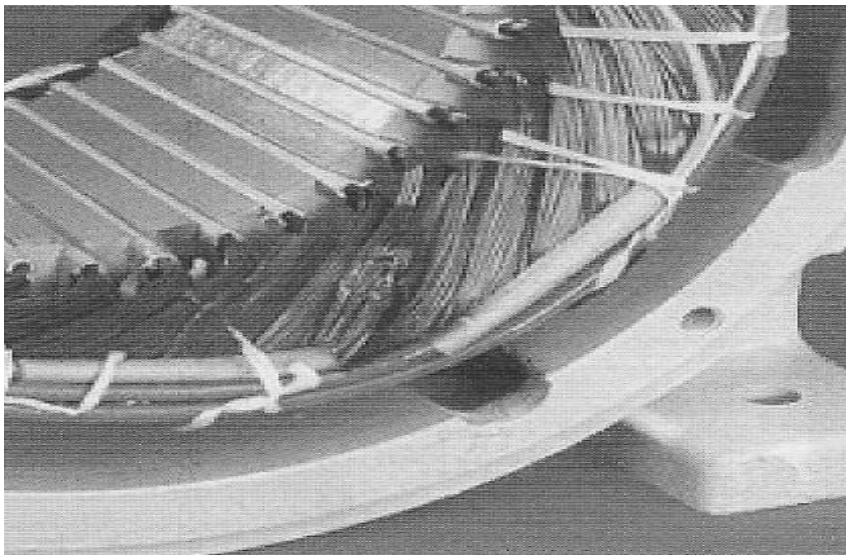
#### **3.3.2 Syöttöjännitteen ja syöttövirran epäsymmetria**

Kolmivaihemoottori on herkkä jännite-epäsymmetrialle. Moottori ylikuumenee jo alle 1 prosentin epäsymmetriasta. Yhden prosentin jännite-epäsymmetria voi johtaa 6 – 10 prosentin virtaepäsymmetriaan. Teollisuuden sähköverkkojen jännite-epäsymmetria on kuitenkin tavallisesti hyvin pientä, joten tällainen tilanne ei ole yleinen. Jännite-epäsymmetria voi aiheuttaa staattorikäimityksen vaiheen eristyksen termisen vaurioitumisen. Tavallisesti vaihejännitteiden erot johtuvat syöttölähteen suuriresistiivisestä liitoksesta tai epätasaisesta kuormituksesta. (Kokko 2009, 375–376.)



### 3.3.3 Jännitesyöksyaallot staattorikäämityksessä

Staattorikäämityksen eristysviat voivat aiheutua jännitesyöksyaalloista. Syöksyaallot aiheutuvat usein salaman iskuista, tehoelektroniikan kytkentäpiireistä, kapasitiivisista purkauksista ja tehoelektroniikkalaitteista. Usein vika etenee paikalliseksi kierrossuluksi, joka johtaa paikalliseen käämin kuumentumiseen ja lopulta käämityksen palamiseen. (Kokko 2009, 376.)



KUVIO 9. Jännitesyöksyaallon aiheuttama käämivika. (Kokko 2009, 376.)

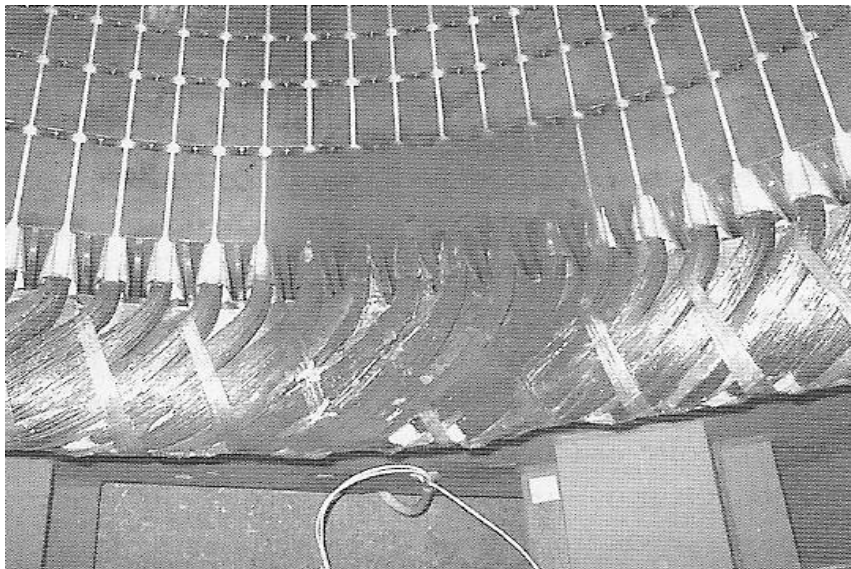
### 3.3.4 Staattorikäämityksen maasulku

Maasulkutilanne syntyy, kun moottorin yhden vaiheen eristyksen heikentyessä syntyy vaihe-eristyksen ja rungon välille vuotovirta. Vastaava tilanne voi syntyä myös moottorin kaapelissa tai kytkentäkotelossa. Sähköturvallisuussäädösten mukaisesti maasulkupaikka on etsittävä ja vikapaikka korjattava tietyn ajan kuluessa, jotta se ei voi aiheuttaa vaaraa ihmisille. Vikavirran suuruus vikakohdassa riippuu maasulkukohdan impedanssista. Vikavirta voi kuumentaa eristystä paikallisesti aiheuttaen käämityksen vaurioitumisen. (Kokko 2009, 377.)

### 3.4 Taajuusmuuttajakäyttöjen erityispiirteitä

#### 3.4.1 Osittaispurkausten aiheuttama staattorikäämivaurio

Taajuusmuuntajakäytöillä staattorikäämitykseen syötetään jännitepulsseja, joilla on suuri nousunopeus. Moottorin liittimissä saattaa esiintyä tavallista korkeampia jännitepiikkejä, kun käytetään yli 600 voltin jännitteitä. Nämä voivat aiheuttaa staattorikäämityksen pinnalle osittaispurkauksia, jotka johtavat käämityksen enenaikaiseen vanhenemiseen. Osittaispurkaukset voidaan tunnistaa taajuusmuuttajakäyttöiselle moottorille erikseen tarkoitettulla osittaispurkausmittauksella. (Kokko 2009, 380.)

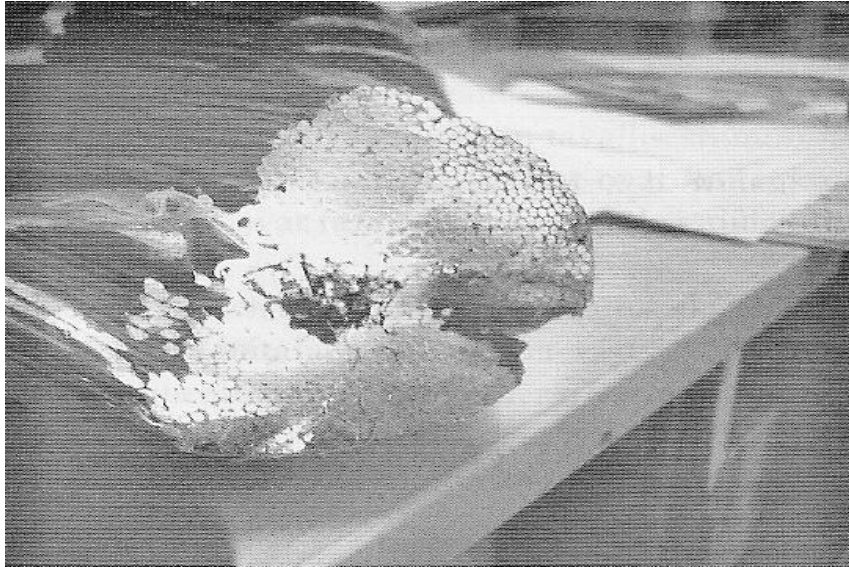


KUVIO 10. Taajuusmuuttajan aiheuttamien osittaispurkausten vanhentama eriste. (Kokko 2009, 380.)

#### 3.4.2 Staattorikäämityksen kierrossulku

Staattorikäämitykseen syötetään jännitepulsseja taajuusmuuttajakäytöillä, joilla on suuri nousunopeus ja tavallista suurempi voimakkuus. Mikäli moottoreiden käämityksessä ei ole käytetty erikoisvahvennettua eristystä, syntyy käämityksen alkupään käämikierrosten välille suuri jännite, joka saattaa lävistää kierrosten välisen

eristyksen. Tämä johtaa moottorin käämityksen nopeaan ylikuumentumiseen ja käämitys palaa. Vikaantumisriskin selvittämiseksi moottorin sisääntulojännitteet voidaan mitata liitinjännitemittauksen avulla ja määrittää, ovatko jännitteet haitallisen suuria. Taajuusmuuttajan aiheuttama staattorikämmityksen kiertosulku voidaan havaita aksiaalisen magneettivuomittauksen avulla tai lämpötilamittauksella. (Kokko 2009, 380–381.)



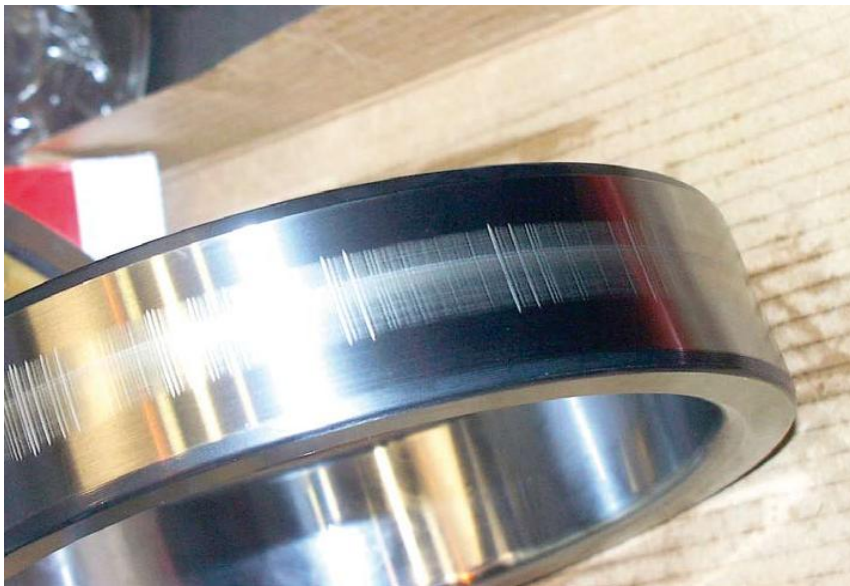
KUVIO 11. Taajuusmuuttajan aiheuttama staattorikämmityksen kierrossulku. (Kokko 2009, 381.)

### **3.5 Akselijännitteen aiheuttamat laakerivirrat ja -vauriot**

#### **3.5.1 Taajuusmuuttajamoottoreilla**

Taajuusmuuttajakäyttöillä syötettävät staattorikämmityksen jännitepulssit indusoituvat joissakin tapauksissa moottorin akselille jännitteen. Mikäli akselijännite kasvaa liian suureksi, voi se läpäistä laakerin öljy- tai rasvakalvon ja aiheuttaa akselilta laakerin läpi moottorin runkoon kulkevan sähkövirran. Tämä sähkövirta aiheuttaa laakerin sisäpintojen kuormitusalueelle ”pyykkilautakuvion”, joka vaurioittaa laakereita. (Kokko 2009, 381.)

Taajuusmuuttajan aiheuttamia akselivirtoja on kahta erilaista perustyyppiä, induktiivista ja kapasitiivista. Induktiivista akselivirtaa indusoituu tavallisesti suurilla moottoreilla (yli 100kW) ja kapasitiivista akselivirtaa pienillä (30kW) moottoreilla. Akselijännitteet ja laakerivirrat voidaan havaita akselijännite- ja laakerivirtamittauksin. Laakerivirtojen mittauksessa käytetään suurtaajuuselle virralle tarkoitettua Rogowskin kelaa ja laakerin kunto voidaan arvioida värähtelymittauksin. (Kokko 2009, 381–382.)



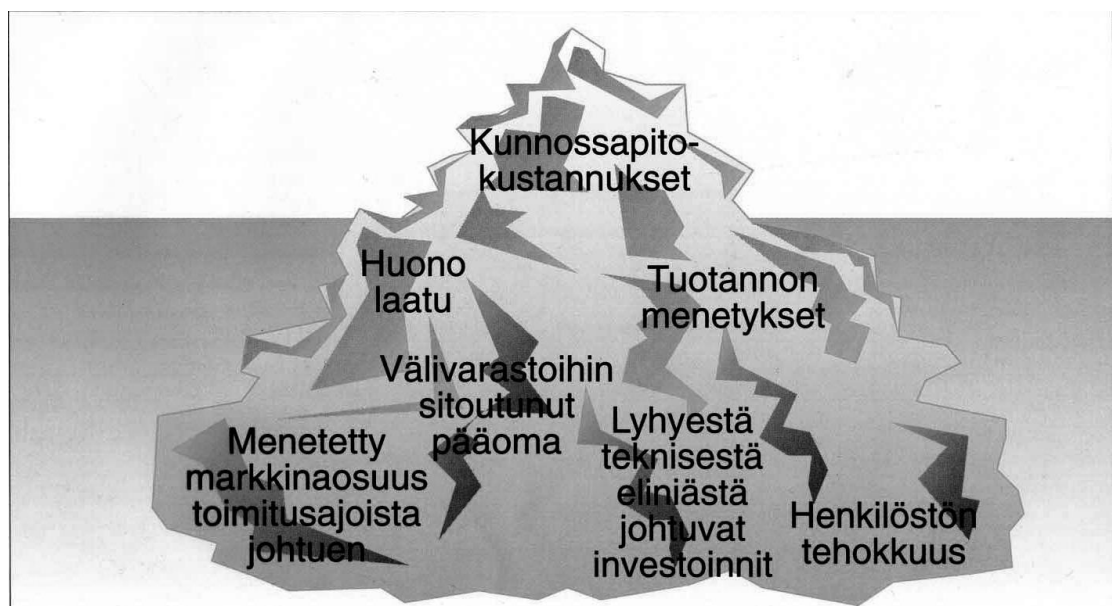
KUVIO 12. Laakerivirran aiheuttama ”pyykkilautakuvio”. (Kokko 2008, 44.)

### 3.5.2 Suorakäyttöisillä moottoreilla

Akselijännitteen aiheuttamaa laakerivirtaa saattaa joskus esiintyä myös suurilla suorakäyttöisillä vaihtovirtamoottoreilla. Tavallisesti tämä johtuu moottorin rakenteen epäsymmetriasta ja vikaa on lähes mahdoton korjata. Tällaiset viat ovat erittäin harvinaisia, sillä nykyaikaisten moottoreiden valmistustoleranssit ovat tarkkoja. Akselijännite voidaan mitata akselijännitemittauksin. Laakerivirtaa mitattaessa täytyy olla varovainen, sillä pientaajuinen vaihtovirta saattaa aiheuttaa nopeasti laakerin vaurioitumisen. (Kokko 2009, 383.)

#### 4 KUNNONVALVONTA OSANA KUNNOSSAPITOA

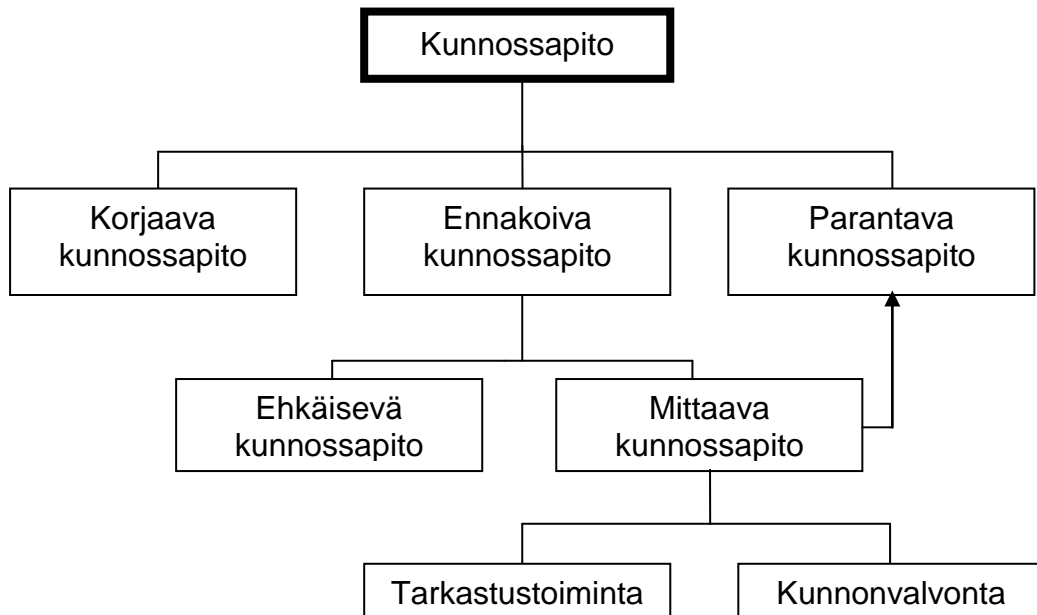
Kunnossapidon tehtävänä pohjimmiltaan on ollut pitää tehtaan pyörät pyörimässä. Nykyisin tämä tehtävä on kuitenkin laajentunut siten, että pyörien olisi pyörittävä yhä nopeammin ja yhä pidempään. Ylläpitävä kunnossapito ei tällöin enää riitä, vaan tarvitaan parantavia toimenpiteitä riittävän käytettävyyden takaamiseksi. Tämän seurauksena tulee etsiä uusia kehittyneempiä menetelmiä ja kehittää niitä. Nykyään ollaan toteuttamassa uusia ratkaisuja kokonaisvaltaisen, laadukkaan, ympäristömyönteisen ja jatkuvaan parantamiseen panostavan kunnossapidon avulla. Näin oikeilla toimenpiteillä voidaan tehokkaasti vaikuttaa kaikkiin tuotannon osa-alueisiin, eikä ainoastaan kunnossapitokustannuksiin. (ABB 2000.)



KUVIO 13. Kunnossapidon vaikutukset. (ABB 2000.)

Nykyään entistä useammassa tapauksessa prosessien omistaja keskittyy ydinliiketoimintaansa ja siirtää kunnossapidon ulkopuoliselle kunnossapitoon erikoistuneen yrityksen vastuulle. Näiden järjestelyiden tavoitteena on saada aikaan tuottava kumppanuus molemmille sopimusosapuolille. Tuotantolaitoksissa kunnonvalvonnasta ja ennakkohuolloista vastaavilla henkilöillä on yleensä hyvin suuret mahdollisuudet havaita puutteita. Nämä voidaan helposti korjata ja saada tätä kautta

prosessia tai laitetta tehokkaammaksi. Kuvassa (KUVIO 14) on yksi esitystapa eri kunnossapitotapojen riippuvuuksista. (ABB 2000.)



KUVIO 14. Kunnonvalvonta osana kunnossapittoa. (mukaiillen ABB 2000.)

#### 4.1 Korjaava kunnossapito

Moottorien vikaantumisista aiheutuva korjaava kunnossapito aiheuttaa aina suurimmat menetykset ja kustannukset. Yksinkertaisimmillaan korjaava kunnossapito tarkoittaa sitä, että laite huolletaan vaurion jo synnyttyä. Tämä aiheuttaa yleensä katkoksen prosessiin. Yllättävän käyttökatkoksen aiheuttamat tuotannonmenetykset ovat tavallisesti itse korjaus kustannuksia suuremmat. Tärkeimmille laitteille rakennettiin aikaisemmin varalaitte nopeuttamaan vauriotilanteista selviämistä. Usein varalaitetta on mahdotonta järjestää ja aiheuttavat kuitenkin kustannuksia. (ABB 2000.)

## **4.2 Ennakoiva kunnossapito**

Tarkoituksena ennakoivalla kunnossapidolla on ehkäisevillä toimenpiteillä estää yllättävät vauriot ja siten myös yllättävät käyttökatkokset. Toimenpiteisiin kuuluvat ehkäisevä kunnossapito eli säännöllinen huoltotoiminta sekä mittaava kunnossapito. (ABB 2000.)

Ennakoivan kunnossapidon luonne on viime aikoina muuttunut yhä enemmän määräaikaishuolloista oikea-aikaisiin huoltoihin. Ajankohta ja sisältö määritellään pääosin kunnonvalvonnan mittausten ja erilaisten tarkastusten avulla. Mittaavaan kunnossapitoon kuuluvat osa-alueet ovat kunnonvalvonta, joka on jatkuvaa säännöllistä toimintaa sekä muu mittauksin tehtävä tarkastustoiminta. Usein mittaavassa kunnossapidossa havaitut ongelmat johtavat myös parantaviin toimenpiteisiin. (ABB 2000.)

## **4.3 Parantava kunnossapito**

Parantavan kunnossapidon tavoitteena on lisätä laitteiden suorituskykyä, käytettävyyttä, luotettavuutta ja turvallisuutta. Näin pyritään poistamaan esimerkiksi suunnitteluvirheistä johtuvat ongelmatapaukset tai vaurioiden perussyyt ja siten vähentämään kunnossapidon tarvetta. Usein laitteiden modernisoinnit ja uusinnat voidaan katsoa kuuluvan parantavan kunnossapidon piiriin, mikäli niiden toteuttamisen taustalla on kunnossapidollinen ongelma tai suoranaisesti laitteen käytettävyyttä ja luotettavuutta lisäävä muutostyö, jolla voidaan välttää uusi hankinta. (ABB 2000.)

## **4.4 Ehkäisevä kunnossapito**

Ehkäisevää kunnossapitoa suoritetaan säännöllisin välein tai asetettujen kriteerien täytyessä. Näin pyritään vähentämään rikkoontumisen mahdollisuutta ja toimintakyvyn heikkenemistä. (Mikkonen 2009, 99.)

#### **4.5 Mittaava kunnossapito**

Kehityksen myötä mittaava kunnossapito on noussut yhä tärkeämpään asemaan. Mittaavan kunnossapidon avulla voidaan järjestää oikea-aikainen tarpeettomat toimenpiteet eliminoiva kunnossapitotoiminta. Pyörivien koneiden kunnonvalvonnan lisäksi lähes kaikissa muissakin nykyaikaisissa prosessilaitteissa on kunnonvalvonta-, diagnostiikka- ja itsediagnostiikka ominaisuuksia. Kilpailun kaikkialla lisääntyessä nämä nousevat aina vaan merkittävämpään osaan. Kokonaisvaltaista kunnossapitoa toteuttavilla yrityksillä ne kaikki kuuluvat palveluvalikoimaan. (ABB 2000.)



## 5 KUNNONVALVONNAN MITTAUKSET

Kunnonvalvontamittauksilla pyritään koneen vikaantumisen havaitsemaan riittävän ajoissa ennen kuin vika pääsee liian vakavalle asteelle. Vikaantuminen voi johtaa koneen pysähtymiseen joko täydellisen särkymisen tai suojausjärjestelmän hälytysten laukeamisen takia. Mittauksilla esimerkiksi laakeriviat pystytään usein havaitsemaan niin aikaisin, että laakereilla voidaan turvallisesti ajaa vielä jopa kuukausia. Näin laakerin vaihto voidaan ajoittaa niin, että normaaliin tuotantoon ei tule haittaa. Kunnonvalvonnasta puhuttaessa tarkoitetaan yleisemmin sellaisia mittauksia, jotka suoritetaan laitteiden käydessä normaaleissa käyntiolosuhteissa niitä pysäyttämättä. Pääosa kunnonvalvonnasta keskittyy käytännössä pyörivien laitteiden mekaaniseen kunnon arviointiin. (ABB 2000.)

Yleensä kunnonvalvonta perustuu siihen, että alkavan vikaantumisen aiheuttama muutos pyritään havaitsemaan mitattavassa suureessa. Kunnonvalvonnassa olennaisin asia on normaalista poikkeavan tilanteen havaitseminen. Vikatilanteessa on tärkeää selvittää vian vakavuusaste ja se, millaisiin korjauksiin on varauduttava. Kunnonvalvonta voidaan jakaa seuraaviin osa-alueisiin:

- poikkeavan tilanteen havaitseminen (detektio)
- poikkeaman syyn selvittäminen (diagnoosi)
- arvio siitä, kuinka vakava poikkeama on (prognosi)
- toimenpidesuositus
- poikkeaman alkusyyn selvittäminen ja mahdollinen parantava toimenpide

Kun poikkeama huomataan ajoissa, jää tuleville toimenpiteille riittävästi aikaa ja tarvittavat päätökset voidaan tehdä perustuen todelliseen tietoon. Edellytyksenä kuitenkin on, että havaitut poikkeamat ovat todellisia poikkeamia eli että vääriä hälytyksiä tulee mahdollisimman harvoin. (ABB 2000.)

Kunnonvalvonnan käyttöönottoa puoltaa myös se, että kun mittauksin pystytään toteamaan tulevat vauriot jo hyvissä ajoin, voidaan ajoittain tehtävistä ”turhista”

huolloista luopua. Koneista voidaan näin korjata ainoastaan epäkuntoisiksi todetut osat. Kunnonvalvonta on nykyään olennainen osa kunnossapitoa. (ABB 2000.)

## 5.1 Mitattavat suureet

Kunnonvalvonta perustuu erilaisten fysikaalisten suureiden mittaamiseen laitteesta sen käynnin aikana. Säännöllisesti tehdyillä kunnonvalvontamittauksilla päästään parhaaseen tulokseen, sillä mitatut tulokset ovat keskenään vertailukelpoisia. Tällä tavoin mitatut arvot voidaan asettaa samalle asteikolle ja seurata niiden kehittymistä eli trendiä. Analyysien luotettavuus kasvaa, kun samasta laitteesta seurataan useita eri suureita. Tällöin käytetään nimitystä moniparametrivalvonta. Kunnonvalvonnalla voidaan seurata ainakin seuraavien suureiden vaihtelua. (ABB 2000.)

- tärinä (useita eri mittaussuureita)
- lämpötila
- voiteluöljyn puhtaus ja ominaisuudet
- sähkövirta
- paine, virtaus, käyntinopeus ja muut prosessisuureet

Tärinän eli värähtelyn mittaukset ovat näistä selvästi tärkein kunnonvalvonnan mittausmenetelmä. Koneen kuntoa voidaan parhaiten valvoa, kun tunnetaan eri mittausmenetelmien edut ja rajoitukset. Kunnonvalvontaohjelman suunnittelussa on tiedettävä:

- mitä mittauksia kannattaa tehdä ja miksi
- mistä mittaukset on järkevintä tehdä
- miten ne tehdään

Esimerkiksi tärinämittauksissa anturin paikan ja kiinnityksen valinnalla on erittäin suuri merkitys mittauksen onnistumiselle. Seuraavaksi tarkastellaan eri kunnonvalvontamenetelmien ominaisuuksia. (ABB 2000.)

## 5.2 Tärinä

Tärinä- eli värähtelymittauksiin perustuvia menetelmiä pidetään tehokkaimpina koneiden kunnonvalvonnassa silloin, kun arvioidaan dynaamisia ilmiöitä. Tällöin arvioidaan koneen tasapainoa, laakeroinnin kuntoa ja yleensä voimia, jotka kohdistuvat laitteen eri komponentteihin. (ABB 2000.)

Tärinä mittauksissa käytetään yleensä tiedonkeruulaitteita tai analysointilaitteita. Tietojen tallentaminen ja analysointi suoritetaan yleensä tietokoneella. Analysoinnin perusteella voidaan havaita esimerkiksi epätasapaino, mekaaniset välykset, rakenteen resonanssitaajuuudet, taipunut akseli ja asennusvirheet. Tärinää voidaan analysoida useilla eri tavoilla, joista yleisimpiä ovat nopeuden tehollisarvon mittaaminen (tärinärasitus) sekä spektrianalyysit. Suurin osa vaurioista voidaan löytää käyttämällä näitä kahta perusmenetelmää. (ABB 2000.)

Jos analysointi edellä mainituilla menetelmillä on todettu vaikeaksi, on olemassa tehokkaampia menetelmiä. Näitä ovat verhokäyräanalyysi ja korkeataajuisen akustisen värähtelyn mittaaminen. Verhokäyräanalyysissä tehdään signaalille toimenpiteitä ennen spektrianalyysiä, jotka helpottavat laakerivikojen havaitsemista. Korkealla taajuuskaistalla mitattaessa havaitaan metallimetalli kosketukset, joka on yleensä merkki puutteellisesta voitelusta tai alkavasta laakerivauriosta. (ABB 2000.)

## 5.3 Prosessisuureet

Prosessisuureiden käyttö koneiden kunnonvalvonnassa on melko vähäistä, vaikka ne ovat periaatteessa helposti saatavissa prosessin ohjauksesta. Prosessitiedon ja esimerkiksi värähtelymittausten rinnan käyttö antaa usein lisäpohjaa päätöksen teolle. Prosessista saatavia suureita ovat paine, lämpötila, virtaus, nopeus ym. tiedot. Prosessiautomaation ja kunnonvalvonnan integroiminen näyttää olevan tulevaisuuden kehityssuunta. (ABB 2000.)

## 5.4 Lämpötila

Mekaanisen laitteen käynnin aikana tapahtuva lämpötilan kohoaminen on yleensä merkinä kasvaneesta kitkasta, joka johtuu laitteen vauriosta tai voiteluhäiriöstä. Pyörivissä koneissa lämpötila kohoaa yleensä vasta siinä vaiheessa, kun vaurio on jo niin vakavalla asteella, että korjausten valmisteluun jäävä aika on liian pieni. (ABB 2000.)

Staattorikäimitystä syöttävä vaihe saattaa ajan myötä löystyä esimerkiksi moottorikaapelin liitännäkotelon liitoksessa, moottorikaapelin syöttöpäässä, moottorinsuojakytkimellä tai turvakytkimellä. Löystyminen aiheuttaa moottorille vaiheiden välistä virtaepäsymmetriaa, joka aiheuttaa moottorin kuumenemisen. (Kokko 2009, 374.)

Isoimmilla moottoreilla valvonta tapahtuu virtaepäsymmetriasuojauksella, joka seuraa moottoreiden vaihevirtoja ja kytkee moottorin eroon epäsymmetrian kasvaessa liian suureksi. Pienillä moottoreilla kuormitusvirran valvontaan käytetään tavallisesti lämpöreleitä. (Kokko 2009, 375.)

## 5.5 Voiteluaineanalyysit

Öljyanalyysi on parhaimmillaan nopea, tehokas ja hyvin edullinen kunnossapidon työkalu kunnonvalvontaan ja koneiden käynnissäpitoon. Analyysitulosten perusteella voidaan parantaa koneiden luotettavuutta, seurata koneiden kulumistasoa, pidentää koneiden komponenttien elinikää ja samalla koneiden elinkaarta. (Vesala 2010, 32.)

Mitattujen tulosten perusteella voidaan suunnitella ennakoidusti esimerkiksi seisokkeja sekä suunnitella kunnossapitotöiden järjestystä. Voiteluaineanalyysistä on merkittävää apua myös voiteluainevalinnoissa, öljynvaihtovälien pidentämisessä, suodattimien tukkeutumisselvityksissä, vaurioanalyysissä ja monissa muissa ongelmissa. (Vesala 2010, 32.)

## 5.6 Sähkövirta

Roottorin kuntoa voidaan arvioida luotettavasti moottorin ottamasta sähkövirrasta tehtävän spektrianalyysin avulla. Roottorianalyysi voidaan suorittaa samalla tiedonkeruulaitteella kuin tärinämittaus. Tällöin yhdestä moottoria syöttävästä vaihejohtosta mitataan virtasignaalia analyysiä varten, joka tallennetaan tiedonkeruulaitteen muistiin. Virtamittaus voidaan suorittaa joko ensiö- tai toisiovirtapiiristä. (ABB 2000.)

Roottorin kunto voidaan arvioida tarkastelemalla mitatusta virtasignaalista lasketua taajuusspektriä. Spektriä tarkastellaan verkkotaajuuden 50Hz ympäristössä käyttäen logaritmista amplitudiasaikkoo. Jos roottorissa on vikoja, nähdään verkkotaajuuden molemmin puolin sivunauhat jättämän etäisyydellä. Mahdollisten sivunauhojen voimakkuuden ja paikan perusteella tehdään lopulliset päätelmät vian tyypistä ja vakavuudesta. Kun moottori on hyvässä kunnossa, sivunauhat ovat erittäin matalia. Usein jopa niin matalia, että niitä ei pysty kohinasta erottamaan. (ABB 2000.)

TAULUKKO 1. Oikosulkumoottorin roottorin kunnan arviointi virtaspektrimittauksella. (mukaillen Kokko 2009, 389.)

| <b>dB-arvo</b> | <b>Roottorin kunto</b>                                 |
|----------------|--|
| > 60 dB        | Hyvä kunto   |
| 50..60 dB      | Roottorisauvoissa ylimenovastusta                      |
| 40..50 dB      | Roottorisauvoissa ja/tai päätyrenkaassa murtumia       |
| 30..40 dB      | Roottorisauvoja katkennut ja/tai päätyrengas katkennut |
| < 30 dB        | Vakava vaurio  |

## 6 EPÄTAHTIMOOTTOREIDEN HUOLTOTARVE

Kolmivaiheinen oikosulkumoottori on yleisin teollisuuden käytössä oleva sähkömoottori. Rakenteeltaan oikosulkumoottori on hyvin yksinkertainen ja siksi käytännössä ainoat kuluvat osat ovat laakerit.

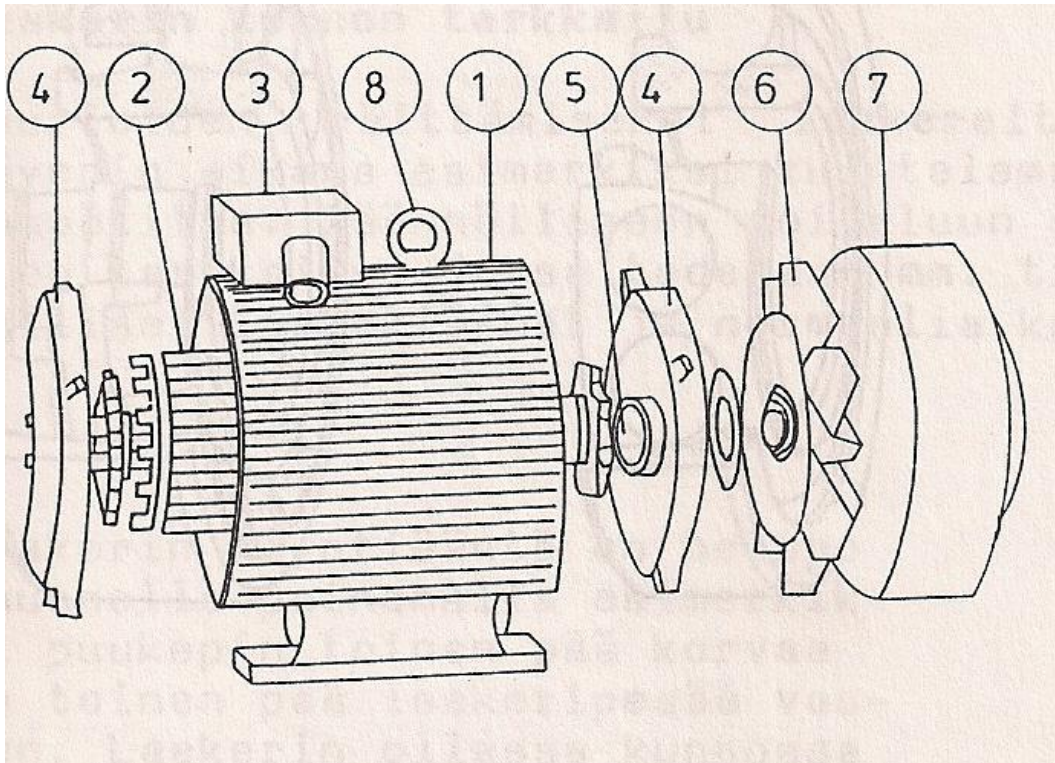
Säännöllisellä huollolla saatetaan ehkäistä laakerivaurio tai jonkin muun syyn aiheuttama käämityksen vioittuminen. Teollisuuslaitokset suorittavat huollot yleensä moottorien valmistajien suositusten, käyttöolojen ja kokemuseräisten huoltovälien mukaisesti. Huollon tarve määräytyy useista tekijöistä:

- laakerien kestoikä
- voitelumahdollisuus
- olosuhteet
- käyttöpaikka
- ympäristön lämpötila
- käytön luonne

Laakerihuollon yhteydessä tehdään yleensä myös muuta ennakkohuoltoa. Kaikista varotoimenpiteistä huolimatta ilmenee moottoreissa, kuten muissakin laitteissa, eriyistä johtuvia vikoja, jotka on korjattava. Sähköiset vauriot käämityksissä tai liitäntäkoteloidissa vaativat välittömiä toimenpiteitä, joko korjausta tai moottorin vaihtamista. (Haapakoski, Huhtamäki, Kuuluvainen & Kytölä 1989, 79.)

### 6.1 Huoltokohteet

Moottorin huollettavat osat ovat: runko, laakerit, käämitykset, virroituslaitteet, tuuletus, roottori ja akseli. Tässä kappaleessa tulevia tarkastus- ja huoltotoimenpiteitä voidaan soveltaa epätahtikoneiden lisäksi myös muihin pyöriviin sähkökoneisiin. (Haapakoski ym. 1989, 81.)



KUVIO 15. Oikosulkumoottorin rakenne. 1 staattori, 2 roottori, 3 liitäntäkotelo, 4 laakerikilvet, 5 kuulalaakerit, 6 tuuletin, 7 suojus, 8 nostosilmukka. (mukaillen Haapakoski ym. 1989, 81.)

## 6.2 Runko

Moottorin koossapitäjä on runko, joka suojaa käämityksiä ja pyöriviä osia vierailta esineiltä, pölyltä, vedeltä ja kaasuilta. Runko toimii myös kosketussuojana ja jäähdytyselimenä. Toiminnan kannalta on tärkeää pitää moottorin runko puhtaana. Laakerikilpiä pyritään suojaamaan iskuilta ja muilta vaurioilta. Rungon syöpymistä voidaan ehkäistä puhdistamalla ja suojamaalauksella. Moottorin runkoa ei pitäisi peittää kasvavien maalikerrosten alle varsinkaan, jos runko muodostaa pääasiallisen jäähdytyspinnan. (Haapakoski ym. 1989, 81.)

### 6.3 Laakerit ja voitelu

Kuula- ja rullalaakereilla varustetut sähkökoneet toimitetaan tehtaalta valmiiksi voideltuina, joten niitä ei tarvitse voidella ennen ensi käynnistystä. Hitaissa ja pienissä moottoreissa, joissa ei ole ulkopuolista voitelunippaa, riittää tehtaalla suoritettu voitelu yleensä useiksi vuosiksi. Nopeasti pyöriviä ja suurempia moottoreita tulee voidella useammin käyttötavasta ja ympäristöolosuhteista riippuen. Voiteluun tulee käyttää vain ensiluokkaisia vierintälaakerirasvoja. (Aura & Tonteri 1996, 210.)

Suurissa sähkömoottoreissa on voitelunipat. Laakerit voidellaan koneen pyöriessä puristamalla niihin voitelunippojen kautta rasvaa. Parhaiten tähän tarkoitukseen soveltuu rasvapuristin, joka yhdellä painalluksella antaa tietyn rasvamäärän. Rasvapuristin tulee täyttää niin, että voiteluaineen sisään ei jää ilmakuplia, jotka voisivat aiheuttaa vaillinaisen voitelun. Voitelunippa tulee puhdistaa huolellisesti ennen rasvaamista, jotta epäpuhtaudet eivät pääse laakeriin. Voiteluväliaika ja rasvamäärä vaihtelevat laakerin koosta, lajista, pyörimisnopeudesta, koneen käyntiasennosta ja ympäristöolosuhteista riippuen. Laakerien koot ja lajit saadaan selville koneen arvokilvestä sekä valmistajan toimittamasta mittapiirrustuksesta. Voitelutiheys ja rasvamäärä katsotaan koneen valmistajan antamasta taulukosta. (Aura & Tonteri 1996, 210.)

Moottorien käyttöikä on moottorin koosta riippuvainen. Käyttöikäksi pienimmillä moottoreilla arvioidaan keskimäärin 15 vuotta, mutta moottorin koon kasvaessa käyttöikä kasvaa, ja tehon lähestyessä 90 kW:a on arvioitu käyttöikä jo lähes 30 vuotta. (Motiva 2010.)

Pystyasennossa toimivaa moottoria tulee voidella noin kaksi kertaa useammin, kuin vastaavaa vaaka-akselista konetta. Rullalaakereilla voiteluaika on puolet vastaavan kokoisen uralaakerin voiteluväliajasta. Suositeltavaa on kuitenkin voidella konetta kerran vuodessa, vaikka koneen käyttötuntimäärä olisi vähäinen tai pieni pyörimisnopeus edellyttäisi pitempää voiteluväliä. (Aura & Tonteri 1996, 210.)



Laakereiden kuntoa pystytään kuuntelemalla tarkkailemaan käynnin aikana. Tämä tapahtuu esimerkiksi painamalla kepin toista päätä korvaan ja toista laakeripesää vasten. Laakerin ollessa kunnossa kuuluu vain hiljaista surinaa. Kovemaksi muuttunut laakerin ääni on merkki laakerin vioittumisesta. (Aura & Tonteri 1996, 210.)



KUVIO 16. Moottoreissa käytettäviä vierintälaakereita. 1 yksirivinen uralaakeri, 2 lieriömäinen rullalaakeri, 3 viistokuulalaakeri, 4 kaksirivinen pallomainen rullalaakeri. (Internordic 2010.)

#### 6.4 Käämitykset

Käämitykset kannattaa tarkistaa aina, kun kone joudutaan jostain syystä avaamaan, esimerkiksi laakerihuollon takia. Huomiota käämityksen tarkastuksessa on kiinnitettävä likaantumiseen ja käämityksen löystymiseen. Likaantumisesta saadaan selville sen aiheuttaja ja likaantumisnopeus. Näitä tietoja voidaan käyttää myöhemmissä tarkastuksissa ja huolloissa hyödyksi. Moottorin käämityksen löystyminen viittaa koneessa esiintyvään värinään. Erityisesti nopeasti likaantuvissa, läpituuletetuissa, voimakkaasti tärisevissä ja erikoisen tärkeissä koneissa tulisi tehdä säännöllisesti toistuvia tarkastuksia. (Aura & Tonteri 1996, 208.)

Likaantumistarkastuksien yhteydessä tulisi erityistä huomiota kiinnittää vyyhdenpäihin ja vyyhtien väleihin, joissa lika huonontaa jäähdytystä. Kun arvioidaan koneen liiallista värinää, on huomio kiinnitettävä vyyhtien otsatukien ja urakiilojen hölytymiseen, halkeamiin, värinän muodostaman jauheen ja ruosteen syntymiseen. (Aura & Tonteri 1996, 208.)

Tarkastuksista on hyvä pitää tarkastuspöytäkirjaa, johon kaikki edellä mainitut asiat ja muut havaitut epätavallisuudet merkitään. Tarkastuksen perusteella voidaan päättää sopivimmat huoltotoimenpiteet. (Aura & Tonteri 1996, 208.)

#### **6.4.1 Puhdistus**

Käämityksen puhdistus voidaan toteuttaa kahdella tavalla, joko kuiva- tai märkäpuhdistuksena. Kuivapuhdistusta käytetään silloin, kun lika on kuivaa ja helposti irtoavaa. Se suoritetaan imuroimalla tai puhaltamalla. Imurointi on parempi vaihtoehto, sillä puhaltaminen voi painaa lian syvemmälle käämityksessä oleviin rakoihin. (Aura & Tonteri 1996, 208.)

Kuivapuhdistusta tehokkaampi menetelmä on märkäpuhdistus, mutta se vaatii usein käämityksen kuivauksen puhdistuksen jälkeen. Märkäpuhdistus suoritetaan joko vesipesuna tai liotinpesuna. Täydennykseksi tehdään kuivapuhdistus pyyhkimällä kostealla rätillä. (Aura & Tonteri 1996, 208.)

Vesipesua käytetään, jos lika on sellaista, että se liukenee veteen. Veteen voidaan lisätä myös pesutehoa lisääviä aineita. Näitä aineita käytettäessä on käämitys huuhteltava huolellisesti vedellä, koska tehosteaineet saattavat olla sähköä johtavia. Viimeiseen huuhteluun tulee käyttää tislattua vettä. (Aura & Tonteri 1996, 208.)

Liutinpesua käytetään, kun lika sisältää voiteluaineita tai pikimäistä likaa. Liutinseokset ovat usein tehokkaampia, kuin jokin liuotin yksin. Ennen pesua kannattaa kokeilla, ettei liuotin vahingoita tai pehmennä eristettä. Yleensä pesuliuottimet ovat lievästi myrkyllisiä, joten pesupaikan tuuletuksen pitää olla tehokas tai on käytettävä raitisilmanaamaria. (Aura & Tonteri 1996, 209.)



KUVIO 17. Käämitys ennen ja jälkeen puhdistusta. (Coldblasters 2010.)

#### 6.4.2 Kuivaus

Kuivaus suoritetaan, jos käämitys on jostain syystä kostunut, esimerkiksi käämityksen tarkastuksen, huollon tai pesun aikana. Kuivaamisessa perustekijät ovat tuuletus ja lämpö. Kuivauslämpötilan ollessa n. 100 °C haihtuu vettä, jonka tuuletus kuljettaa pois. Kuivaus voidaan suorittaa kolmella eri tavalla:

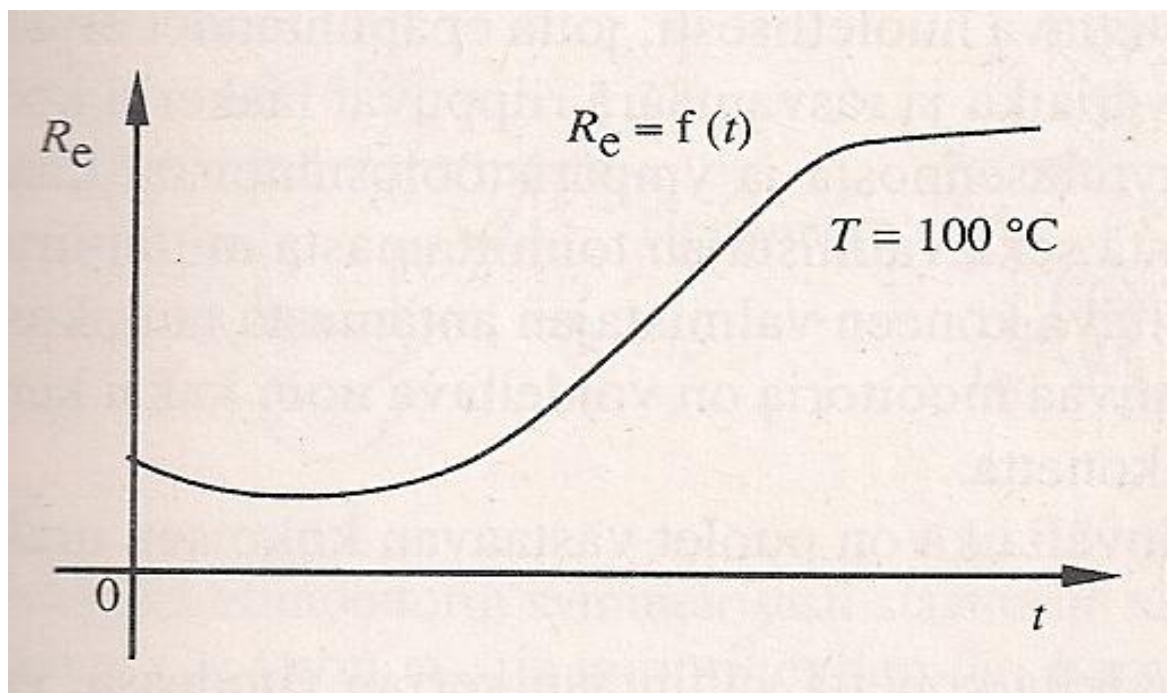
- uunikuivauksena
- sähkövirtakuivauksena
- lämminilmapuhalluskuivauksena

Kaikissa tapauksissa on huolehdittava tehokkaasta tuuleuksesta. Koneen eristysresistanssi muuttuu kuivauksen aikana likimäärin kuvan (KUVIO 18) mukaisesti. Alussa eristysresistanssi pienenee, sillä käämityksen lämpötila nousee, mutta al-

kaa suureta, kun kosteuden poistuminen vaikuttaa enemmän kuin lämpötilan nousu. Eristys on kuiva, jos käämityksen eristysresistanssi on:

$$R_e = \frac{U_n/V}{750 + 1500 \frac{D}{L}} \text{ M}\Omega \quad (1)$$

jossa:  $U_n$  = nimellisjännite,  
 $D$  = levypaketin läpimitta,  
 $L$  = levypaketin pituus.



KUVIO 18. Sähkökoneen eristysresistanssin muuttuminen kuivauksen aikana.  $t$  = aika. Lopullinen kuivauslämpötila  $T = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ . (Aura & Tonteri 1996, 209.)

Lämpötilan muuttuessa koneiden eristysresistanssi muuttuu huomattavasti. Yhtälön (1) kuvassa (KUVIO 18) antama eristysresistanssi  $R_e$  vastaa lämpötilaa  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ . Kuivauksen tapahtuessa lämpötilassa, joka poikkeaa  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ : sta, on kuivauksen aikana mitattu eristysresistanssi redusoitava  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ :n lämpötilaan taulukosta (TAULUKKO 2) saatavalla kertoimella. Tällöin mitattu eristysresistanssi (KUVIO 18) ja yhtälön (2) eristysresistanssi ovat vertailukelpoisia. (Aura & Tonteri 1996, 209.)

$$R_e = kR_{em} \quad (2)$$

jossa:  $R_e$  = eristysresistanssi, jos kuivaus tapahtuisi 100 °C:n lämpötilassa,  
 $R_{em}$  = eristysresistanssi, kun kuivatuslämpötila  $T$  = taulukkolämpötila,  
 $k$  = redusointikerroin.

TAULUKKO 2. Eristysresistanssin muuttaminen mielivaltaisesta lämpötilasta 100 °C: seen. (Aura & Tonteri 1996, 210.)

|                            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $\frac{T}{^\circ\text{C}}$ | 75   | 80   | 85   | 90   | 95   | 100  | 105  | 110  | 115  | 120  |
| <b>k</b>                   | 0,18 | 0,25 | 0,35 | 0,50 | 0,70 | 1,00 | 1,40 | 2,00 | 2,80 | 4,00 |

Huoneen lämpötilassa (20 °C) eristysresistanssi on likimäärin 20-kertainen verrattuna saman eristyksen eristysresistanssiin käyttölämpötilassa (100 °C). Eristysresistanssin avulla on syytä tarkkailla erityisesti suurten koneiden kuivausta. (Aura & Tonteri 1996, 210.)

## 6.5 Roottori ja akseli

Moottorin ylikuormittaminen aiheuttaa roottorin ylikuumentumista ja sen kunnan heikkenemisen. Lisäksi kuumentunut roottori nostaa akselin lämpötilaa, joka puolestaan johtaa akselin taipumiseen. Moottorin ylikuormitusta voidaan valvoa ylikuormitussuojauksella, lämpöreleellä tai lämpötilamittauksella. (Kokko 2009, 375.)

## 6.6 Tuuletus

Tuuletusilman pääsy koneeseen tulee olla esteetön ja tuuletustiehyet on pidettävä puhtaina. Tuuletusaukko tulee olla riittävän etäällä seinästä ja muista esteistä. Yleensä suurin sallittu ympäristön lämpötila on +40 °C, ellei valmistaja toisin ilmoita. Sähkömoottorin asennuksessa, käytössä ja huollossa on aina tarkoin noudatettava koneen valmistajan antamia ohjeita. (Aura & Tonteri 1996, 210.)

Sähkömoottorille suurinta haittaa aiheuttaa ylikuumeneminen. Käyttölämpötilan nouseminen aiheuttaa ongelmia sekä eristysaineelle että laakerin voitelulle. Tämän takia on tärkeää, että moottori voi käydä normaalilämpöisenä. Moottorit ovat joko omalla tuulettimella varustettuja tai niissä on pakkotuuletus eli ulkopuolinen puhallin, jolla huolehditaan riittävästä tuuleuksesta. (Kujala & Randell 2010, 46-48.)

## 7 KUNNOSSAPITOPALVELU JA PALVELUTUOTTEET

Useissa Tutkimuksissa ja käytännön elämässä on todettu, että palvelujen tehokkuuden ja laadun yhtenä avaintekijänä on se, että palvelutoiminta perustuu selkeästi määriteltujen palvelutuotteiden myymiseen ja suorittamiseen. Tuotteistaminen on asiakaslähtöistä palvelun määrittelyä, suunnittelua, kuvaamista, konkretisointia, tuotantovalmiuden luomista ja markkinoille saattamista niin, että tuotteelle asetetut vaikuttavuus- ja asiakashyöty- sekä muut tulostavoitteet toteutuvat. (Laine 2010, 171.)

Kunnossapitopalveluita tuottavan yrityksen pitää kyetä arvioimaan millaisia palvelutuotteita asiakas tarvitsee. Asiakas ei välttämättä aina tarvitse kaikkia tarjolla olevia palvelutuotteita (KUVIO 19). Asiakkaan tulee saada riittävän suuri taloudellinen hyöty palveluista, jotta sen kannattaa ostaa niitä. Tällöin arvioidaan, mikä on palvelujen kohteina olevien laitteiden taloudellinen merkitys asiakkaalle. (Laine 2010, 183.)



KUVIO 19. Kunnossapitopalvelujen palvelutuotteisto. (Laine 2010, 183.)

Heikko kunnossapito voi aiheuttaa vahinkoja, joiden taloudellinen merkitys on moninkertainen verrattuna kunnossapidon kokonaiskustannuksiin. Ostettaessa kunnossapitopalveluja ostetaan itse asiassa tuotantokapasiteettia. (Laine 2010, 169.)

## 7.1 Kokonaisvaltainen kunnossapito

Kokonaisvaltaisen kunnossapidon tavoitteena on pitkäaikainen kumppanuus ja yhteistyö. Tämä mahdollistaa asiakkaan keskittymisen ydinliiketoimintaansa ja parantaa kunnossapidon laatua ja tehokkuutta sekä samalla varmistaa asiakkaan tuotantotavoitteiden saavuttamisen. Lisäksi pyritään pienentämään kunnossapidon kokonaiskustannuksia tuotantolaitteiston luotettavuutta vaarantamatta sekä varmistamaan koneiden ja laitteiden turvallisuus. Kunnossapidon osaamisella ja osaamis pohjan laajentamisella pyritään varmistamaan, että tuotantolaitosten käytettävyys pysyy korkealla tasolla. (Huhtala 2008, 66–68.)

Kokonaisvaltaisessa kunnossapidossa yhteistyön laajuus ei rajoitu pelkästään tuotantolaitoksilla tapahtuvaan perinteiseen mekaaniseen ja sähköiseen kunnossapitotoimintaan, vaan kunnossapito- ja palvelusopimusten sisältö ja kattavuus on laajempaa. Palvelutarjonta sisältää palveluntarjoajasta riippuen seuraavia palveluita:

- laajennukset ja uusinnat
- energiatehokkuuspalvelut
- päivystyspalvelut ja varaosat
- laboratorio- ja ympäristöpalveluita
- konsultointi- ja suunnittelupalvelut
- asiantuntijapalvelut ja kuntokartoitukset
- asennus, käyttöönotto ja korjaamopalvelut
- mittaava, ennakoiva ja korjaava kunnossapito
- tekninen tuki ja koulutus (Huhtala 2008, 66-68; Promaint 2011.)

## 7.2 Kunnossapitopalvelujen tarjoajat Suomessa

Seuraavan sivun taulukossa (TAULUKKO 3) on esitetty huolto-, korjaus- ja kunnonvalvontapalveluita tarjoavia yrityksiä. Tämän alapuolella (TAULUKKO 4) on kokonaisvaltaista kunnossapittoa tarjoavia yrityksiä. Taulukoissa toimipaikan kohdalle on merkittynä yritysten päätoimipaikat ja mikäli yrityksellä on useampia toimipaikkoja, niin suluissa oleva numero kertoo niiden lukumäärän.



TAULUKKO 3. Sähkömoottoreiden huolto-, korjaus- ja kunnonvalvontapalvelujen tarjoajia. (Promaint 2011.)

| <b>Palveluntarjoaja</b>        | <b>Palvelutuotteet</b> | <b>Toimipaikka</b> |
|--------------------------------|------------------------|--------------------|
| Hautalan Sähkömoottori Oy      | Huolto ja korjaus      | Tampere            |
| Neurovision Oy                 | Kunnonvalvonta         | Lohja              |
| Rauman Sähkökonehuolto Oy      | Huolto ja korjaus      | Rauma              |
| SPM Instrument Oy              | Kunnonvalvonta         | Espoo              |
| Sähkö Järvenpää Oy             | Huolto ja korjaus      | Lempäälä           |
| Sähkö-Alila Ky                 | Huolto ja korjaus      | Kotka              |
| Sähkö-Team Oy                  | Huolto ja korjaus      | Helsinki           |
| Sähkökonekorjaus Pursiainen Oy | Huolto ja korjaus      | Kuopio             |
| Tampereen Sähkökonekorjaamo Oy | Huolto ja korjaus      | Tampere            |

TAULUKKO 4. Kokonaisvaltaisen kunnossapidon tarjoajia. (Promaint 2011.)

| <b>Palveluntarjoaja</b>      | <b>Toimipaikka ( muut toimipaikat )</b> |
|------------------------------|---|
| ABB Oy                       | Helsinki ( 8 )                          |
| Efora Oy                     | Helsinki ( 6 )                          |
| Empower Oy                   | Helsinki ( 35 )                         |
| Fortum Service Oy            | Espoo ( 50 )                            |
| KP-ServicePartner Oy         | Siilinjärvi ( 5 )                       |
| Maintpartner Oy              | Espoo ( 30 )                            |
| Omp Works Oy                 | Oulu                                    |
| Siemens Oy                   | Espoo (10 )                             |
| Simsotec Oy                  | Rauma ( 3 )                             |
| Serman Oy                    | Rantsila                                |
| Tornion Sähköpojat Oy        | Tornio                                  |
| Uudenmaan huoltotekniikka Oy | Kerava                                  |
| YIT Teollisuus Oy            | Helsinki ( 98 )                         |

## 8 YHTEENVETO

Tuntuu olevan niin, että kunnossapidossa on lähes mahdotonta löytää täydellistä ihanneratkaisua siitä, mitä toimenpiteitä kannattaa tehdä ja milloin. Joskus on pakko kriitisten laitteiden osalta tehdä myös joitakin töitä ”varmuuden vuoksi”. Kuitenkin pitäisi löytää optimi, eli tehdä oikeita töitä oikeaan aikaan. Kunnossapito vaatii jatkuvaa kehittymistä.

Moottoreiden kunnonvalvonta- ja huoltotapoja on monia ja niistä kannattaa valita tapauskohtaisesti hyödyllisimmät menetelmät. Onnistuneesti valituilla kunnonvalvonta ja huolto menetelmillä voidaan saavuttaa tuntuvia taloudellisia säästöjä. Tehokkaalla kunnonvalvonnalla pystytään ennakoimaan tulevat vikatilanteet, jolloin vältytään esimerkiksi odottamattomilta seisokeilta. Lisäksi oikea-aikainen huolto pidentää moottoreiden elinikää, joka puolestaan vähentää materiaali kuluja.

Teollisuuden elinympäristöllemme aiheuttama rasitus on tunnustettu realiteetti. Tulevaisuudessa tullaan varmasti yhä enenevässä määrin hakemaan ratkaisuja, joilla ympäristölle aiheutettua räsitusta voitaisiin pienentää. Tämä kehitys vaikuttaa varmasti kunnossapidon ja sitä tukevien tekniikoiden arvostukseen. Huonolla hyötysuhteella ja vaatimattomalla käytettävyydellä toimivan sekä keinoa laatua tuottavan teollisuuslaitoksen aiheuttama ympäristörasitus saattaa olla kymmen- tai satakertainen hyvin kunnossapidettyyn ja huollettuun laitokseen verrattuna. Kaikkiaan kestävän kehityksen ja ympäristötietoisuuden voidaan olettaa vaikuttavan dramaattisella tavalla kunnossapidon ja sitä kautta kunnonvalvonnan ja huollon arvostukseen.

Kokonaisuudessaan tämä opinnäytetyöprojekti on ollut mielenkiintoinen. Olen ollut tyytyväinen opinnäytetyöni aiheeseen. Tämän opinnäytetyöprojektin aikana olen saanut monipuolista tietoa epätahtimoottoreista ja niiden kunnossapidosta.

## LÄHTEET

### Kirja

Aura, L. & Tonteri, A. 1996. Sähkökoneet ja tehoelektroniikan perusteet. Porvoo: WSOY.

Ahoranta, J. 2006. Sähkötekniikka. 8. Helsinki: WSOY.

Haapakoski, Y., Huhtamäki, P., Kuuluvainen, E. & Kytölä, E. 1989. Sähköasennuksien ja –laitteiden korjaus. Helsinki: Valtion painatuskeskus.

Laine, H. 2010. Tehokas kunnossapito. Kerava: Savion Kirjapaino Oy.

Mikkonen, H. 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito. Kerava: Savion Kirjapaino Oy.

Kokko, V. 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito. Kerava: Savion Kirjapaino Oy.

### Lehtiartikkeli

Huhtala, R. 2008. Kokonaisvaltaista kunnossapitoa Kokkolassa. Promaint 4/2008, 66-68.

Kokko, V. 2008. Sähkömoottorit käynninaikainen kunnonvalvonta. Promaint 5/2008, 42-48.

Kujala, S. & Randell, K. 2010. Sähkömoottorin peruskunnonvalvonta kannattaa. Promaint 5/2010, 46-48.

Vesala, M. 2010. Voiteluhuollon analyysiohjelmalla etsitään säästöjä. Promaint 8/2010, 32-35.

## Sähköinen julkaisu

ABB, teknisiä tietoja ja taulukoita – käsikirja.

Www-dokumentti. Saatavissa:

<http://heikki.pp.fi/abb/>. Luettu 8.1.2011.

Www-dokumentti. Saatavissa:

<http://www.alibaba.com>. Luettu 24.2.2011.

Www-dokumentti. Saatavissa:

<http://www.coldblasters.net>. Luettu 8.12.2010.

Www-dokumentti. Saatavissa:

<http://www.internordic.biz>. Luettu 8.12.2010.

Www-dokumentti. Saatavissa:

<http://motiva.fi>. Luettu 8.1.2011.

Www-dokumentti. Saatavissa:

<http://optimumenergy.com>. Luettu 24.2.2011.

Www-dokumentti. Saatavissa:

<http://www.promaint.net>. Luettu 24.2.2011.

Www-dokumentti. Saatavissa:

<http://tilastokeskus.fi>. Luettu 8.1.2011.

Www-dokumentti. Saatavissa:

<http://wikipedia.fi>. Luettu 8.1.2011.