

# RAP5-LINJAN SÄHKÖMOOTTOREIDEN KARTOITUS

Kristian Sammallahti

Opinnäytetyö  
Tekniikka ja liikenne  
Sähkötekniikka  
Insinööri (AMK)

2015

Tekniikan ja liikenteen osaamisala  
Sähkötekniikka

---

<b>Tekijä</b>	Kristian Sammallahti	Vuosi	2015
<b>Ohjaajat</b>	Jaakko Etto, DI Einari Fyhr, DI		
<b>Toimeksiantaja</b>	Outokumpu Stainless Oy		
<b>Työn nimi</b>	RAP5-linjan sähkömoottoreiden kartoitus		
<b>Sivu- ja liitemäärä</b>	71 + 2		

---

Työn aiheena oli sähkömoottoreiden kartoittaminen RAP5-linjalle. Työn tavoitteena oli tehdä tarpeellinen dokumentaatio kenttä- ja varastokartoituksen perusteella. Kartoitustyön eri vaiheet kerrotaan työssä yksityiskohtaisesti ja varastointinimikkeisiin liittyviä ongelmia käsitellään. Työn toisena vaiheena toteutettiin suoraan verkkoon kytkettyjen sähkömoottoreiden optimoinnin arviointi. Optimoinnin arvioinnissa tarkastellaan moottoreiden käyttöasteita, kuormituksia ja hyötysuhteita. Työ tehtiin Outokumpu Stainless Oy:lle alkuvuodesta 2015.

Opinnäytetyön teoriaosassa käsitellään sähkömoottoreiden IEC-standardeja, teknisiä tietoja, moottoreiden vikaantumisia ja kunnossapidon perusteita. Myös linjalla esiintyvät sähkömoottorityypit esitellään työssä. Lähdemateriaalina käytettiin alan kirjallisuutta ja valmistajien sekä maahantuojien materiaaleja.

Opinnäytetyön toteuttaminen oli mielenkiintoinen ja vaativa prosessi. Tiukasta aikataulusta huolimatta työssä päästiin toivottuun lopputulokseen. Lopputuloksena saatiin päivitetty dokumentoinnit koskien linjalla käytettäviä sähkömoottoreita ja optimoinnin arviointia. Lopullinen dokumentaatio vastasi haluttua ja se sisältää tietoja sähkömoottoreista koskien mahdollisia varamoottoritarpeita RAP5-linjalla. Kartoituksen perusteella varamoottorinimikkeet lisättiin myös KU-TI-tietojärjestelmään.

Avainsanat sähkömoottorit, kartoitus, kunnossapito, dokumentointi, optimointi

School of Industry and Natural Resources  
Electrical Engineering

---

<b>Author</b>	Kristian Sammallahti	Year	2015
<b>Supervisor(s)</b>	Jaakko Etto, M.Sc (Tech.) Einari Fyhr, M.Sc (Tech.)		
<b>Commissioned by</b>	Outokumpu Stainless Oy		
<b>Subject of thesis</b>	Mapping of Electrical Motors for RAP5-line		
<b>Number of pages</b>	71 + 2		

---

The object of this thesis was to map electrical motors for RAP5-line. Aim of the work was to make necessary documentation based on field and storage mapping. Different steps of mapping work are explained in detail and problems regarding storage information of motors are discussed. The second part of the project was to evaluate optimization of the direct on line connected squirrel caged induction motors in various pump and blower applications. Subjects as utilization rate, load and efficiency of motors are examined in the evaluation of optimization. The project was commissioned by Outokumpu Stainless Oy at the beginning of the year 2015.

Subjects such as IEC-standards for electrical motors, technical information, accessories, malfunction mechanics of motors and basics of maintenance are discussed in the theory part of thesis. Types of electrical motors concerning process line are also presented. Field-specific literature and brochures from manufacturers and other suppliers were used as source material.

Making of this thesis was interesting and demanding long-term process. Despite the faced timetable difficulties the project was successful. Updated documentation concerning mapping of the motors and evaluation of optimization were results of the project. The final outcome was desired and it provides information concerning possible need of backup motors for RAP5-line. Based on mapping process the information of backup motors were inserted in to the KUTI maintenance software.

Key words                      electric motor, mapping, maintenance, documentation, optimization

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	8
1.1	Opinnäytetyön esittely.....	8
1.2	Outokumpu Oyj.....	8
1.2.1	Tornion tehtaat .....	9
1.2.2	Kylmävalssaamo 2 - RAP5-linja .....	10
2	SÄHKÖMOOTTORIT.....	11
2.1	Epätahtimoottorit.....	11
2.1.1	Epätahtimoottoreiden roottorit .....	12
2.1.2	Epätahtimoottorin hyötysuhde ja tehon jakautuminen .....	12
2.2	Tahtimoottorit.....	14
2.3	Tasavirtamoottorit .....	16
2.4	Sähkömoottoreiden tekniset tiedot.....	17
2.4.1	Kilpiarvot .....	18
2.4.2	Käyttötavat .....	19
2.4.3	Pyörimissuunta ja liitinmerkinnät .....	24
2.4.4	Kotelointi .....	26
2.4.5	Jäähdytys .....	27
2.4.6	Eristysluokat.....	28
2.4.7	Hyötysuhdeluokitukset .....	29
2.4.8	Rakenne- ja asennuslajit .....	30
2.4.9	Laakerit .....	34
2.5	Lisälaitteet.....	35
2.5.1	Enkooderit .....	35
2.5.2	Lämpötila-anturit.....	37
2.5.3	Jarrut .....	38
2.6	Sähkökoneiden vikaantuminen .....	39
2.6.1	Staattorikäämityksen terminen vikaantuminen .....	39
2.6.2	Staattorikäämityksen eristyksen kostuminen.....	40
2.6.3	Syöttöjännitteen ja syöttövirran epäsymmetria .....	40
2.6.4	Vaihesyötön liitoksen löystyminen tai katkeaminen.....	40
2.6.5	Roottorikäämityksen sauvojen murtuminen.....	41
2.6.6	Taajuusmuuttajakäyttöjen erityispiirteet .....	41

3	KUNNOSSAPITO .....	44
3.1	Kunnossapito PSK:n mukaan .....	44
3.2	Koneiden ja laitteiden kriittisyyskartoitus.....	46
3.3	Kunnossapidon tietojärjestelmät .....	46
3.3.1	Tietokantojen tunnisteet .....	47
3.3.2	Laitepaikkakortisto ja varaosakortit .....	47
4	RAP5-LINJAN SÄHKÖMOOTTOREIDEN KARTOITUS.....	49
4.1	Lähtökohdat .....	49
4.1.1	Kartoitustyön välineet .....	50
4.1.2	Kunnossapidon tietojärjestelmä.....	50
4.2	Kenttäkartoitus .....	50
4.3	Varastokartoitus .....	53
4.3.1	Varastointi RAP-5:lla .....	55
4.3.2	Varastointi tehdasalueella .....	56
4.4	Nimikkeet ja puutteet nimikkeissä .....	56
4.5	Varaosamoottorinimikkeiden syöttö KUTI-tietokantaan .....	57
4.6	Kartoitustyön tulokset.....	59
4.7	Dokumentointi.....	60
5	SÄHKÖMOOTTOREIDEN OPTIMOINNIN ARVIOINTI .....	61
5.1	Tietojen haku .....	61
5.2	Käyttöasteet.....	62
5.3	Kuormitus.....	63
5.4	Häviöt ja vertailu .....	64
6	POHDINTA.....	67
	LÄHTEET .....	68
	LIITTEET .....	71

## ALKUSANAT

Haluan kiittää opinnäytetyön mahdollistanutta Outokumpu Stainless Oy:tä ja RAP5-linjan henkilöstöä opinnäytetyön onnistumisesta, sekä erityisesti kunnossapitoinsinööri Einari Fyhriä ammattimaisesta työn ohjaamisesta. Lisäksi haluan kiittää opettaja Jaakko Ettoa opinnäytetyön ohjaamisesta koulun puolesta.

Torniossa 16.4.2015

Kristian Sammallahti

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

DIN	Deutsches Institut für Normung (Saksan standardointi-instituutti)
HMI	Human Machine Interface (Prosessiautomaation käyttöliittymä)
IEC	International Electrotechnical Commission (Kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio)
KUTI	Outokummun kunnossapidon tietojärjestelmä
RAP5	Kylmävalssaamo 2, (Rolling, Annealing, Pickling)
TCM	Tandem-valssain
VDE	Verband der Elektrotechnik (Saksalainen testaus ja standardointiliitto)

## 1 JOHDANTO

### 1.1 Opinnäytetyön esittely

Työn aiheena on Outokumpu Oyj:n Tornion tehtailla sijaitsevan RAP5-linjan sähkömoottoreiden kartoitus ja sen perusteella varamoottoreiden kartoittaminen tehdasalueen varastoista vastaamaan linjan tarpeita. Kartoitus on rajattu koskemaan linjan ja sen apuprosessien sähkömoottoreita kaikista kokoluokista.

Kartoitustyö voidaan jakaa kahteen osioon: kenttäkartoitukseen ja kunnossapitojärjestelmä avulla tehtyyn varastokartoitukseen. Kenttäkartoituksessa lähtökohtana oli aiemmin tehty sähkömoottoreiden huoltolista, jonka pohjalle työssä luodaan päivitetty lista moottoreista, sisältäen oleellimmat IEC-standardin mukaiset tiedot, varamoottorinimikkeet ja laitteiden KUTI-positiot. Lisäksi kartoituksen piiriin kuuluu nimikkeiden luonti ja muokkaus tarvittaessa, sekä varaosanimikkeiden liittäminen niiden KUTI-järjestelmän laitetietokantaan.

Toisena käytännön osiona on linjalla olevien suorien käyttöjen optimoinnin arviointi, jossa tarkkaillaan linjan pumppu- ja puhallinkäyttöjen sähkömoottoreita. Moottoreista tarkastelun kohteena ovat niiden käyttöaste, käynnistyskerrat ja kuormitusvirrat.

Teoria rajattiin koskemaan pääasiallisesti oikosulkumoottoreita, mutta työssä esitellään myös muut yleisimmät linjaan liittyvät moottorityypit. Teoriasta haluttiin rajata pois sähkömagnetismi ja keskittyä IEC-standardin määritelmiin sekä sähkömoottoreiden lisävarusteisiin. Toisena teoriaosiona työssä on kunnossapito, kunnossapidon tietojärjestelmät ja sähkömoottoreihin liittyvät viat.

### 1.2 Outokumpu Oyj

Outokumpu Oyj on monikansallinen metalliteollisuuden yritys, jolla on toimintaa nykyisin noin 30 maassa. Outokumpu valmistaa ruostumatonta terästä tuotanto-

laitoksissa ympäri maailmaa. Yhtiö työllistää noin 12000 ammattilaista yli 30 maassa ja näistä Suomessa noin 2400 henkilöä. (Outokumpu 2015a.)

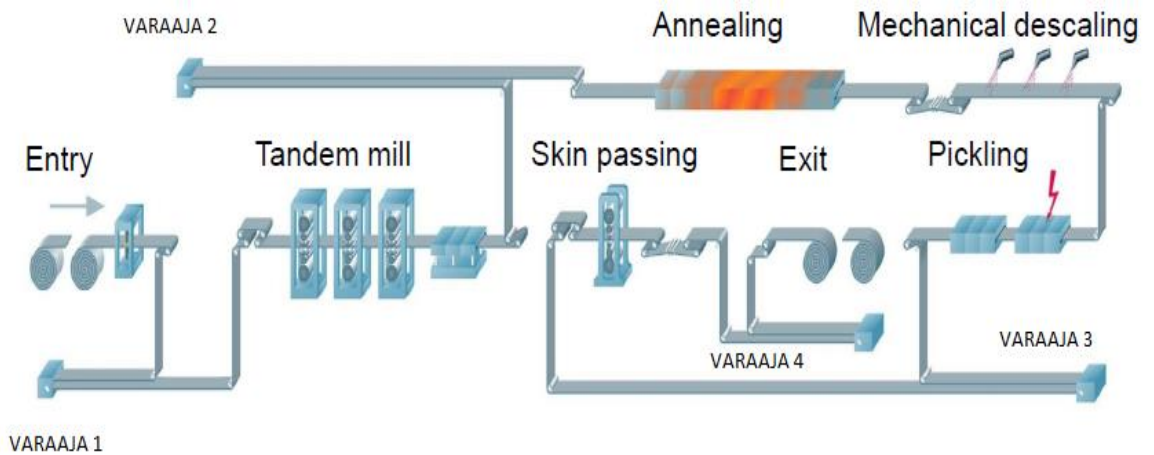
### 1.2.1 Tornion tehtaat



Kuvio 1. Tornion tehtaat (Outokumpu 2015b.)

Tornion tehtaat (Kuvio 1) on integroitu ruostumattoman teräksen tuotantolaitos. Samalla tehdasalueella sijaitsee ferrokromitehdas sekä kaikki terästuotannon osastot: sulatto, kuumavalssaamo ja kylmävalssaamo. Lisäksi tehdasalueella toimii satama, jonka kautta viedään Tornion tehtaiden tuotteita maailmalle ja tuodaan raaka-aineita tehtaille. Tornion tehtaat muodostavat maailman suurimman yhtenäisen ruostumattoman teräksen tuotantoketjun. Tornion tehtaisiin kuuluu myös Keminmaan kunnassa sijaitseva Elijärven kromikaivos, joka takaa ruostumattoman teräksen tärkeimmän raaka-aineen, kromin saannin. Tämän lisäksi tehtaiden merkittävin raaka-aine on kierrätysteräs, jota on valmiista tuotteesta noin 80 %. (Outokumpu 2015a.)

### 1.2.2 Kylmävalssaamo 2 - RAP5-linja



Kuvio 2. RAP5-linjan prosessikuvaus (Outokumpu 2007.)

RAP5-linja on jatkuvatoiminen valssaus-, hehkutus- ja peittäuslinja. Linjalle tuodut nauhat käyvät linjan läpi kaksi kertaa, ensimmäisellä kerralla musta kuumanauha hehkutetaan ja peitataan hopeanharmaaksi kuumanauhaksi ja toisella ajokerralla nauha kylmävalssataan kirkkaaksi kylmänauhaksi asiakkaan haluaan paksuuteen. Kuviossa 2 on esitetty RAP5-linjan prosessikuvaus. (Outokumpu 2015b.)

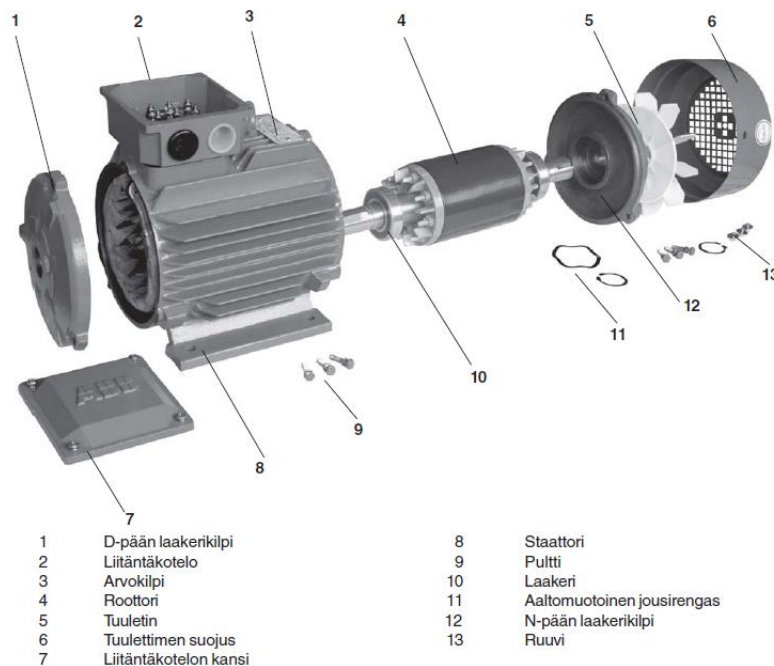
Linjalla nauhoille suoritetaan ensin TCM-valssaus, jossa nauhaa ohennetaan haluttuun paksuuteen. Tämän jälkeen nauha hehkutetaan uunissa ja jäähdytetään, jonka jälkeen peitataan sekahappo- sekä elektrolyyttipeittauksessa. Näillä prosesseilla saadaan teräkselle haluttu mekaaninen lujuus ja ruostumattoman teräksen ominaisuudet. Prosessin viimeisessä vaiheessa on viimeistelyvalssaaminen, jossa nauhan pinta viimeistellään. Lopputuotteena saadaan kirkkaita kylmävalssattuja teräsrullia. (Outokumpu 2015b.)

## 2 SÄHKÖMOOTTORIT

### 2.1 Epätahtimoottorit

Epätahtimoottorit ovat vaihtosähkökoneita ja niiden toiminta perustuu koneen sisällä pyörivään magneettikenttään. Epätahtinimitys tulee siitä, että koneen roottorin pyörimisnopeus poikkeaa moottorin sisällä pyörivän magneettikentän pyörimisnopeudesta eli ns. tahtinopeudesta. Epätahtimoottorit voidaan jakaa yksi- ja kolmivaiheisiin oikosulkumoottoreihin sekä liukurengasmootoreihin. (Korpinen 1998a, 7.)

Moottorin toiminnan kannalta tärkeimmät osat ovat seisojan eli staattorin käämitys levypaketteineen ja pyörijän eli roottorin käämitys levypaketteineen. Nämä muodostavat yhdessä koneen sähköisen toiminnan aktiiviset osat. Muut osat ovat passiivisia. Ne pitävät aktiiviset osat paikoillaan, johtavat sähköä koneeseen ja välittävät pyörivän liikkeen moottorista työkoneeseen. Täysin suljettu oikosulkukone on yksinkertaisuutensa ja kestäväytensä vuoksi teollisuuden yleisin sähkökonetyyppi. Kuviossa 3 on esitetty oikosulkumoottorin rakenne. (Aura & Tonteri 2009, 305; Hietalahti 2012, 55.)



Kuvio 3. Oikosulkumoottorin rakenne (Hietalahti 2012.)

### 2.1.1 Epätahtimoottoreiden roottorit

Kolmivaiheisten epätahtimoottoreiden seisijat eli staattorit ovat rakenteeltaan samanlaisia, mutta pyörijät eli roottorit ovat rakenteeltaan erilaisia. Eniten käytetty roottorirakenne on oikosulkuroottori. Oikosulkuroottorissa on häkkikäänitys, joka tavallisesti muodostuu uriin sijoitetuista kupari- tai alumiinitangoista ja roottorin päissä niitä yhdistävistä oikosulkurenkaista. Oikosulkuroottorin häkkikäänitys on esitetty kuviossa 4. (Aura & Tonteri 2009, 333.)



Kuvio 4. Oikosulkuroottorin häkkikäänitys (Kosonen 2013.)

Liukurengasroottorin käänitys on tavallisesti kolmivaiheinen, joskus kaksivaiheinen, eristetty käänitys kuten staattorikäänityskin. Käänitys on koneen sisällä kytketty tähteen, ja käänityksen vapaat päät on liitetty moottorin akselille sijoitettuihin liukurenkaisiin, joita laahaavat liukuharjat. Harjoihin on liitetty ulkoinen käynnistysvastus eli käynnistin, jolla käynnistyksen aikana voidaan asetella roottoriin resistanssia ja siten vaikuttaa käynnistysvirtaan sekä käynnistyksen aikaiseen momenttiin. (Aura & Tonteri 2009, 333.)

### 2.1.2 Epätahtimoottorin hyötysuhde ja tehon jakautuminen

Epätahtimoottorin arvokilpeen ei yleensä leimata hyötysuhdetta, mutta se on laskettavissa arvokilven muista leima-arvoista. Arvokilpeen leimattu nimellisteho  $P_n$  on moottorin akseliltaan työkoneelle antama teho. Moottorin ottama sähköteho  $P_1$  on laskettavissa kolmivaihetehon yhtälöstä. Koska arvokilpeen leima-

taan nimellisjännite  $U_n$ , nimellisvirta  $I_n$  ja nimellistehokerroin  $\cos\varphi_n$ , voidaan nimellishyötysuhde ratkaista kaavalla 1. (Aura & Tonteri 2009, 330.)

$$\eta = \frac{P_n}{P_1} = \frac{P_n}{\sqrt{3} * U_n * I_n * \cos\varphi_n} \quad (1)$$

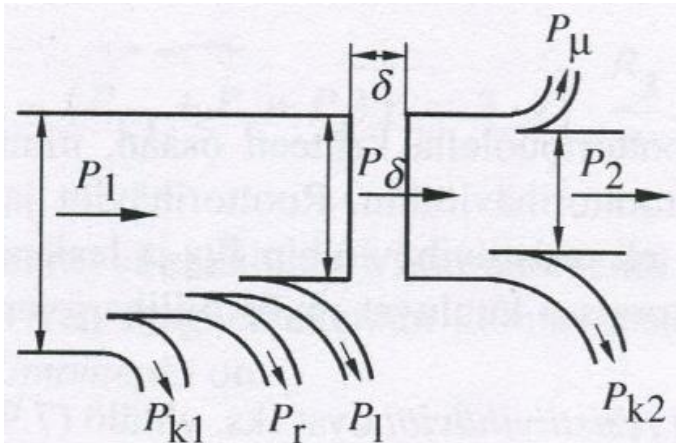
missä

$\eta$	on	nimellishyötysuhde
$P_n$	on	akseliteho
$P_1$	on	sähköteho
$U_n$	on	nimellisjännite
$I_n$	on	nimellisvirta
$\cos\varphi_n$	on	nimellistehokerroin

Hyötysuhteiden likiarvot osakuormituksilla saadaan moottorin valmistajien antamista käyristä, kun nimellishyötysuhde tunnetaan. Epätahtimoottori ottaa verkosta tehoa, josta suurin osa kuluu mekaaniseen työhön. Tehon jakautumista moottorissa on havainnollistettu kuviossa 5. (Aura & Tonteri 2009, 330.)

missä

$P_1$	on	epätahtikoneen verkosta ottama sähköteho
$P_2$	on	akseliteho
$P_\delta$	on	ilmaväliteho
$P_{k1}$	on	staattorin resistiivihäviöt
$P_{k2}$	on	roottorin rauta- ja resistiivihäviöt
$P_r$	on	rautahäviöt
$P_\mu$	on	mekaaniset häviöt
$P_l$	on	lisähäviöt



Kuvio 5. Epätahtikoneen tehonjakokaavio (Aura & Tonteri 2009.)

Osa verkosta otetusta tehosta muuttuu häviöiksi staattorissa ja roottorissa. Staattorissa kuluu tehoa staattorin rauta- ja kuparihäviöihin. Magneettikentän välityksellä roottoriin siirtyy ilmaväliteho. Roottorissa syntyy pieniä rautahäviöitä, resistiivisiä häviöitä, sekä mekaanisia kitka- ja tuuletushäviöitä. (Korpinen 1998a, 14.)

## 2.2 Tahtimoottorit

Tahtimoottoreita käytetään suurissa, yli 1 MW mekaanista tehoa vaativissa sovelluksissa. Tällaisia käyttökohteita ovat mm. terästeollisuuden valssaimet ja laivojen pääpotkurikäytöt. Tahtikoneita ohjataan sekä virta- ja jännitevälipiirittäjämuuttajilla että syklokonverttereilla. Syklokonvertteri on käyttökelpoinen hidasnopeuksisissa kohteissa, joissa moottorin ohjaustaajuus on maksimissaan 22 - 24 Hz. Tahtimoottorit voivat olla myös suoraikäyttöisiä. (Hietalahti 2012, 65.)

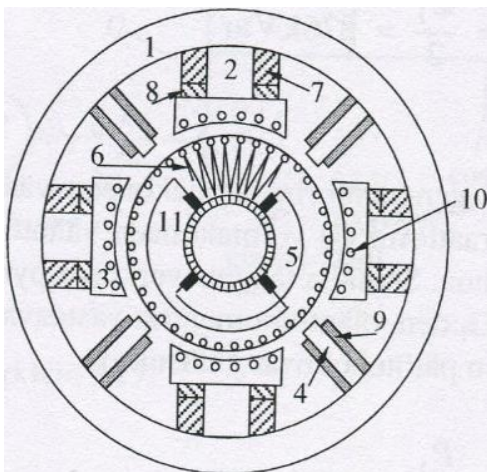
Tahtikoneet jaetaan yleisesti roottorirakennusratkaisun mukaisesti kahteen koneentyyppiin: umpinapakoneisiin ja avonapakoneisiin. Kuten oikosulkukone, myös tahtikone muodostuu kolmivaiheisella käämillä varustetusta staattorista ja staattorin sisällä pyörivästä roottorista. Ero epätahtikoneisiin on, että roottorin magneetintikäämityksiin on johdettava magneetointivirtaa, joka on tasavirtaa. Tämä tasavirta synnyttää roottorin magneettinapaan pysyvän magneettivuon, vaikka roottori pyöriikin. Tätä magneetoimisvirran synnyttämää magneettivuota sano-



lähteestä. Harjattomissa tahtimoottoreissa magnetointiteho otetaan koneen akselille sijoitetusta ulkonapaisesta vaihtosähkögeneraattorista tasasuuntaamalla. (Aura & Tonteri 2009, 356.)

### 2.3 Tasavirtamoottorit

Tasavirtakoneiden rakenne poikkeaa huomattavasti tahti- ja epätahtikoneiden rakenteesta, sillä tasavirtakoneet eivät tarvitse kiertokenttää toimiakseen. Kuvio 8 nähdään tasavirtakoneen rakenne. Periaatteessa tasasähkögeneraattorin ja -moottorin rakenteet eivät eroa toisistaan, joten samaa konetta voidaan käyttää sekä moottorina että generaattorina. Nykyisin tasavirran tuottaminen tasavirtageneraattorilla uusissa käyttökohteissa on harvinaista, sillä useimmiten tasavirta tuotetaan vaihtovirtaverkosta puolijohdekomponenteista rakennettavilla tasasuuntaajilla. (Korpinen 1998b, 8.)



Kuvio 8. Tasavirtakoneen osat (Aura & Tonteri 2009.)

- |                        |                                |
|------------------------|--------------------------------|
| 1. Staattorikehä       | 7. Sivuvirtakäännitys          |
| 2. Päänavan rautasydän | 8. Sarjakäännitys              |
| 3. Napakenkä           | 9. Kääntönapakäännitys         |
| 4. Kääntönavan sydän   | 10. Kompensointikäänitys       |
| 5. Ankkurin rautasydän | 11. Kommunikaattori harjoineen |
| 6. Ankkurikäänitys     |                                |

Tasavirtamoottoreiden toiminta perustuu seisojalla luotavaan magneettikenttään, jota kutsutaan pääkentäksi. Kun seisojan eli staattorin keskelle sijoitettuun ankkuriin syötetään ulkoinen virta, ankkuri magnetoituu, jolloin syntyy magneettisia voimavaikutuksia staattorin ja ankkurin välille. Näiden voimavaikutusten johdosta ankkuri lähtee pyörimään. (Aura & Tonteri 1996, 267.)

Tasavirtamoottorissa teho syötetään hiiliharjojen kautta kommutaattoriin, josta edelleen ankkurikäämityksiin. Kommutaattorin avulla syötettävän tasajännitteen napaisuus ankkurissa vaihtuu, ts. kommutaattori on mekaaninen vaihtosuuntain. Kommutaattori synnyttää ankkurissa vaihtuvan magneettikentän, joka saa sen pyörimään staattorin luomassa tasakentässä. (Aura & Tonteri 1996, 267.)

Tasavirtamoottoreiden ominaisuuksia ja soveltuvuutta voidaan muokata muuttamalla niiden magnetointia. Yleisimmät moottorityypit ovat: sarjamagnetoitu, sivuvirtamagnetoitu ja vierasmagnetoitu. Teollisuussovelluksissa yleisimmin on käytössä vierasmagnetoitu moottori. Vierasmagnetoidussa tasavirtakoneessa magnetointivirta otetaan ulkoisesta lähteestä. Vierasmagnetoidun tasavirtamoottorin pyörimisnopeus muuttuu vain vähän kuormituksen muuttuessa. (Aura & Tonteri 1996, 268.)

## 2.4 Sähkömoottoreiden tekniset tiedot

Sähkömoottoreiden sähköiset ja mekaaniset ominaisuudet määritellään useilla kansainvälisillä standardeilla, tässä osiossa perehdytään tarkemmin IEC-standardin määrittelemiin. Sähkömoottoreita sääteleviä standardeja ovat mm. IEC-standardit, VDE- ja DIN -normit sekä muut kansalliset standardit ja luokituslaitosten vaatimukset. EN-direktiivit pohjautuvat IEC-standardeihin. Sähkökonestandardeista tärkeimmät ovat IEC 34- ja 72-sarjan standardit, joissa määritellään sähkökoneiden yleiset ominaisuudet, pyörimissuunnat ja liitännät, lämpösuojaukset, mitat ja tehosarjat, kotelointiluokitukset, rakenteet ja asennus- asennot sekä lieriömäiset akselipäät. (Hietalahti 2013, 18.)

### 2.4.1 Kilpiarvot

Standardin IEC 60034 mukaiset sähköiset ja mekaaniset ominaisuudet sähkömoottoreille on ilmoitettu moottoriin kiinnitetystä arvokilvestä. Sähkömoottorin arvokilpeen tyypillisesti leimataan moottorin tyyppi ja malli, valmistaja, valmistusvuosi, moottorin sähköiset nimellisarvot, IEC-koko, käyttötapa, kotelointi, eristysluokka, pyörimissuunta, paino sekä isommissa koneissa D- ja N-pään laakerointi. Lisäkilvillä usein ilmaistaan laakeroinnin ja voitelun tiedot. Kuvioissa 9 ja 10 on esitetty esimerkit moottoreiden arvokilvistä.



Kuvio 9. Siemensin 315S kokoluokan 110 kW oikosulkumoottorin kilpiarvot



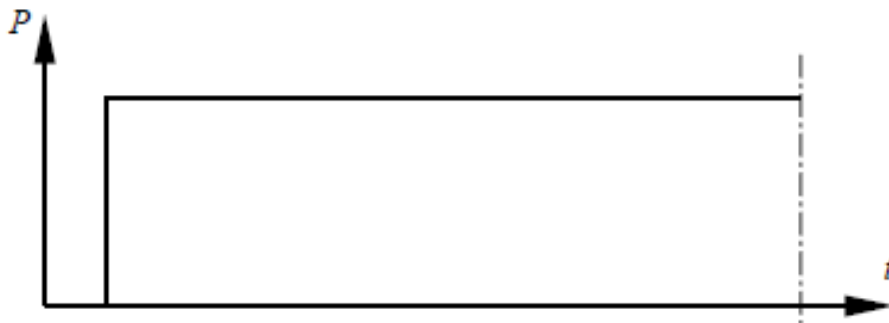
Kuvio 10. Laakeroinnin lisäkilpi

## 2.4.2 Käyttötavat

Sähkökoneiden normaalikäyttötavat on määritelty sen vuoksi, että voitaisiin valmistaa vakiomootoreita, joilla voidaan kattaa mahdollisimman laajat käyttöalueet. Käyttötapa kertoo, millaiseen käyttöön moottori on käytäntöjällisesti suunniteltu. Normaalikäyttötavat on pyritty valitsemaan siten, että moottoreiden tarve voitaisiin tyydyttää mahdollisimman vähälukuisella määrällä erilaisia moottoreita. Sähkökoneen nimelliskäyttötavat S1-S10 merkitään standardin IEC 60034–1 mukaisesti. (Hietalahti 2013, 20.)

### Käyttötapa S1: Jatkuva käyttö

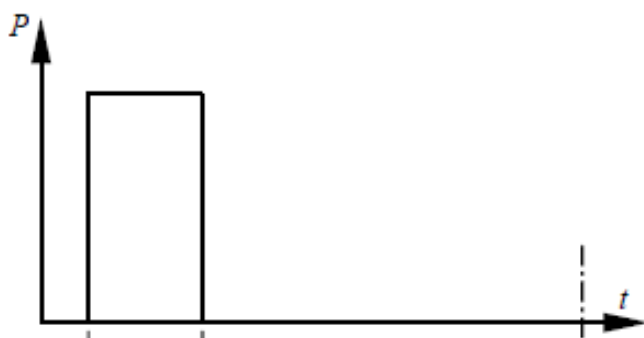
Sähkömoottori toimii vakiokuormituksella niin pitkän ajan, että loppulämpötila saavutetaan. Kuviossa 11 on esitetty käyttötavan S1 kuvaaja. (ABB 2000a, 11.)



Kuvio 11. Käyttötavan S1 kuvaaja (IEC 2010.)

### Käyttötapa S2: Lyhytaikainen käyttö

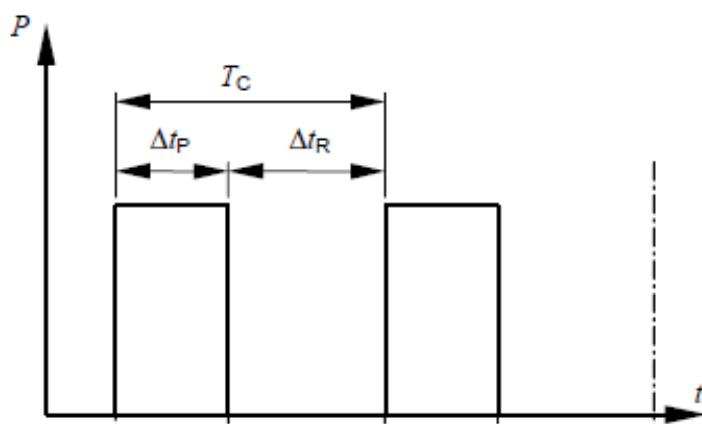
Sähkömoottori toimii vakiokuormituksella määrätyn lyhyen ajan, jossa se ei saavuta loppulämpötilaa. Jokaista toiminta-aikaa edeltää niin pitkä tauko, että kone saavuttaa ympäröivän ilman tai muun jäähdytysaineen lämpötilan. Käyttöajoiksi suositellaan 10, 20, 30, 60 ja 90 minuuttia. Kuviossa 12 on esitetty käyttötavan S2 kuvaaja. (ABB 2000a, 11.)



Kuvio 12. Käyttötavan S2 kuvaaja (IEC 2010.)

#### Käyttötapa S3: Jaksollinen ajoittaiskäyttö

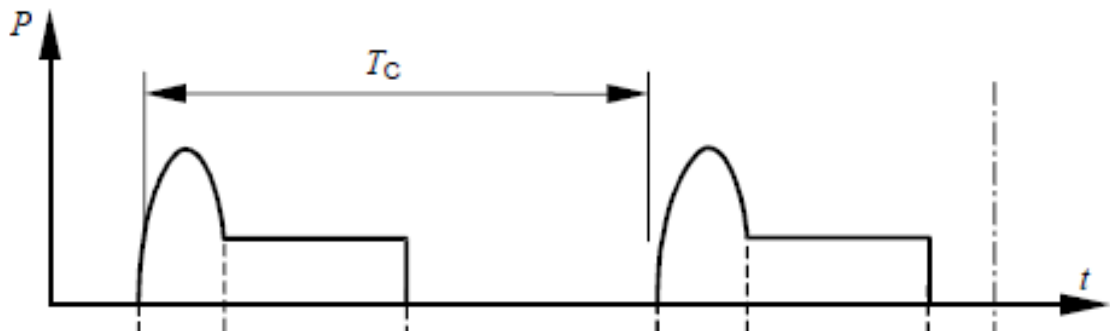
Käyttö muodostuu sarjasta keskenään samanlaisia jaksoja, joista jokaiseen kuuluu toiminta-aika vakiokuormituksella sekä seisonta-aika. Loppulämpötilaa ei saavuteta jakson aikana. Käynnistykset eivät vaikuta lämpenemiseen. Ajoittaiskäyttökerroin on 15 %, 25 %, 40 % tai 60 %. Jakson pituus on 10 minuuttia. Kuviossa 13 on esitetty käyttötavan S3 kuvaaja. (ABB 2000a, 11.)



Kuvio 13. Käyttötavan S3 kuvaaja (IEC 2010.)

#### Käyttötapa S4: Jaksollinen käynnistyskäyttö

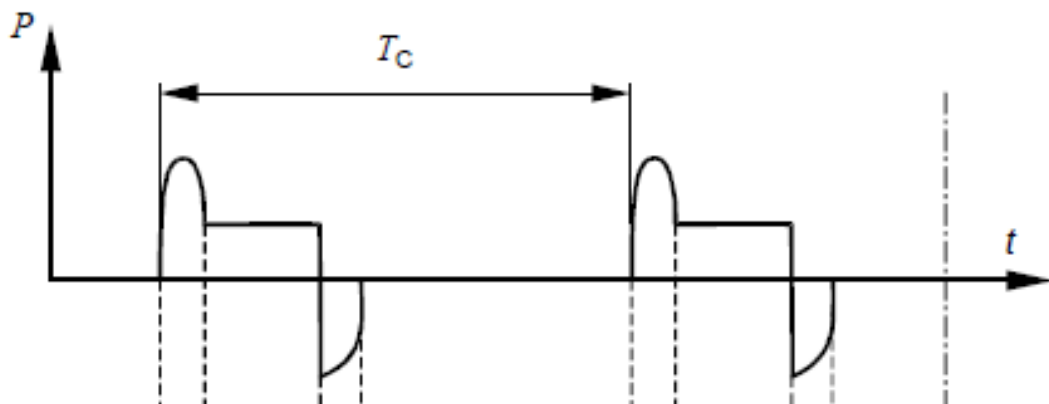
Käyttö muodostuu sarjasta keskenään samanlaisia jaksoja, joista jokaiseen kuuluu käynnistysaika, toiminta-aika vakiokuormituksella sekä seisonta-aika. Loppulämpötilaa ei saavuteta jakson aikana. Tässä käytössä moottori pysähtyy luonnollisella tavalla hidastuen tai mekaanisella jarrulla jarruttaen, jolloin moottori ei rasitu termisesti. Kuviossa 14 on esitetty käyttötavan S4 kuvaaja. (ABB 2000a, 11.)



Kuvio 14. Käyttötavan S4 kuvaaja (IEC 2010.)

#### Käyttötapa S5: Jaksollinen käynnistys- ja jarrutuskäyttö

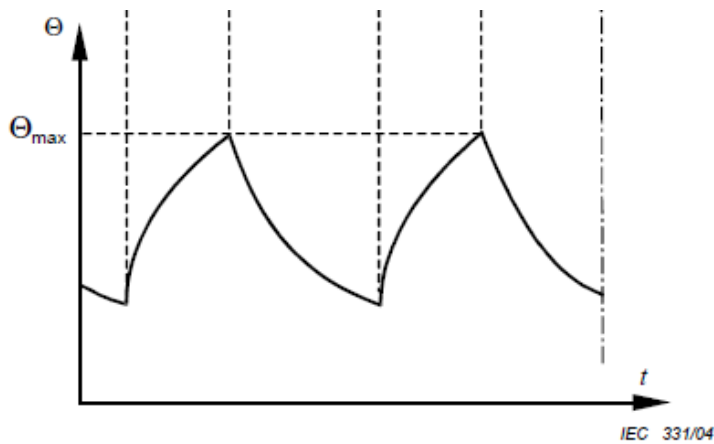
Käyttö muodostuu sarjasta keskenään samanlaisia jaksoja, joista jokaiseen kuuluu käynnistysaika, toiminta-aika vakiokuormituksella, jarrutusaika ja seison-ta-aika. Loppulämpötilaa ei saavuteta jakson aikana. Tässä käytössä käytetään sähköistä jarrutusta, esim. vastavirtajarrutusta. Kuviossa 15 on esitetty käyttötavan S5 kuvaaja. (ABB 2000a, 11.)



Kuvio 15. Käyttötavan S5 kuvaaja (IEC 2010.)

#### Käyttötapa S6: Pysähtymätön ajoittaiskäyttö

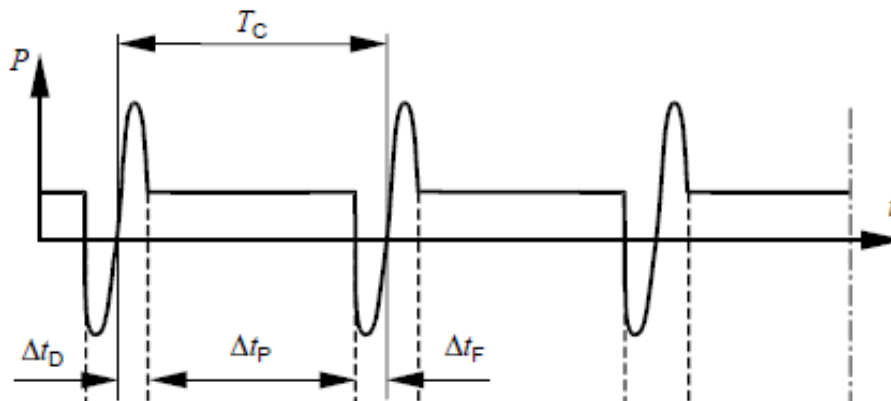
Käyttö muodostuu sarjasta keskenään samanlaisia jaksoja, joista jokaiseen kuuluu toiminta-aika vakiokuormituksella sekä tyhjäkäyntiaika. Loppulämpötilaa ei saavuteta jakson aikana. Ajoittaiskäyttökerroin on 15 %, 25 %, 40 % tai 60 %. Jakson pituus on 10 minuuttia. Kuviossa 16 on esitetty käyttötavan S6 kuvaaja. (ABB 2000a, 11.)



Kuvio 16. Käyttötavan S6 kuvaaja (IEC 2010.)

#### Käyttötapa S7: Keskeytymätön käynnistys- ja jarrutusikäyttö

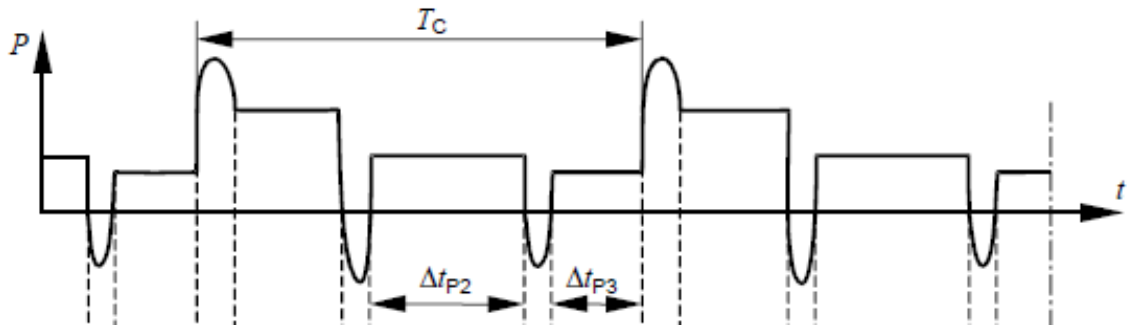
Käyttö muodostuu sarjasta keskenään samanlaisia jaksoja, joista jokaiseen kuuluu käynnistysaika, toiminta-aika vakiokuormituksella sekä jarrutusaika. Jarrutus tapahtuu sähköisesti. Loppulämpötilaa ei saavuteta jakson aikana. Kuviossa 17 on esitetty käyttötavan S7 kuvaaja. (ABB 2000a, 12.)



Kuvio 17. Käyttötavan S7 kuvaaja (IEC 2010.)

#### Käyttötapa S8: Pysähtymätön määräjaksollinen käyttö

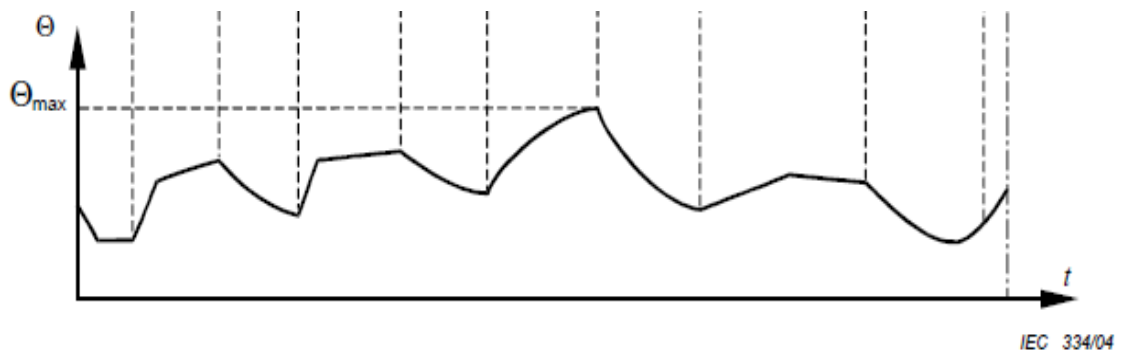
Käyttö muodostuu sarjasta keskenään samanlaisia jaksoja. Jokaiseen jaksoon kuuluu toiminta-aika vakiokuormituksella määrättyllä nopeudella, jota välittömästi seuraa toiminta-aika toisella nopeudella ja toisella vakiokuormituksella. Pyörimisnopeuksia voi olla kaksi tai useampia. Loppulämpötilaa ei saavuteta jakson aikana. Kuviossa 18 on esitetty käyttötavan S8 kuvaaja. (ABB 2000a, 12.)



Kuvio 18. Käyttötavan S8 kuvaaja (IEC 2010.)

Käyttötapa S9: Käyttö vaihtelevalla kuormalla ja nopeudella

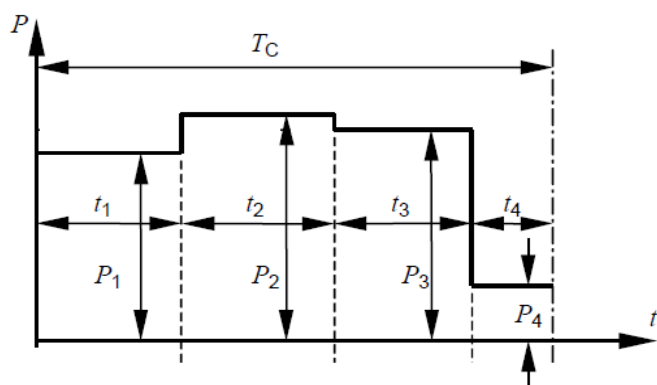
Käyttö muodostuu sallitulla käyttöalueella tapahtuvista kuorman ja nopeuden vaihteluista, jotka yleensä eivät ole jaksollisia. Tämä käyttö sisältää usein tapahtuvia ylikuormituksia, jotka voivat merkittävästi ylittää nimelliskuorman. Ylikuormituksen suuruus on huomioitava moottorin nimellistehon valinnassa. Kuviossa 19 on esitetty käyttötavan S9 kuvaaja. (ABB 2000a, 12.)



Kuvio 19. Käyttötavan S9 kuvaaja (IEC 2010.)

Käyttötapa S10: Käyttö vaihtelevalla vakiokuormalla

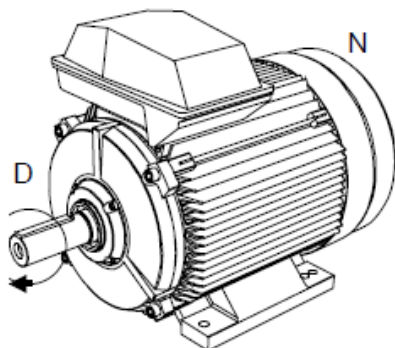
Käyttöjakso muodostuu enintään neljästä osajaksosta erisuurella vakiokuormal- la, jaksolla nopeudet voivat olla erisuuria. Käyttöaika kullakin vakiokuormalla on niin pitkä, että loppulämpötila saavutetaan. Kuviossa 20 on esitetty käyttötavan S10 kuvaaja. (ABB 2000a, 12.)



Kuvio 20. Käyttötavan S10 kuvaaja (IEC 2010.)

#### 2.4.3 Pyörimissuunta ja liitinmerkinnät

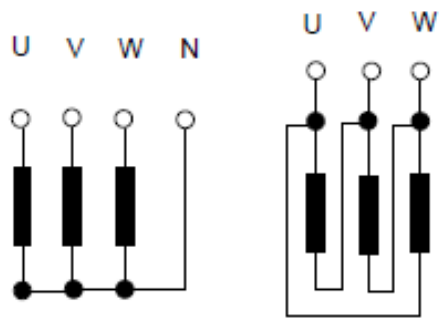
Standardin IEC 60034–7 mukaan määritellään sähkökoneen päät kirjaimilla D (Drive end) ja N (Non-drive end). Kuviossa 21 esitetty akselin pyörimissuunta on joko myötäpäivään tai vastapäivään sähkökoneen D-päästä katsottuna. (ABB 2000a, 5.)



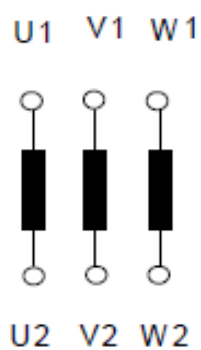
Kuvio 21. Sähkökoneen pyörimissuunta (ABB 2000a.)

Kolmivaiheisten vaihtosähkökoneiden sisäinen kytkentä on tehty siten, että kun verkon vaiheet L1, L2 ja L3 kytketään järjestyksessä liittimiin U, V ja W, niin akselin pyörimissuunta on myötäpäivään. Pyörimissuuntaa voidaan muuttaa vaihtamalla kahden vaihejohtimen päät keskenään. (ABB 2000a, 5.)

Standardi IEC 60034–8 määrittelee pyörivän sähkökoneen liitinmerkinnät ja pyörimissuunnan sekä liitinmerkintöjen ja pyörimissuunnan välisen riippuvuuden, kun sähkökone on liitetty sähköverkkoon. Kuviossa 22 on esitetty moottorin käämitykset tähti- ja kolmiokytkettynä. (ABB 2000a, 3.)

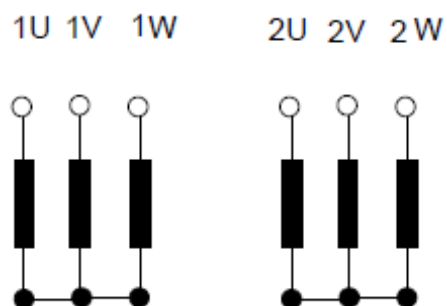


Kuvio 22. Käämitykset on tähti- ja kolmiokytkettynä (ABB 2000a.)



Kuvio 23. Kone on suoraan liittimiin kytkettynä (ABB 2000a.)

Kuviossa 23 koneen vaihekäämitysten alku- ja loppupäät on kytketty suoraan liittimiin kytkentäkotelossa. Mikäli käämityksessä on väliulosottoja, merkitään ne U3 ja U4. Käämityksen kytkentä tähteen tai kolmioon suoritetaan joko liitännäkotelossa tai koneen ulkopuolella. (ABB 2000a, 4.)



Kuvio 24. Kaksinopeusmoottorin liitännät (ABB 2000a.)

Kuviossa 24 on esitetty kaksinopeusmoottorin liitinmerkinnät. Suurempi etunumero vastaa suuremman pyörimisnopeuden käämistystä. (ABB 2000a, 4.)

#### 2.4.4 Kotelointi

Sähkömoottoreiden koteloinnin suojausluokat perustuvat IEC-standardiin 60034–5, joka määrittelee sähkömoottorin koteloinnin suojaustason. Standardin määritelmä kotelointiluokalle on sähkömoottorin ulkokuoren kyky estää fyysinen kosketus laitteen sisäisten osien kanssa ja estää pölyn, vieraiden esineiden sekä veden tunkeutuminen koteloinnin suojaamiin laitteisiin. Suojaustaso ilmoitetaan tunnuksella IP (Ingress protection) ja kahdella sitä seuraavalla numerolla. Ensimmäinen numero ilmaisee koteloinnin mekaanisen suojaustason ja toinen numero ilmaisee koteloinnin suojauksen vettä ja kosteutta vastaan. Taulukoissa 1 ja 2 on esitetty IP-luokituksen numeroiden merkitys. (Bauer 2001, 9–12.)

Taulukko 1. IP-luokituksen ensimmäisen numeron merkitys (Bauer 2001, 11.)

Numerointi	Mekaaninen suojaus	
0	suojaamaton	Ei suojausta
1	> 50 mm	Suojaus suuria kappaleita vastaan
2	> 12.5 mm	Suojaus keskikokoisia kappaleita vastaan
3	> 2.5 mm	Suojaus pieniä kappaleita vastaan
4	> 1.0 mm	Suojaus erittäin pieniä kappaleita vastaan
5	pölysuojaus	Ei täydellistä tiiveyttä
6	pölytiivis	Täydellinen suojaus

Taulukko 2. IP-luokituksen toisen numeron merkitys (Bauer 2001, 11.)

Numerointi	Vesisuojaus
0	suojaamaton
1	tippuvalta vedeltä
2	15 asteen kulmassa tippuvalta vedeltä
3	suihkulta korkeintaan 60 astetta pystysuorasta
4	roiskeilta
5	vesisuihkulta
6	voimakkaalta vesisuihkulta
7	väliaikaisesti upotettuna
8	jatkuvalla upottamiselta

## 2.4.5 Jäähdytys

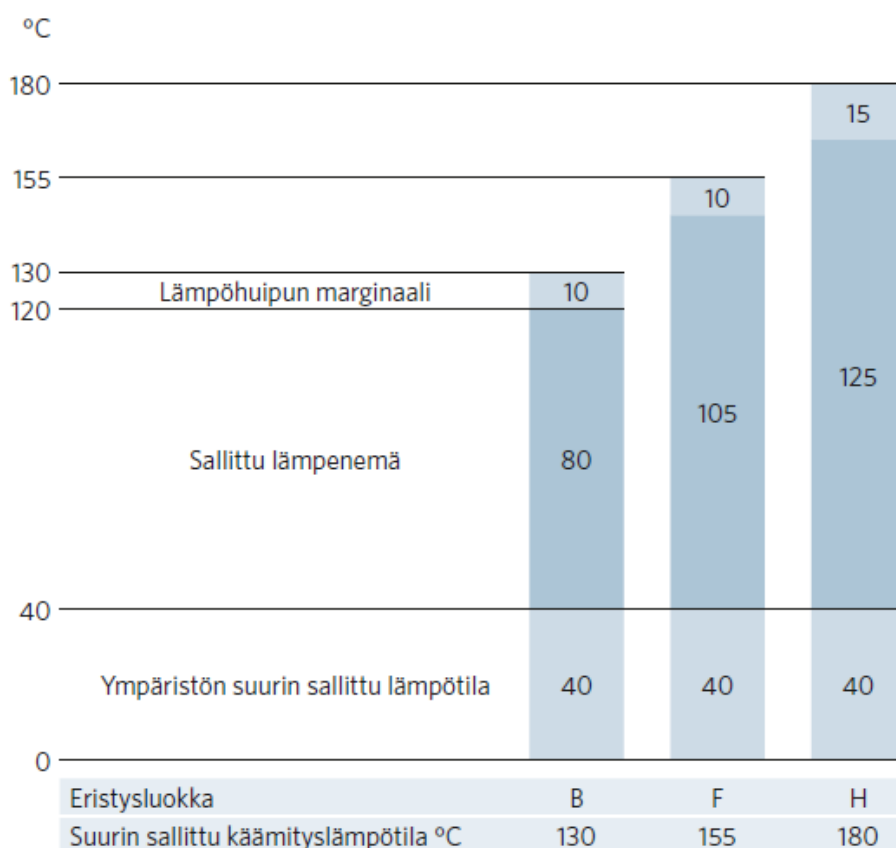
Sähkökoneiden jäähdytysmenetelmät määritellään standardissa IEC 60034–6. Standardin luokitus koostuu kirjaimista IC ja niitä seuraavista numeroista, jotka määrittelevät jäähdytysaineen kierron toteutustavan, jäähdytysaineen sekä kierrotavan. Luokitus ilmaistaan joko yksinkertaisessa tai täydessä muodossa (ABB 2000a, 12). Standardin mukainen oikosulkumoottoreiden vakio jäähdytystapa on IC411, jolloin moottori on jäähdytetty akselille kiinnitetyllä tuulettimella. Sähkökoneiden tavallisimmat IC-luokat on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Sähkökoneiden tavallisimmat IC -luokat (ABB 2000a, 14.)

Merkintä	määritelmä
IC 00	Konetta ympäröivä ilma jäähdyttää koneen sisäosat. Roottorin tuuletusvaikutus on merkityksetön. Jäähdytysaineen liike johtuu lämpötilaeroista.
IC 01	Kuten IC 00, paitsi että akselille tai roottoriin asennettu tuuletin saa aikaan ilmavirtauksen.
IC 06	Jäähdytysmenetelmä on sama kuin kohdassa IC 01, mutta jäähdytysaineen virtaus saadaan aikaan koneeseen asennetulla tuulettimella, jonka toiminta on riippumaton pääkoneen pyörimisnopeudesta.
IC 11	Koneeseen kanavan kautta tuleva ilma poistuu vapaasti koneen ympäristöön. Ilmanvirtaus saadaan aikaan tuulettimella, joka on asennettu akselille tai roottoriin.
IC 31	Tuleva ja lähtevä ilma virtaa kanavien kautta. Virtauksen aiheuttava tuuletin on kiinnitetty akselille tai roottoriin.
IC 411	Suljettu, sisäinen ilman virtaus ja vaippajäähdytys koneen akselille asennettujen tuulettimien avulla.
IC 511	Suljettu, sisäinen ilman virtaus. Lämpö johdetaan koneen sisään rakennetun ilma-ilma-lämmönvaihtimen kautta (tavallisesti ns. putkijäähdytin) ulkopuoliseen ilmaan, jonka virtaus saadaan aikaan akselille asennetulla tuulettimella.
IC 611	Kuten IC 511, mutta lämmönvaihdin on kiinnitetty koneeseen sen ulkopuolelle
IC 7A1 W7	Suljettu, sisäinen jäähdytysaineen virtaus. Sisäisen ilmankierron saa aikaan pääkoneen pyörimisnopeudesta riippuva tuuletin. Lämpö johdetaan koneen sisään rakennetun vesi-ilma-lämmönvaihtimen kautta jäähdytysveteen, jonka virtaus saadaan aikaan joko verkkopaineen tai apupumpun avulla.
IC 8A1 W7	Kuten IC 7A1 W7, mutta lämmönvaihdin on kiinnitetty koneeseen sen ulkopuolelle.

## 2.4.6 Eristysluokat

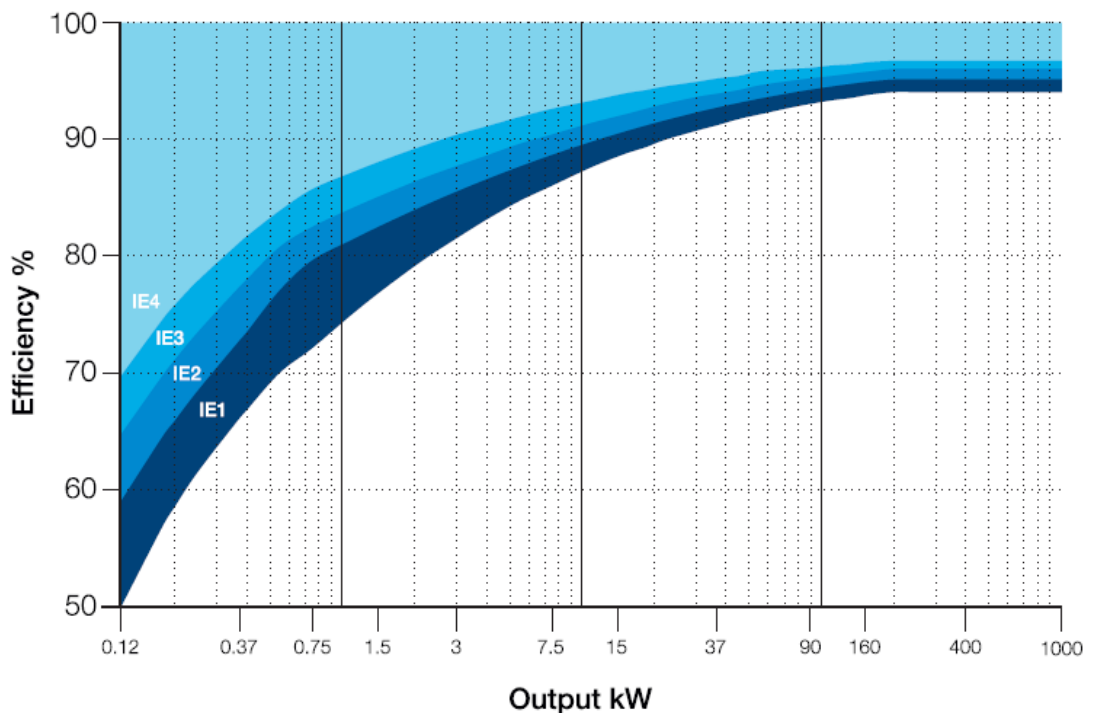
Sähkökoneiden eristysluokat on määritelty standardissa IEC 60034–1, jossa ne on jaettu luokkiin B, F ja H. Eristysluokka ilmaisee lämpötilan, joka käämityksen eristeiden tulee kestää normaaliolosuhteissa. Käämityksen eristeet valitaan siten, että niillä saavutetaan tietyssä eristysluokassa standardin mukainen 20000 tunnin elinikä. Moottorin käämin eristyksen toimivuus riippuu moottorin lämpenemästä ja ympäristönlämpötilasta. Mikäli sähkökone joutuu toimimaan liian kuumana esim. ylikuormituksen tai jäähdytyksen heikkenemisen johdosta, sen eristyksen elinikä lyhenee jyrkästi puoleen aina jokaista 8 - 10 asteen lämpötilan nousua kohti. Käämityksen lämpötila voidaan mitata resistanssimittauksella tai sisäänrakennetulla lämpötila-anturilla. Kuviossa 25 on esitetty eristysluokkien sallitut keskimääräiset lämpenemät. (ABB 2000a, 13; Hietalahti 2013, 25–26.)



Kuvio 25. Eristysluokkien B, F ja H sallitut keskimääräiset lämpenemät resistanssimittauksella mitattuna (Motiva 2011.)

### 2.4.7 Hyötysuhdeluokitukset

Standardimoottoreiden hyötysuhdeluokitus IEC 60034–30 hyväksyttiin syyskuussa 2008 ja standardi päivitettiin vuoden 2014 aikana. Standardi harmonisoi maailmanlaajuisesti sähkömoottoreiden hyötysuhteet luokkiin IE1, IE2, IE3 ja IE4. Vanhassa IEC -standardissa moottoreiden hyötysuhdeluokituksissa käytettiin EFF-luokitusta, joka poistui käytöstä vuoden 2010 aikana. Uusi luokitus kattaa 2-, 4-, 6- ja 8-napaiset pienjännitemoottorit tehoalueelta 0,12 - 1000 kW. Standardi kattaa myös standardin 60079–0 Ex-luokitellut sähkömoottorit. Standardin piiriin eivät kuulu yksinopeusmoottorit, joissa on 10 tai enemmän napoja, moottorit, jotka on integroitu laitteeseen tai jarrumoottorit. Standardin hyötysuhdeluokitukset perustuvat hyötysuhteen mittausstandardiin IEC 60034–2–1:2007. Kuviossa 26 havainnollistetaan hyötysuhdeluokkien eroa. (ABB 2014, 5.)



Kuvio 26. 4 -napaisten moottoreiden IE -luokituksen mukaiset hyötysuhdeluokat 0.12 - 1000 kW moottoreille 50 Hz taajuusalueella (ABB 2014.)

Ekologista suunnittelua edistävä 2009 päivittynyt direktiivi 2009/125/EC on toinen energiatehokkaiden moottoreiden yleistymistä edistävä säädös. Direktiivin tavoitteena on luoda puitteet energiaa käyttävien laitteiden suunnittelua koske-

ville vaatimuksille. Sähkömoottoreita koskeva MEPS (minimum energy performance standard) on määritelty EU:n direktiivissä 640/2009, ja se määrittelee pakolliset vähimmäisvaatimukset oikosulkumoottoreille. Käyttöönotto direktiiville toteutetaan kolmessa vaiheessa vuosien 2011 ja 2017 välillä, ja se koskee tuontia sekä käyttöä EU:n alueella. Hyötysuhdeluokitusten käyttöönottoajankohdat on esitetty taulukossa 4. (ABB 2014, 7.)

Taulukko 4. Hyötysuhdeluokitusten käyttöönottoajankohdat (Motiva 2011, 9.)

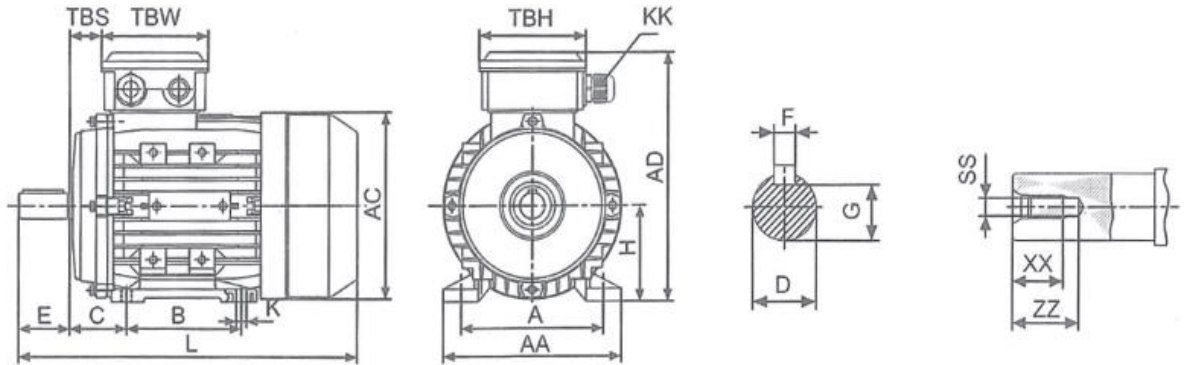
Ajankohta	Vaatus
16.6.2011 alkaen	Moottoreiden täytettävä hyötysuhdeluokka IE2.
1.1.2015 alkaen	Teholuokassa 7,5–375 kW moottoreiden täytyy täyttää hyötysuhdeluokka IE3 tai IE2 luokan moottorit asennettava taajuusmuuttaja-käyttöisinä.
1.1.2017	Edellä mainitun lisäksi teholuokassa 0,75–7,5 kW moottoreiden täytyy täyttää hyötysuhdeluokka IE3 tai IE2 luokan moottorit asennettava taajuusmuuttajakäyttöisinä.

#### 2.4.8 Rakenne- ja asennuslajit

Standardimoottorien runkomateriaali vaihtelee moottorin koon ja hyötysuhteen mukaan. Pienemmät ja hyötysuhteeltaan heikommat moottorit ovat yleensä alumiinia tai valurautaa. Korkeamman hyötysuhteen moottorit ja suuremmat moottorit ovat tavallisesti valurautarunkoisia. (Motiva 2011, 12.)

IEC on kehittänyt kansainväliset standardisarjat sähkökoneiden asennusmitoille sekä määritellyt niitä vastaavat kokoa ilmaisevat tunnuksat. Koneet, joilla on sama tunnus, ovat asennusmittojensa puolesta keskenään vaihtokelpoisia. Mittoissa määritellään sähkömoottorin kiinnityksen ja akselin mitat, sekä muu moottorin tarvitsema tila asennusympäristöstä. Rungon tunnus muodostuu akselikorkeudesta ja kirjaimesta S, M tai L, joka ilmaisee rungon pituusluokan. Kuviossa 27 ja taulukossa 5 on esitetty B3 jalkamallin koneen asennusmitat. (ABB 2000a, 1.)

### B3, jalkamalli



Kuvio 27. IEC-luokituksen mukainen B3 asennettavan sähkömoottorin mitat (SKS mekaniikka 2015.)

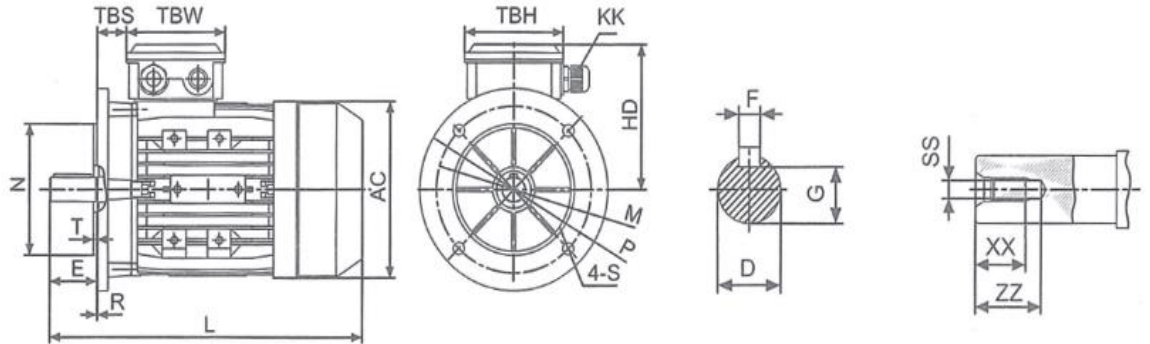
Taulukko 5. IEC-mitat (SKS mekaniikka 2015, 10.)

### B3, mitat

Runko- koko	H	AD	A	AA	B	C	K	D	E	F	G	SS	XX	ZZ
56	56	156	90	110	71	36	5,5x8,8	Ø9	20	3	7,2	M3	9	12
63	63	171	100	120	80	40	7x10	Ø11	23	4	8,5	M4	10	14
71	71	186	112	132	90	45	7x10	Ø14	30	5	11	M5	12	17
80	80	213	125	160	100	50	10x13	Ø19	40	6	15,5	M6	16	21
90S	90	229	140	175	100	56	10x13	Ø24	50	8	20	M8	19	25
90L1/L2	90	229	140	175	125	56	10x13	Ø24	50	8	20	M8	19	25
100	100	252	160	198	140	63	12x15	Ø28	60	8	24	M10	22	30
112	112	279	190	220	140	70	12x15	Ø28	60	8	24	M10	22	30
132S	132	318	216	252	140	89	12x15	Ø38	80	10	33	M12	28	37
132M/L	132	318	216	252	178	89	12x15	Ø38	80	10	33	M12	28	37
160M/L	160	384	254	290	210/254	108	15x19	Ø42	110	12	37	M16	36	45
180M/L	180	440	279	340	241/279	121	15x25	Ø48	110	14	42,5	M16	36	45
200L	200	460	318	390	305	133	19x29	Ø55	110	16	49	M20	42	53

Mikäli 112M 28 kokoluokan jalallinen kone on varustettu kiinnityslaipalla koneen käyttöpäässä, lisätään laipan tunnus, esimerkiksi 112M 28 FF 215. Koneet, jotka ovat tarkoitettu ainoastaan laippakiinnitykseen, merkitään akselipään halkaisijalla ja laipan tunnuksella, esimerkiksi 28FF215. Laipan tunnus muodostuu kirjaimista FF tai FT ja jakoympyrän halkaisijasta. Merkintää FF käytetään kun laipassa on vapaareiät ja merkintää FT kun laipassa on kierrereiät. Kuviossa 28 ja taulukossa 6 on esitetty B5 laippamallin koneen asennusmitat. (ABB 2000, 1.)

### B5, laippamalli



Kuvio 28. IEC-luokituksen mukainen B5 asennettavan laipallisen sähkömoottorin mitat (SKS mekaniikka 2015.)

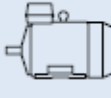


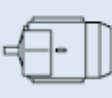
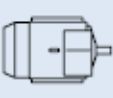
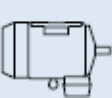
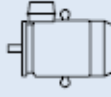


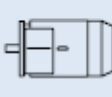
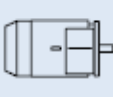
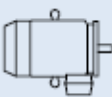
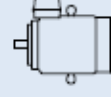


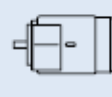
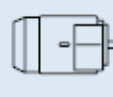
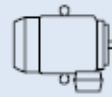
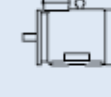


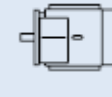
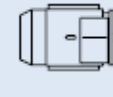
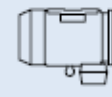
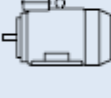


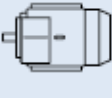
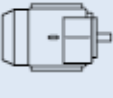
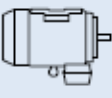
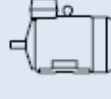


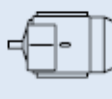
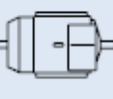
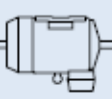
Taulukko 6. IEC-kokoa vastaavat mitat (SKS mekaniikka 2015, 11.)

### B5, mitat

Runko- koko	M	N	P	T	S	HD	D	E	F	G	SS	XX	ZZ
56	Ø100	Ø80	Ø120	3,0	Ø7	100	Ø9	20	3	7,2	M3	9	12
63	Ø115	Ø95	Ø140	3,0	Ø10	108	Ø11	23	4	8,5	M4	10	14
71	Ø130	Ø110	Ø160	3,5	Ø10	115	Ø14	30	5	11	M5	12	17
80	Ø165	Ø130	Ø200	3,5	Ø12	133	Ø19	40	6	15,5	M6	16	21
90S	Ø165	Ø130	Ø200	3,5	Ø12	139	Ø24	50	8	20	M8	19	25
90L1/L2	Ø165	Ø130	Ø200	3,5	Ø12	139	Ø24	50	8	20	M8	19	25
100	Ø215	Ø180	Ø250	4,0	Ø15	152	Ø28	60	8	24	M10	22	30
112	Ø215	Ø180	Ø250	4,0	Ø15	157	Ø28	60	8	24	M10	22	30
132S	Ø265	Ø230	Ø300	4,0	Ø15	186	Ø38	80	10	33	M12	28	37
132M/L	Ø265	Ø230	Ø300	4,0	Ø15	186	Ø38	80	10	33	M12	28	37
160M/L	Ø300	Ø250	Ø350	5,0	Ø19	224	Ø42	110	12	37	M16	36	45
180M/L	Ø300	Ø250	Ø350	5,0	Ø19	260	Ø48	110	14	42,5	M16	36	45
200L	Ø350	Ø300	Ø400	5,0	Ø19	260	Ø55	110	16	49	M20	42	53

Sähkömoottorin asennusasento määritellään IEC 60034–7 standardin mukaisella sovitelmatunnuksella IM (International Mounting). Standardi määrittelee kaksi vaihtoehtoista tunnusjärjestelmää: koodi I, jossa on rajoitettu määrä sovitelmia ja koodi II ns. laajempi järjestelmä. Taulukossa 7 on esitetty IEC-standardin mukaiset asennustavat. (ABB 2000, 22.)

Taulukko 7. IEC-standardin mukaiset asennustavat (ABB 2004, 6.)

	Koodi I/Koodi II					
Jalkamoottori.	IM B3 IM 1001	IM V5 IM 1011	IM V6 IM 1031	IM B6 IM 1051	IM B7 IM 1061	IM B8 IM 1071
						
Laippamoottori, suuri laippa	IM B5 IM 3001	IM V1 IM 3011	IM V3 IM 3031	*) IM 3051	*) IM 3061	*) IM 3071
						
Laippamoottori, pieni laippa	IM B14 IM 3601	IM V18 IM 3611	IM V19 IM 3631	*) IM 3651	*) IM 3661	*) IM 3671
						
Jalka- ja laippamoottori, jalat, suuri laippa	IM B35 IM 2001	IM V15 IM 2011	IM V36 IM 2031	*) IM 2051	*) IM 2061	*) IM 2071
						
Jalka- ja laippamoottori, jalat, pieni laippa	IM B34 IM 2101	IM 2111	IM 2131	IM 2151	IM 2161	IM 2171
						
Jalkamoottori, kaksi akselinpää	IM 1002	IM 1012	IM 1032	IM 1052	IM 1062	IM 1072
						

#### 2.4.9 Laakerit

Sähkömoottoreissa laakereiden tehtävänä on kantaa niihin kohdistuva akseli-kuorma ja pienentää pyörimisestä johtuvia kitkahäviöitä. Laakerit jaetaan yleensä liuku- ja vierintälaakereihin, jotka on esitetty kuviossa 29. Liukulaakereissa ei ole vierintäelimiä toisin kuin vierintälaakereissa, jolloin ne soveltuvat käytettäväksi raskaasti kuormitettuihin sovelluksiin. Vierintälaakereissa vierintäeliminä toimivat tavallisesti kuulat tai rullat, jotka välittävät voimat laakerin kehältä toiselle. Vierintälaakereita käytetään nopeasti pyörivissä sovelluksissa. Suurin osa sähkömoottoreissa käytettävistä laakereista on vakio-ohjelmaan kuuluvia, ja niiden mitat ovat ISO-standardoituja. Moottorivalmistajilta löytyvät tiedot eri IEC-kokoisille moottoreille soveltuvista laakereista. Taulukossa 8 on esitetty ABB:n kokojen 71 - 132 moottoreiden laakerointi. (Blom & Lahtinen 2006, 121–123.)



Kuvio 29. Vasemmalla vierintälaakeri ja oikealla liukulaakeri (SKF 2013.)

Taulukko 8. ABB:n vakio-moottoreiden laakerointi (ABB 2004, 14.)

Vakiorakenteiset moottorit		
Moottorin koko	Jalka- ja laippamoottori	
	D-pää	N-pää
56	6201-2Z/C3	6201-2Z/C3
63	6202-2Z/C3	6201-2Z/C3
71	6203-2Z/C3	6202-2Z/C3
80	6204-2Z/C3	6203-2Z/C3
90	6205-2Z/C3	6204-2Z/C3
100	6306-2Z/C3	6205-2Z/C3

## 2.5 Lisälaitteet

### 2.5.1 Enkooderit

Anturit mittaavat koneen toiminnan kannalta tarpeellisia fysikaalisia suureita ja muuttavat mittaustulokset koneen ohjausjärjestelmän ymmärtämään muotoon. Monissa sähkömoottorisovelluksissa tieto pyörintäsuunnasta tai nopeudesta on tärkeä. (Aalto-yliopisto 2011, 9.) Kuviossa 30 on havainnollistettu enkooderin asennus moottorin N-päähän.



Kuvio 30. Moottorin akselille N-päähän asennettu enkooderi

Pulssianturit, joita usein kutsutaan myös enkoodereiksi, yksinkertaistavat koneen ja sitä ohjaavan automatiikan välisen kytkennän. Ne toimivat takaisinkytkentäelimenä useissa säätösovelluksissa muodostamalla pyörivän akselin liikkeestä digitaalisen tiedon käsittelyä tai näyttöä varten. Optiset pulssianturit ovat suosittuja digitaaliantureita kohtuullisen hintansa, tarkkuutensa, monipuolisuutensa ja helpon kytkentänsä vuoksi. Pulssianturit koostuvat pyörivästä akselista, kotelosta ja sähköisestä liitännästä. Pulssianturilla mittaaminen tapahtuu liittämällä pulssianturin akseli vaihteella tai joustavalla kytkimellä koneen pyörivään osaan. Kaksi tärkeintä anturimallia ovat inkrementti- ja absoluuttianturi, joiden toimintaperiaate näkyy kuviossa 31. (Aalto-yliopisto 2011, 9.)

Optisessa inkrementtianturissa on tavallisesti kiinteä lukulevy ja akselin mukana pyörivä pulssikiekko, jotka ovat noin 0,25 mm etäisyydellä toisistaan. Pulssikiekossa on tarkka kuvioitu vyöhyke, jossa yhtä leveät kirkkaat ja valoa läpäisevät sektorit vuorottelevat. Tyypillisesti kiekossa on 100 - 2500 sektoriparia, mutta isokokoisissa tarkkuusantureissa niitä voi olla yli 80000. Lukulevyssä on kaksi pulssikiekon kuvioinnin kanssa identtistä kuviojaksoa, jotka ovat pulseista laskettuna 90 asteen vaihesiirrosta keskenään. Lukulevyn edessä on valodiodi tai lamppu ja säteet yhdensuuntaistava linssi. Pulssikiekon takana on valoantureita. Kun lukulevyn ja pulssikiekon erilaiset sektorit ovat kohdakkain, valo ei läpäise yhdistelmää. Kun samanlaiset sektorit kiertyvät kohdakkain, valoanturi reagoi ja lähettää jännitepulssin omalla kanavallaan. (Aalto-yliopisto 2011, 9.)



Kuvio 31. Optisten antureiden toimintaperiaate: Vasemmalla inkrementtianturi ja oikealla absoluuttianturi (Leine&Linde 2013.)

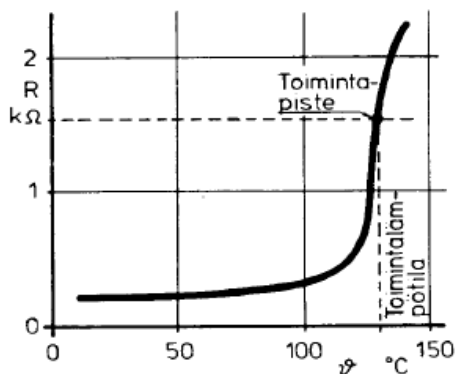
Optisilla absoluuttipulssiantureilla voidaan aina todeta absoluuttisen tarkka asento. Absoluuttianturi muistuttaa valosähköiseltä rakenteeltaan inkrementtianturia. Absoluuttianturin pulssikiekossa on useita vyöhykkeitä, joissa on vuorotel-

len valoa läpäiseviä ja läpäisemättömiä sektoreita. Anturissa onkin tavallisesti 6 - 20 ulostuloa, jotka muodostavat binäärisen esityksen akselin absoluuttisesta asemasta. Kiekko voidaan lukea sädetään pitkin, jolloin ulkokehällä ovat alempiarvoiset ja sisemmillä kehillä korkea-arvoisimmat bitit. Näin ollen kiekon kulma-asennon ja liikematkan absoluuttiset lukuarvot voidaan määrittää lukemalla kyseessä oleva binääriluku. Lukuarvot ovat käytettävissä muuttumattomina vielä sähkökatkoksen tai häiriön jälkeen. Jos anturi on kytkettynä moottorin akselille, niin siinä on oltava pienet alennusvaihteet, jotka muuntavat anturin pyörimisnopeuden. (Aalto-yliopisto 2011, 10.)

### 2.5.2 Lämpötila-anturit

#### Termistorit

Sähkökoneiden käämitysten suojausta voidaan parantaa varustamalla ne termistorisuojin. Näin voidaan varmistaa, ettei käämitysten lämpötila nouse liian suureksi esimerkiksi jäähtymisen huononemisen vuoksi. Tähän tarkoitukseen käytetään tavallisesti PTC-termistoreja, joiden vastus riippuu lämpötilasta kuvion 32 osoittamalla tavalla. Ne sijoitetaan tavallisesti koneen käämitykseen käämimisen yhteydessä, useimmiten vyyhtipäiden sisään eristettynä. Kun termistori saavuttaa toimintalämpötilansa, sen vastus kasvaa moninkertaiseksi. Kolmivaihekoneen käämitykseen sijoitetaan tavallisesti kolme termistoria, yksi kuhunkin vaiheeseen, ja termistorien liitäntäjohtimet tuodaan erilliselle riviliittimelle kytkentäkotelossa. PTC-termistoreja ei voida käyttää lämpötilan mittaukseen, vaan ainoastaan huomaamaan lämpötilan muutos. (ABB 2000a, 9.)



Kuvion 32. Termistorin ominaiskäyrä (ABB 2000a.)

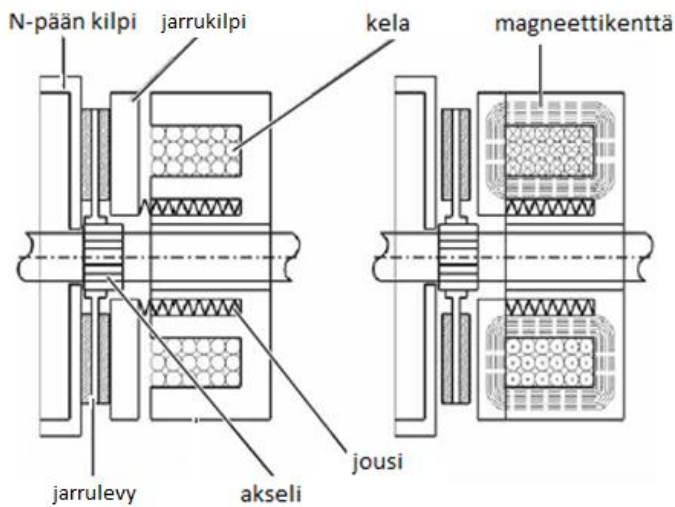
## PT100

Mittausvastukset ovat yleensä ohuesta platinalangasta valmistettuja ja nimellis-arvoltaan 100 ohmia. Sähkökoneen uriin sijoitettavat mittausvastukset on rakennettu ohuen eristeliuskan sisään. Metallisuojuukseen sijoitettu vastus voidaan asentaa mm laakereihin, ilmakehanavaan tai jäähdytysvesiputkeen. PT100-mittavastuksen ja sitä tarkkailevan mittauskojeen avulla voidaan mitata moottorin tarkka lämpötila. Mittausvastusten kytkentäjohtimet tuodaan erilliselle liittimelle. Vastuslämpömittarin osoitus jää usein hieman mitattavan kohteen lämpötilaa pienemmäksi, mikä on otettava huomioon hälytys- ja laukaisulämpötiloja aseteltaessa. (ABB 2000a, 10.)

### 2.5.3 Jarrut

Sähkömoottoriin asennettava jousivoimatoiminen jarru voi olla joko tasa- tai vaihtovirralla magnetoitava. Jarru voi toimia pitojarruna, jolloin se estää koneen tahattoman pyörimisliikkeen tai vastaavasti käyttöjarruna, jolloin se pysäyttää koneen pyörimisliikkeen. DC-jarruissa tasasuuntaaja on tavallisesti asennettuna oikosulkumoottorin kytkentäkoteloon. (Nord 2013, 56.)

Kuviossa 33 moottorin N-pään kilven ja jarrukilven välissä on jarrulevy, jossa on molemmin puolin kitkapinnat. Jarrulevyn jarrutusmomentti siirtyy jarrun navan välityksellä moottorin akselille. Jarrulevy pääsee siirtymään navassa akselin suunnassa. Jarrukilpi painaa jarrulevyä jousivoimalla moottorin N-pään kilpeä vasten. Jarrulevyn ja kilpien välinen kitka saa aikaan jarrutusmomentin. Jarrun vapautus tapahtuu sähkömagneetin avulla. Kun jännite on kytketty päälle, vetää sähkömagneetti jarrukilven jousivoimaa vasten, jolloin jarrulevy pääsee pyörimään vapaasti. Magneetin voima lakkaa vaikuttamasta jännitteen katketessa, jolloin jousivoima saa aikaan jarrutuksen. (Nord 2013, 56.)



Kuvio 33. Jarrun toiminta (Nord 2013.)

## 2.6 Sähkökoneiden vikaantuminen

Sähkömoottoreilla on runsaasti erilaisia vikaantumismekanismeja, joiden tunnistaminen on kunnossapidon kannalta tärkeää. Oikosulkumoottorin viat voidaan jaotella karkeasti laakeri-, staattori- ja roottorivikoihin. Näistä laakereihin kohdistuvat viat ovat yleisimpiä esiintyviä vikoja. (Mikkonen 2009, 370.)

### 2.6.1 Staattorikäämityksen terminen vikaantuminen

Staattorikäämityksen kaikkien käänvaihdeiden eristysten terminen heikkeneminen aiheutuu liian suurista vaihevirroista roottorin jumitilanteessa tai moottorin pitkäaikaisessa ylikuormitustilanteessa. Se voi olla myös seurausta usein tapahtuvista käynnistyksistä tai suunnanmuutoksesta. Myös alijännite ja ylijännite voivat aiheuttaa samantyyppisen eristeen kunnan heikkenemisen. (Mikkonen 2009, 371.)

Ylikuormitus aiheuttaa myös roottorin ylikuumentumisen ja sen kunnan heikkenemisen. Lisäksi kuumentunut roottori nostaa akselin lämpötilaa, joka voi puolestaan johtaa akselin taipumiseen tai laakereiden lämpötilan kasvuun heikentäen laakereiden kuntoa. Tällaisia moottorin ylikuormitustilanteita voidaan valvoa ylikuormitussuojauksella, lämpöreleellä tai lämpötilamittauksella. Vakava terminen vanheneminen aiheuttaa usein staattorikäämityksen eristyksen pinnan värin muutoksen. (Mikkonen 2009, 371.)

### 2.6.2 Staattorikäämityksen eristyksen kostuminen

Pidempien seisokkien tai varastoinnin aikana moottorin staattorikäämitys voi imeä kosteutta, jos ympäristössä on korkea ilmankosteus. Mikäli kosteus saavuttaa eristyksen pinnalla pitkäaikaisesti kastepisteen, voi käämitys vettyä ja sen eristyskyky heiketä voimakkaasti. Tällainen tilanne voi aiheuttaa staattorikäämitykseen maasulun, kierrossulun tai vaiheiden välisen oikosulun. Muita vastaavan eristyksen heikkenemisen aiheuttajia ovat syövyttävien aineiden ja likaantumisen aiheuttamat vauriot. (Mikkonen 2009, 371.)

### 2.6.3 Syöttöjännitteen ja syöttövirran epäsymmetria

Kolmivaihemoottori on herkkä jännite-epäsymmetrialle. Jopa alle 1 % epäsymmetria aiheuttaa moottorin ylikuumentumisen. Teollisuuden sähköverkkojen jännitesymmetria on tavallisesti hyvä eikä tällainen tilanne ole yleinen. (Mikkonen 2009, 375.)

Staattorikäämityksen yhden vaiheen eristyksen terminen vaurioituminen voi johtua erilaisista vaihejännitteistä eli jännite-epäsymmetriasta. Vaihejännitteiden erot johtuvat tavallisesti syöttölähteen epätasaisesta kuormituksesta tai suurresistiivisestä liitoksesta. Yhden prosentin jännite-epäsymmetria voi johtaa 6 - 10 prosentin virtaepäsymmetriaan. (Mikkonen 2009, 376.)

### 2.6.4 Vaihesyötön liitoksen löystyminen tai katkeaminen

Staattorikäämitystä syöttävä vaihe saattaa löystyä esimerkiksi moottorikaapelin liitântäkotelon liitoksessa, moottorikaapelin syöttöpäässä, moottorinsuojakytkimellä tai turvakytkimellä. Löystyminen aiheuttaa moottorille vaiheiden välistä virtaepäsymmetriaa, josta seuraa moottorin kuumentuminen. Mikäli yksi vaihe katkeaa kokonaan, siirtyy sen virta kokonaan muille vaiheille. Tällöin moottori kuumenee hyvin nopeasti ja aiheuttaa pahimmillaan moottorin palamisen. Suuret moottorit suojataan tavallisesti virtaepäsymmetrialta suojareleellä ja pienemmät moottorit lämpöreleellä. (Mikkonen 2009, 375.)

### 2.6.5 Roottorikäämityksen sauvojen murtuminen

Oikosulkumoottorin käynnistysvirta aiheuttaa roottorikäämityksen hetkellisen kuumenemisen. Mikäli käynnistysvirrat ovat suuria ja käynnistyksiä usein, voi tämä johtaa ajan mittaan käämisauvan ja oikosulkurenkaan liitoksen kunnan heikkenemiseen, murtumiseen ja katkeamiseen. (Mikkonen 2009, 383.)

Katkenneen käämisauvan virta siirtyy vierekkäisille sauvoille, jolloin niiden virta kasvaa aiheuttaen myös niiden murtumisen ja katkeamisen. Roottorisauvojen katkeamisen johdosta oikosulkumoottorin momentti pienenee, jolloin jättämä moottorissa kasvaa. Katkenneiden sauvojen seurauksena roottorin momenttiin tulee myös edestakainen värähtelytaajuus, joka kasvattaa moottorin värähtelytasoa. Roottorisauvojen katkeaminen yleensä huomataan siinä vaiheessa, kun moottorin momentti on niin pieni, ettei se kykene käynnistymään. (Mikkonen 2009, 383.)

Oikosulkumoottorin roottorisauvojen tai päätyrenkaan murtuminen voidaan tunnistaa staattorivirran signaalianalyysillä. Pidemmälle edennyt vaurio voidaan havaita myös värähtelymittauksilla. (Mikkonen 2009, 384.)

### 2.6.6 Taajuusmuuttajakäyttöjen erityispiirteet

#### Osittaispurkaukset

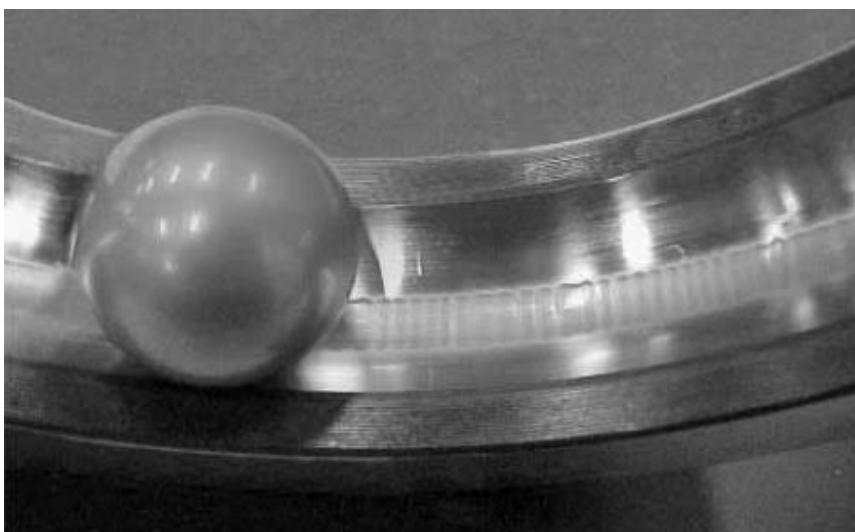
Nykyaikaisilla taajuusmuuttajakäytöillä syötetään staattorikäämitykseen jännitepulsseja, joilla on suuri nousunopeus. Yli 600 V jännitteillä saattaa moottorin liittimissä esiintyä jännitepiikkejä, jotka voivat joissakin tapauksissa aiheuttaa staattorikäämityksen pinnalle osittaispurkauksia, jotka johtavat käämityksen enenaikaiseen vanhenemiseen. Taajuusmuuttajan aiheuttamat purkaukset voidaan tunnistaa osittaispurkausmittauksella. (Mikkonen 2009, 380.)

### Taajuusmuuttajan aiheuttama kierrossulku

Nykyaikaisilla taajuusmuuttajakäytöillä syötetään staattorikäimitykseen jännitepulsseja, joilla on suuri nousunopeus ja myös tavallista suurempi voimakkuus. Mikäli, erityisesti yli 600 V moottoreilla, käämyksessä ei ole käytetty erikoisvahvennettua eristystä, syntyy käämyksen alkupään käämikierrosten välille suuri jännite, joka voi lävistää kierrosten välisen eristyksen. Tällöin moottorin käämytys ylikuumenee hyvin nopeasti ja käämytys palaa. (Mikkonen 2009, 380.)

### Akselijännitteen ja laakerivirran aiheuttamat laakerivauriot

Eräs taajuusmuuttajakäyttöjen erityispiirre on akselijännitteen aiheuttamat laakerivirrat ja -vauriot. Taajuusmuuttajien tuottamat jännitepulssit indusoivat joissakin tapauksissa moottorin akselille jännitteen. Mikäli moottorin akselijännite kasvaa liian suureksi, voi se läpäistä laakerin öljy- tai rasvakalvon ja aiheuttaa akselilta laakerin läpi moottorin runkoon kulkevan sähkövirran. Taajuusmuuttajan indusoima sähkövirta aiheuttaa laakerin sisäpinnalle laakerin kuormitusalueelle ”pyykkilautakuvion”, jonka seurauksena laakeri vaurioituu. Kuviossa 34 on havainnollistettu laakerivirtojen aiheuttama vika. (Mikkonen 2009, 382.)



Kuvio 34. Laakerivirtojen aiheuttama pyykkilautakuvio (ABB 2000b.)

Taajuusmuuttajan aiheuttamia akselivirtoja on kahta erilaista perustyyppiä, induktiivisia ja kapasitiivisia. Induktiivista akselivirtaa indusoituu tavallisesti suurilla moottoreilla (yli 100 kW). Virta kiertää moottorin akselilta toisen pään laakerin kautta moottorin runkoon ja toisen pään laakerin kautta takaisin akselille. Nämä akselivirrat estetään tavallisesti N-pään eristetyllä laakeroinnilla tai laakerikilvellä. (Mikkonen 2009, 382.)

Kapasitiivista akselivirtaa indusoituu tavallisesti pienillä (alle 30 kW) moottoreilla ja se synnyttää moottorin molemmissa päissä akselilta laakerin kautta runkoon kulkevan virran. Tällaisessa tapauksessa pelkästään toisen pään laakerin eristäminen ei riitä. Mikäli molempiin päihin asennetaan eristetyt laakerit, on syytä varmistua, että akselilla oleva jännite ei etsi uutta reittiä, esimerkiksi vaihteiston tai kytkimen kautta kuormittavan koneen laakerille. Tällaisissa tapauksissa voidaan akselijännitettä alentaa suodattimien avulla. (Mikkonen 2009, 382.)

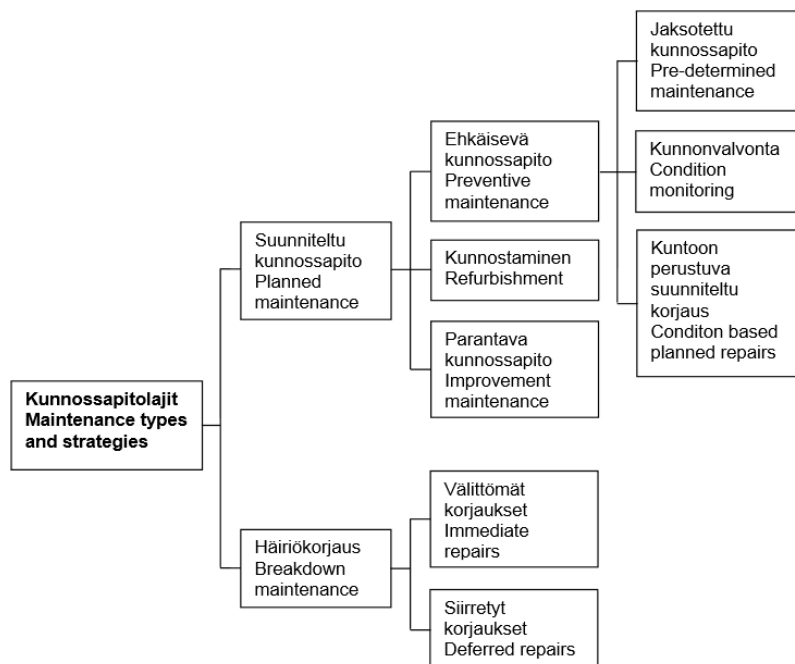
Taajuusmuuttajan aiheuttamat akselijännitteet ja laakerivirrat voidaan havaita akselijännite- ja laakerivirtamittauksin. Laakerivirran aiheuttama laakerin kunnan heikkeneminen voidaan havaita värähtelymittauksin. (Mikkonen 2009, 382.)

### 3 KUNNOSSAPITO

Kunnossapidon ensisijainen tehtävä nykyäskäityksen mukaan on pitää laitteet jatkuvasti käyttökunnossa. Kunnossapitoon kuuluvat rikkoutuneiden laitteiden tai komponenttien korjaukset, mutta korjaustoiminta ei missään nimessä ole kunnossapidon päätarkoitus. Kunnossapito ei myöskään ole nykynäkemyksen mukaan kustannus vaan tärkeä tuotannontekijä, jonka avulla pystytään varmistamaan tuotantolaitoksen kilpailukyky. (Mikkonen 2009, 25.)

#### 3.1 Kunnossapito PSK:n mukaan

Kunnossapito määritellään PSK 6201-standardissa seuraavalla tavalla: ”Kunnossapito on kaikkien niiden teknisten, hallinnollisten ja johtamiseen liittyvien toimenpiteiden kokonaisuus, joiden tarkoituksena on säilyttää kohde tilassa tai palauttaa se tilaan, jossa se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon sen koko elinjakson aikana.” Standardin mukaan kunnossapito jaetaan kahteen osaan, eli suunniteltuun kunnossapitoon ja häiriökorjaukseen. Kuviossa 35 on standardissa PSK 7501 esitettävä kaavio eri kunnossapitolajien suhteista toisiinsa. Standardissa PSK 6201 on sanallisesti kuvattu kunnossapitolajit taulukon 9 mukaisesti. (Mikkonen 2009, 96.)



Kuvio 35. Kunnossapitolajit (PSK 7501.)

Taulukko 9. PSK 6201 mukaiset kunnossapitolajit (Mikkonen 2009, 97.)

Kunnossapitolaji	Kuvaus
Ehkäisevä kunnossapito	Ehkäisevällä kunnossapidolla pidetään yllä kohteen käyttöominaisuuksia, palautetaan heikentynyt toimintakyky ennen vian syntymistä tai estetään vaurion syntyminen.
Jaksotettu kunnossapito	Ehkäisevän kunnossapidon toimenpide, joka tehdään suunnitelluin jaksotuksin esimerkiksi käyttötuntien, kalenteriajan, tuotantomäärän tai energian käytön mukaisesti.
Huolto	Jaksotetun kunnossapidon toimenpide, joka sisältää kohteen tarkastamisen, säädön, puhdistamisen, rasvauksen, öljynvaihdon, suodattimen vaihdon ja muut vastaavat toimenpiteet.
Tilanteen mukainen huolto	Jaksotetun kunnossapidon toimenpide, joka tehdään kohteen, tuotannon tai organisaation tilan salliessa.
Kunnonvalvonta	Kunnonvalvonnalla määritellään kohteen toimintakunnon nykytila ja arvioidaan sen kehittyminen mahdollisen vikaantumis-, huolto- ja korjausajankohdan määrittämiseksi. Kunnonvalvonnan toimenpiteitä ovat aistein sekä mittalaittein tapahtuvat tarkastukset ja valvonta.
Kuntoon perustuva suunniteltu korjaus	Kunnonvalvonnalla, aistinvaraisesti ja tarkastustoiminnalla havaittujen kohteiden suunniteltu korjaus, kohteita ei havaita, niitä esim. Tarkkaillaan, viat havaitaan.
Kunnostaminen	Kuluneen tai vaurioituneen käytöstä pois otetun kohteen palauttaminen käyttökuntoon.
Parantava kunnossapito	Parantavan kunnossapidon tarkoituksena on parantaa kohteen luotettavuutta ja/tai kunnossapidettävyyttä muuttamatta kohteen toimintoa.
Häiriökorjaukset	Häiriökorjauksella palautetaan vikaantunut kohde toimintakuntoon ja käyttöturvallisuudeltaan alkuperäiseen tilaansa.
Välitön häiriökorjaus	Välitön korjaus suoritetaan heti vian havaitsemisen jälkeen, jotta voidaan palauttaa toimintakunto tai rajoittaa vian aiheuttamat seuraukset hyväksyttävälle tasolle.
Siirretty häiriökorjaus	Korjaus, jota ei suoriteta välittömästi vian havaitsemisen jälkeen, vaan se on siirretty tehtäväksi kohteen, tuotannon tai organisaation tilan salliessa.
Korjaava kunnossapito	Korjaava kunnossapito on häiriökorjausten, kunnostamisen ja kuntoon perustuvan suunnitellun korjauksen summa.
Kuntokartoitus	Kuntokartoituksen tuloksena saadaan kokonaiskuva kohteesta. Kuntokartoituksella selvitetään merkittävimmät korjaustarpeet sekä esimerkiksi muiden tarkempien tutkimusten tarve.

### 3.2 Koneiden ja laitteiden kriittisyyskartoitus

Laitteiden kriittisyyskartoituksesta on olemassa kotimainen standardi PSK 6800. Sen mukaan kriittisyys on ominaisuus, joka kuvaa kohteeseen liittyvän riskin suuruutta. Riski voi liittyä henkilöiden loukkaantumiseen, merkittäviin aineellisiin vahinkoihin, tuotannon menetykseen tai muihin ei-hyväksyttäviin seurauksiin. Riskin suuruudella tarkoitetaan vikaantumisen vaikutuksen ja sen toteutumisen todennäköisyyden tuloa. Kohde on kriittinen, jos siihen liittyvä riski ei ole hyväksyttävällä tasolla. (Mikkonen 2009, 148.)

Kriittisyyskartoitusta käytetään kunnossapitosuunnitelman lähtötiedon tuottamiseen (PSK 6800). Lisäksi sitä voidaan käyttää esimerkiksi hankintavaiheen tukena määriteltäessä hankittavan kriittisen laitteen ominaisuuksia, laatutasoa ja vastaanottokriteerejä. Laitetason kriittisyyteen vaikuttavat turvallisuus- ja ympäristötekijät, tuotantovaikutukset sekä korjaus- ja seurauskustannukset. (Mikkonen 2009, 148.)

Kriittisyyskartoituksen tuloksena saadaan tarkastellun alueen laitteet järjestettyinä niiden kriittisyyden kannalta. Kun kartoituksen parametrit on valittu oikein ja kun arviointia tehtäessä on käytetty riittävää asiantuntijuutta, on analyysin tulos yleensä luotettava. (Mikkonen 2009, 150.)

### 3.3 Kunnossapidon tietojärjestelmät

Kunnossapidon tietojärjestelmillä tarkoitetaan niitä tiedonhallintajärjestelmiä, joita tarvitaan laitoksen tuotantovälineiden käyttövarmuuden suunnittelussa, ohjaamisessa ja seurannassa, tavoitteena laitoksen käyttövarmuuden pitäminen halutulla tasolla koko sen elinjakson ajan. Suuremmissa yrityksissä kunnossapidon tietojärjestelmät ovat saavuttaneet aseman yhtenä kriittisenä järjestelmänä myös tuloksen tekemisen kannalta. Nykyistä, merkittävästi lyhempien liiketoimintasykliä vaatimaa ajantasatietoa ei voida kunnossapidossa käsitellä muuten kuin tietojärjestelmillä. (Kiiveri 2000, 3.)

### 3.3.1 Tietokantojen tunnisteet

Kunnossapidon tietojärjestelmässä käytetyillä erilaisilla tietojen tunnisteilla on huomattava merkitys tietojärjestelmän toimivuudelle ja käytettävyydelle. Hyvät tunnistejärjestelmät selkeyttävät käyttöä ja sallivat joustavan ja nopean tiedonhaun. Tietojen yksilöivät tunnisteet esimerkiksi laite-, varastonimikkeet ja luokittelevat tunnisteet esimerkiksi materiaalityypit ja laityypit on hyvä pitää erillisinä. Kunnossapidon tietojärjestelmä voidaan toteuttaa monella eri tavalla, mutta itse toiminnot, joita tietojärjestelmän tulee palvella, ovat yrityksestä riippumatta hyvin samanlaisia. Kunnossapidon tietojärjestelmä jaetaan useisiin osa-alueisiin. (Kiiveri 2000, 4.)

Kortisto on siis hierarkkinen kokonaisuus, josta nähdään prosessin ja sen laitteiden sekä varaosien väliset liittymät. Kunnossapitokortistossa on usein myös paikkahierarkiaa palvelevat oheishierarkiat, kuten sähkö-, automaatio-, kone- ja rakennushierarkiat. Näistä tiedoista muodostuu prosessikokonaisuus, josta on helppo erotella prosessilaitteiston eri osa-alueet. (Kiiveri 2000, 5.)

Kunnossapitokortisto voidaan jakaa esimerkiksi seuraavalla tavalla:

- laitekortit
- paikkakortit
- hierarkiat
- varalaitteet
- tyyppilaitteet
- varaosakortit/-luettelot
- asiakirjat, dokumentit.

### 3.3.2 Laittepaikkakortisto ja varaosakortit

Laittepaikkakortistossa kuvataan laitoksen tuotantoprosessi halutulla tarkkuudella. Oma paikkahierarkia ja tunnistejärjestelmä voi olla esim. automaatio-, sähkö-, kone- ja kiinteistöpaikoilla. Laittepaikkojen tunnisteina käytetään olemassa ole-

via prosessipositioita tai tehdään uudet tunnisteet oman tarveharkinnan pohjalta. Laitepaikkatunnus säilyy samana vaikka paikassa oleva laite tai järjestelmä vaihdettaisiin toisenlaiseen. Laitepaikkoja käytetään tunnisteina, joilla erilaiset kunnossapitoon liittyvät tiedot ja toimenpiteet kohdistetaan tuotantoprosessiin. (Kiiveri 2000, 5.)

Varaosakortistossa ylläpidetään tietoja kunnossapidettäviin kohteisiin liittyvistä varaosista. Varaosista voidaan tarvittaessa tehdä vastaavanlaiset kortit kuin muistakin laitteista. Varaosakortistossa liitetään varaosat laitteisiin ja laitepaikkoihin, josta syntyy laite- ja laitepaikkakohtaiset varaosaluettelot. (Kiiveri 2000, 6.)

## 4 RAP5-LINJAN SÄHKÖMOOTTOREIDEN KARTOITUS

RAP5-linjan sähkömoottoreiden kartoitus päätettiin toteuttaa, koska toistuvissa tilanteissa sähkömoottoreiden rikkoutuessa ei sopivaa varamoottoria ole ollut tehtaan varastossa. Pääosin moottoreiden rikkoutumiset ovat kohdistuneet apuprosesseihin, jotka eivät välittömästi katkaise jatkuvatoimisen linjan tuotantoprosessia. Rikkoutumiset aiheuttavat kuitenkin suuren määrän ylimääräistä työtä aluekunnossapidolle ja osastolle.

Kartoituksen tekeminen näin suurelle linjalle oli laajamittainen prosessi, joka koostui kenttä- ja varastokartoituksesta, sekä näihin liittyvistä dokumentoinneista. Työssä kartoitettiin kaikki linjan pää- ja apuprosessiin liittyvät sähkömoottorit kaikista kokoluokista, jolloin linjan kartoitettujen moottoreiden kokonaismääräksi muodostui 880 moottoria.

RAP5-linjalla epätahtimoottoreita on hyvin laajalla tehoalueella, aina alle 1 kW moottoreista 1,5 MW moottoreihin saakka. Suurin osa moottoreista on pumppu-puhallin- ja kuljetinkäytöissä sekä prosessin linjakäyttöjen moottoreina. Moottorit ovat pääasiassa epätahtimoottoreita, mutta linjalla on myös kolme tasavirtamoottoria alku- ja loppupään leikkureilla, sekä kolme 6 MW tahtimoottoria tandemvalssaimella.

### 4.1 Lähtökohdat

Työn alustavana pohjana toimi aikaisemmin tehty sähkömoottoreiden huoltolista, jonka lähtökohdista työ toteutettiin. Huoltolista oli erinomainen lähtökohta, koska se sisälsi lähes kaikki linjan moottorit sähköpositioidinnin mukaisesti listattuna. Tämä tarkoitti sitä, että suurelta osin lista seurasi järjestelmällisesti prosessia alkupään aukikelaimilta aina loppupään päällekelaimille saakka. Tästä syystä lista oli helppo jakaa sopiviin kartoitusalueisiin, jotka pysyttiin tutkimaan pääosin kokonaisuudessa yhdellä kertaa.

Alkuperäisen huoltolistan sisältämät tiedot sähkömoottoreista olivat joko vanhentunutta tai epätarkkaa tietoa. Listaan haluttiin tuoda kaikki tärkeimmät IEC-standardin mukaiset tiedot, sekä muu tärkeä informaatio moottoreista kuten kytkentäkoteloiden sijoitus, lisävarusteet ja asennuspaikkojen erityispiirteet.

#### 4.1.1 Kartoitustyön välineet

Kartoitustyö toteutettiin kuvaamalla moottorit kameralla. Kuvat otettiin moottoreiden arvokilvistä ja tämän lisäksi moottorin profiilista, jolloin pystytään näkemään kytkentäkotelon sijoitus, sekä mahdolliset rajoitukset ympäristössä moottorin asennusmittojen kannalta. Kuvaamisen todettiin olevan ainoa realistinen tapa toteuttaa kenttäkartoitus tässä laajuudessa.

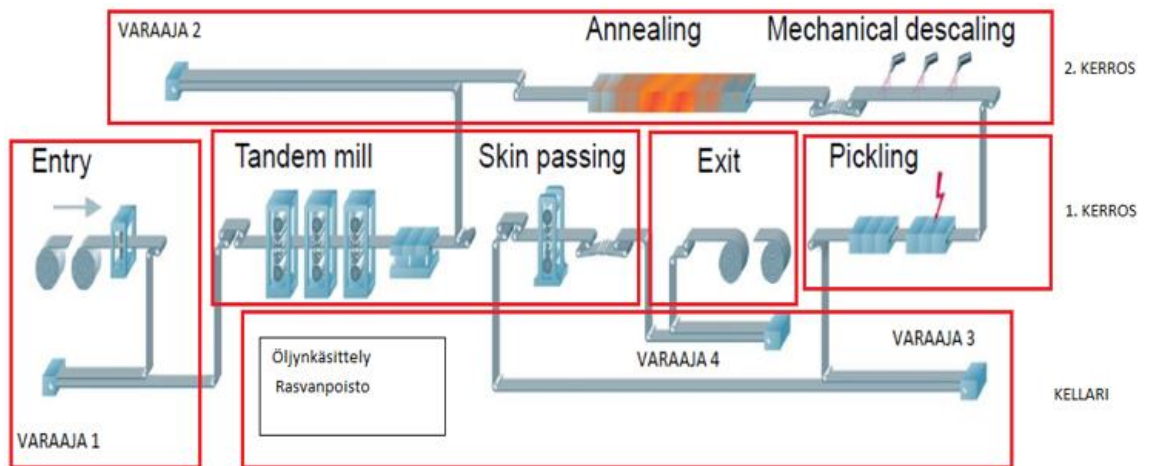
#### 4.1.2 Kunnossapidon tietojärjestelmä

KUTI-tietojärjestelmä on Outokumpu Tornio Worksin tuotannon ja kunnossapidon toiminnanohjausjärjestelmä, jonka avulla hallinnoidaan tuotantolinjoihin ja sen laitteistoihin kohdistuvia töitä. Kunnossapidon tietojärjestelmä on laaja kokonaisuus, joka sisältää mm. tehdasselaimen, töidenhallinnan, päiväkirjat, häiriö- ja kustannusseurannan sekä erilaiset hakutoiminnot. (Outokumpu 2015c.)

Tämän työn yhteydessä kunnossapidon tietojärjestelmää käytettiin pääasiallisesti varastonkartoituksen yhteydessä. Ohjelman tehdasetsijällä pystytään hakemaan varaosamoottorit tehdasalueen varastoista ja tehdasselaimella voidaan sijoittaa varaosamoottorit RAP5-linjan hierarkian KUTI-positioihin.

## 4.2 Kenttäkartoitus

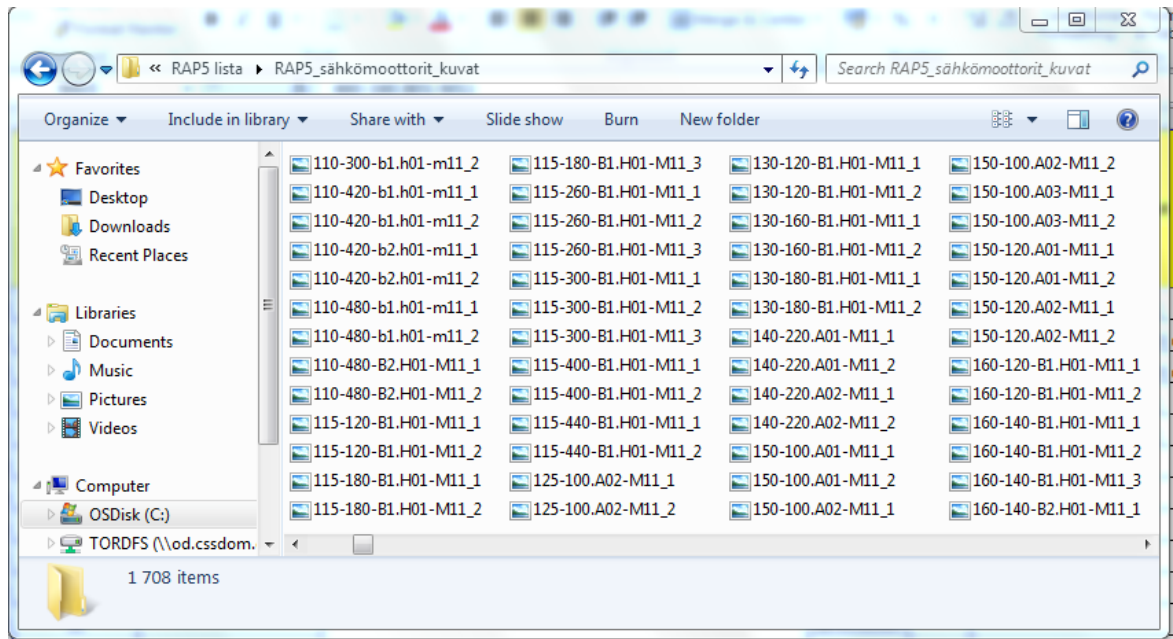
Kartoitustyön ensimmäisenä vaiheena työssä päätettiin jakaa halli kartoitusalueisiin, jotka pyrittiin kartoittamaan aina mahdollisimman suuressa laajuudessa. Tämän suunnitelman perustana oli se, että linja on jatkuvatoiminen ja suurin osa moottoreista sijaitsee prosessialueilla, joihin pääseminen on estetty linjan tuotantoprosessin aikana. Alla olevassa kuviossa 36 havainnollistetaan kartoituksen aluejako, jossa jokainen punainen raja esittää yhtä kartoitusaluetta.



Kuvio 36. Kenttäkartoituksen aluejako

Kenttäkartoituksen aluejaolla pystyttiin tehostamaan kartoituksen rajallisia aikakunknoita, jotka määräytyivät seisakkien mukaisesti. Seisakit linjalla alkavat aikasin aamulla ja loppuvat pääsääntöisesti yövuoroon mennessä. Tavallinen seisakkien väli on noin kaksi viikkoa. Jokaisessa seisakissa tavoitteena oli noin 100 - 150 moottorin kartoittaminen ja kartoitusalueet jakautuivat karkeasti yhtä laajoihin osiin. Kartoitusalueiden ulkopuoliset moottorit, jotka käsittivät suuremmilta osin apuprosessien koneita ja linjan vaihdemoottoreita, pystyttiin kartoittamaan seisakkien ulkopuolisella ajalla.

Kenttäkartoitus oli työn aikaa vievin osio, jonka tuloksena saatiin kentältä päivitettyt tiedot 880 moottorista. Kuvaamalla toteutettu kartoitus jakautui ajallisesti tarkasteltuna tasaisesti kenttätyön ja tietojen käsittelyn kanssa. Kuvia työn aikana otettiin noin 1700, joiden perusteella luotiin myös kuvatietokanta, jota pystytään käyttämään hyväksi tulevaisuudessa. Kuviossa 37 esitetty kuvatietokanta yhdistettiin työssä suoraan huoltolistaan luomalla siihen numeroidut linkit 1, 2 ja 3. Kuvat nimettiin sähköpositioiden mukaisesti, jolloin kuvat pystyttiin helposti liittämään tietokannassa oikeaan moottoripaikkaan ja mahdolliset tulevat tietokannan muutokset ovat helpompia ja selkeämpiä toteuttaa.



Kuvio 37. Sähkömoottoreiden kuvatietokanta

Huoltolistaan koottiin moottoreista alla olevat tiedot ja kuviossa 38 on esimerkki arvokilvistä kootuista tiedoista:

- tyyppi
- valmistaja
- teho
- pyörimisnopeus
- IEC-koko
- paino
- asennus
- IP-luokka
- eristysluokka
- laakeritiedot
- lisävarusteet.

ABB Motors

3-Motor M2AA 160 L 4

IEC 160 M/L 42

No

Ins.cl. F IP 55

V	Hz	kW	r/min	A	cos φ	I <sub>A</sub> /I <sub>N</sub>	t <sub>E</sub> /S
690 Y	50	15	1455	16.5	0.84		
400 Δ	50	15	1455	28.5	0.84		
660 Y	50	15	1445	17.3	0.84		
380 Δ	50	15	1445	30	0.84		
415 Δ	50	15	1460	28	0.83		
440 Δ	60	17	1745	30	0.84		

Prod.code 3GAA 162 102-ADA

6309-2Z/C3 6209-2Z/C3 94 kg

3GZV 193 004-11 IEC 34-1

Kuvio 38. Moottoreiden arvokilvistä kerätyt tiedot

Kenttäkartoitus hidastui huomattavasti, kun jäljellä oli alueet, joihin pääseminen ei onnistunut linjan tuotannon ollessa käynnissä. Näitä alueita olivat turvaporteil- la suojatut alueet sekä kellaritaso, minne ei turvallisuussyistä menty ajon aika- na. Kellarissa vaaran aiheutti mahdollinen tulipalo tandem-valssaimella, joka vastaavasti aiheuttaa CO<sub>2</sub>-sammutusjärjestelmän laukeamisen. Työn alussa määritelty aluejako tehosti näitä seisakkien aikaisia kartoituksia huomattavasti ja seisakki kohtaisesti pystyttiin kartoittamaan noin 100 - 150 moottoria kerralla. Kenttäkartoitusosioon kului aikaa noin 75 päivää ja sen aikana suoritettiin 5 sei- sakin aikaista kartoitusta.

#### 4.3 Varastokartoitus

Varastokartoitus aloitettiin, kun kenttäkartoitus oli rajautunut seisakkeihin ja ke- rätty moottoritiedot oli saatu huoltolistaan päivitettyä. Kartoitukseen käytettiin kuviossa 39 esitettyä KUTI-järjestelmän tehdasetsijää, joka mahdollistaa vara- osien haun tehtaan varastoista. Tehdasetsijään voidaan tallentaa käyttäjäkoh- tainen hakuprofiili, joka nopeuttaa varaosien hakua.

**Tehdasetsijä (moottorihaku)**

Tiedosto Muokkaa Näytä Työkalut Ohje

Mitä & mistä | Nimikehaku | Lisäkriteerit | Muutostiedot

Mitä

Kohde:

Loji:

Tunnus:

Nimi:

Mistä

Hierarkia:

Kohde:

Tunnus & Nimi:

	Tunnu	Nimi	Nimikkeen nimi SAPissa
31	645217	KÄYTTÖLAITE NORD SK 4382/0.55Kw	KÄYTTÖLAITE NORD SK 4382/0.55Kw
32	626239	KONTAKTORI A110-30-11-80	KONTAKTORI A110-30-11-80
33	654747	MOOTTORI 55Kw 984RPM B3 (K)	MOOTTORI 55Kw 984RPM B3
34	643525	MOOTTORI 0.55Kw 1400RPM B3	MOOTTORI 0.55Kw 1400RPM B3
35	644754	MOOTTORI 55Kw 1500RPM 225S B3 (K)	MOOTTORI 55Kw 1500RPM 225S B3
36	643979	MOOTTORI 55Kw 1500RPM 225S	MOOTTORI 55Kw 1500RPM 225S
37	644235	MOOTTORI 55Kw 2962RPM 225M55 B3	MOOTTORI 55Kw 2962RPM 225M55 B3
38	D40575	Poistettu:MOOTTORI 0,55Kw 1400RPM AUMA	MOOTTORI 0,55Kw 1400RPM AUMA/MD71-4/80

97 kohdetta löytyi

Kuvio 39. Tehdasetsijä

Vakiomoottoreiden osalta hakuja suoritettiin pääasiassa IEC-koon tai moottorin tehon perusteella. Erikois-, servo- ja vaihdemoottoreiden osalta haut suoritettiin pääasiassa tarkan moottorityypin mukaan. Tehdasetsijässä haku suoritetaan nimikehauilla, joka etsii hakusanoja sekä sanojen osia varaosien nimikkeistä.

Löydetyt varaosat lisättiin päivitettävänä olevaan huoltolistaan tarkastamista varten. Nimikkeisiin annettujen tietojen perusteella ei voitu tehdä olettamusta, että moottori sopisi määriteltyyn paikkaan, vaan ne täytyi käydä toteamassa kelvollisiksi varastoilla. Kun listalle oli saatu riittävä määrä varastoituja varaosamoottoreita, suoritettiin moottoreiden tarkistamiset tehdasalueen varastoilla. Sähkömoottorit varastoidaan tehdasalueella kahdella yleisvarastolla hallivarasto 6:lla ja Repolan varastolla. Näiden lisäksi tuotantoyksiköissä on omat varastot. Varaosamoottoreiden suuren määrän vuoksi jokaiselle varastolle luotiin omat tarkastuslistat, joiden perusteella varmistukset suoritettiin.

#### 4.3.1 Varastointi RAP-5:lla

RAP5:lla varastoidaan prosessille kriittiset moottorit kuten linjan S-rullastojen, kelaimien ja varaajien päämoottorit. Myös pääosa linjalla käytetyistä vaihde-moottoreista on sijoitettuna hallin varastolle. Varastointi sähkömoottoreiden osalta on hajautettu useammalle alueelle, johtuen moottoreiden määrästä ja joidenkin moottoreiden suuresta koosta. Pääasiassa pienet koneet on sijoitettu RAP5:n varastolle ja linjan isommat koneet joko varaaja 2:n laidalle tai paperi-varaston läheisyyteen.

RAP5:lla on myös moottoreita varastoituna varaaja 2:n vieressä olevassa käyttämättömässä sähkötilassa. Moottorit eivät olleet KUTI-tietokannassa, joten koneita myös tarkasteltiin mahdollisiksi varaosamoottoreiksi. Tilasta löytyy 25 erityyppistä konetta ja koneiden kokonaismäärä oli 45 kappaletta. Koneet ovat olleet käytössä ennen erilaisissa poistetuissa järjestelmän osissa. Tilan koneista 9 erilaista konetta soveltuu linjan varaosamoottoreiksi, ja näistä koottiin oma lista tarvittavilla tiedoilla KUTI-tietokantaan lisättäväksi, minkä jälkeen moottorit varastoidaan uudelleen. Taulukossa 10 on esitetty lista moottoreista, jotka on mahdollista käyttää linjalla uudelleen.

Taulukko 10. Sähkötilan 6 varaosamoottorit

kpl	Varamoott. Nimike tiedot	TYYPPI	VALMISTAJA	PYÖRIMIS NOPEUS	Teho (kW)	IEC koko	asennus
	MOOTTORI 30KW 1500RPM 200L B3	16BG207-4AA 3B	RITZ	1470	30	200L	B3
	MOOTTORI 5.5KW 300RPM 132S B5	1LA7 130-2AA61	SIEMENS	2925	5.5	132S	B5
3x	MOOTTORI 90KW 1500RPM 280S/M B3	DOR 280 M4-029	HELMKE	1480	90	280S/M	B3
	MOOTTORI 11KW 1500RPM 160M B3	M2QA 160M4A	ABB	1460	11	160M	B3
2x	VAIHDEMOOTTORI 1.5KW 42/1420RPM 90L	FS450-90L/4D	BOCKWOLDT	42/1420	1.5	90L	
	MOOTTORI 18.5KW 1500RPM 180M B3	HXUR 365A2 B3	STRÖMBERG	1460	18.5	180M	B3
2x	MOOTTORI 11KW 1500RPM 160M B3	1LA7 163-4AA60	SIEMENS	1460	11	160M	B3
2x	MOOTTORI 90KW 1500RPM 280S B3	HXUR 562 G2	STRÖMBERG	1478	90	280S	B3
	MOOTTORI 3KW 3000RPM 100L B14	1LA7 106-2AA12	SIEMENS	2890	3	100L	B14

RAP5:lla varastoitavat suuremmat koneet on hyvin suojattu ja hallissa olevalta pölyltä ja sijoitettu vähemmän käytössä oleville alueille. Kuviossa 40 esitetään varaaja 2:n vierelle toteutettu moottoreiden varastointi.



Kuvio 40. Varaaja 2 moottoreiden varastointi

#### 4.3.2 Varastointi tehdasalueella

Tehdasalueen hallivarastolla ja Repolan varastolla varastoidaan suuri määrä erilaisia moottoreita ja tämän työn osalta suurin osa vakio moottoreista kartoitettiin näiltä varastoilta. Hallivarastolla on pääasiallisesti pienemmät koneet, ja Repolasta löytyy suurempia 160 - 400 kW koneita. Repolan varastolta ei työn yhteydessä montaa varamoottoria löytynyt, ja suurin osa moottoreista kartoitettiin hallivarastolta.

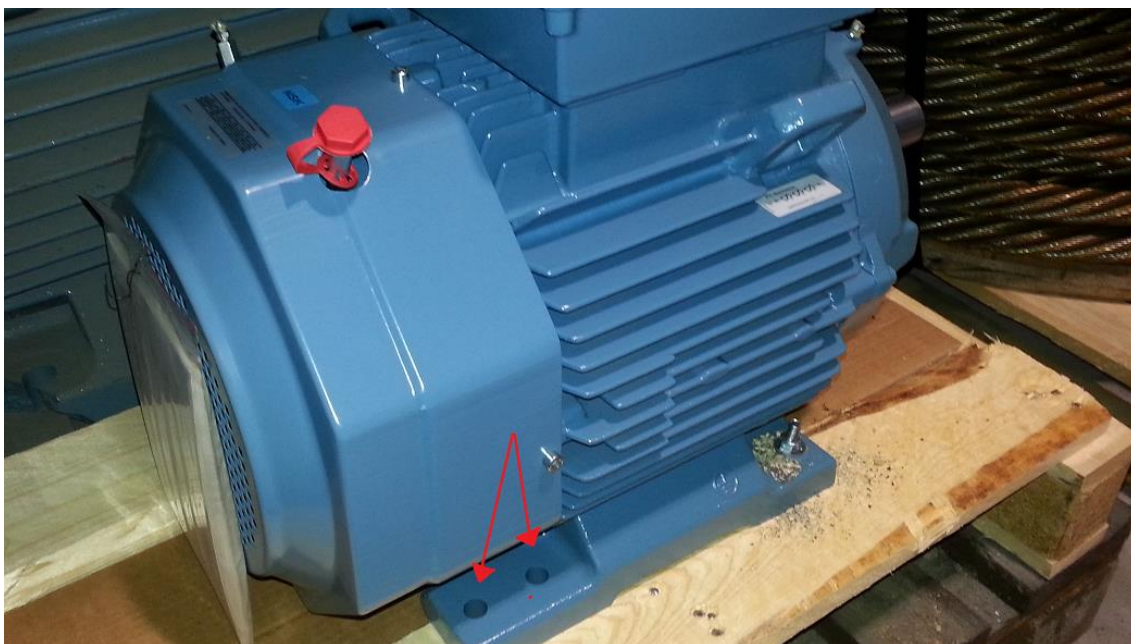
#### 4.4 Nimikkeet ja puutteet nimikkeissä

Kartoitustyön suurimmat ongelmat havaittiin nimikkeiden haun yhteydessä KUTI-järjestelmästä. Vakio moottoreiden osalta nimikkeissä on paljon puutteita. Nimikkeissä huomattiin paljon vanhaa valmistajakohtaista tietoa moottorityypeistä, joka IEC-standardoinnin takia ei ole oleellista vakio moottoreiden osalta. IEC-standardointi varmistaa sen, että eri valmistajien konetta voidaan käyttää

varaosana toisen valmistajan koneelle, mikä vähentää varastoitavien moottoreiden määrää huomattavasti. Nimikkeiden suurimmat puutteet havaittiin moottoreiden IEC-kokoluokissa. Alla olevassa taulukossa 11 on esitetty moottorin nykyiset tiedot ja tiedot, jotka olisivat oleellisia koneelle. Nykyisin vakiomoottorit suunnitellaan hyvin usein kahteen pituusluokkaan, mutta nimikkeissä tätä ei ole otettu huomioon. Lisäksi useista nimikkeistä puuttuu mm. moottorin asennustapa. Kuviossa 41 on havainnollistettu nuolilla moottorin pituusluokat, jotka ilmoitetaan myös moottorin arvokilvessä.

Taulukko 11. Esimerkki puutteellisista nimiketiedoista

Nykyinen nimi	Uusi nimi	huomautukset
MOOTTORI 15KW 1500RPM 160L B3	MOOTTORI 15KW 1500RPM 160M/L B3	Moottorin pituusluokka on M/L sopiva
MOOTTORI 11KW 1460RPM 160M	MOOTTORI 11KW 1500RPM 160M/L B3	Moottorin pituusluokka on M/L sopiva, asennus on B3
MOOTTORI 3KW 2890RPM 100L B3	MOOTTORI 4KW 3000RPM 100L B3	Nimikkeen alla on tällä hetkellä 4 kW moottori
MOOTTORI 30KW 2950RPM 200M	MOOTTORI 30KW 3000RPM 200M/L B3	Pituusluokka väärin, asennustapa puuttuu



Kuvio 41. Moottorin pituusluokat

#### 4.5 Varaosamoottorinimikkeiden syöttö KUTI-tietokantaan

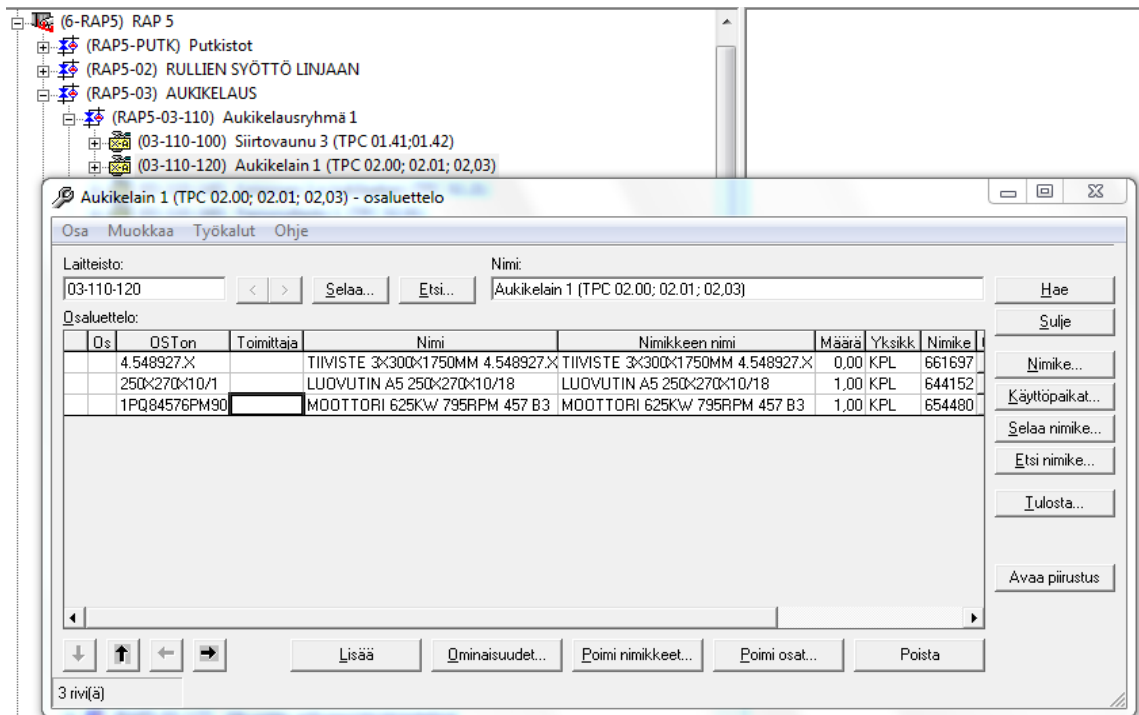
Kun päivitetyn huoltolistan varaosamoottorit oli varmistettu tehtaan eri varastoilla, siirryttiin työssä liittämään varaosanimekkeet KUTI-tietokannan tehdashierar-

kiaan. Tehdashierarkiassa RAP5-linja on jaettu juoksevilla numeroinnilla osioihin ja hierarkia seuraa loogisesti prosessia samalla tavalla kuin huoltolista-karotusvaiheessa. Kuviossa 42 on esitetty kuulapuhalluslaitteisto tehdashierarkiassa. Hierarkiassa kaikki laitteistot on sijoitettu omiksi yksiköiksi, joiden alle laitteista voidaan sijoittaa oleellisia tietoja tai dokumentteja. Sähkömoottoreilla hierarkiassa on sekä sähköinen, että mekaaninen liityntä ja varaosamoottorit liitettiin hierarkiassa pääasiassa yksiköiden pääkansioihin.



Kuvio 42. Kuulapuhalluslaitteisto tehdashierarkiassa

Varaosanimikkeen lisäys tapahtuu luomalla uusi paikka osaluetteloon ja syöttämällä nimikkeen kuusinumeroisen tunnus hakukenttään, joka avautuu ”etsi nimike” napista. Tietokanta hakee automaattisesti tämän jälkeen nimikkeessä olevat tiedot osaluetteloon. Kuviossa 43 on esitetty varaosan lisääminen osaluetteloon.



Kuvio 43. Aukikelaimen 1 varaosanimekkeen lisäys osaluetteloon

#### 4.6 Kartoitustyön tulokset

Kartoitustyön tuloksena saatiin tiedot linjan sähkömoottoreista. Yhteensä linjan 880 moottorista 643 moottorin paikalle löytyi yksi tai useampi varaosamoottori. Kun puutelistalta poistettiin duplikaatit, saatiin määriteltyä erilaisten puuttuvien varaosamoottorien määrä, josta osa on esitetty taulukossa 12. Työn tuloksena tehtyjen excel-taulukoiden esittäminen kokonaisuudessa työn yhteydessä on taulukoiden laajuuden takia hyvin hankalaa. Luodun puutelistan pohjalta pystytään arvioimaan mahdollisia varaosamoottoritarpeita linjalle, sekä arvioimaan puuttuvien koneiden kriittisyyttä.

Taulukko 12. Varamoottori puutelistasta esimerkki

TYYPPI	VALMISTAJA	PYÖRIMIS NOPEUS	Teho (kW)	IEC koko	Paino (kg)	asennus	IP	Ins. Cl.
1LA6 317-6PM60-Z	SIEMENS	986	125	315L	1060	B3	55	F
M3BP 180MLB 4	ABB	1475	22	180L	222	B35	55	F
M3AA 225M	ABB	1475	45	225M	263	B35	55	F
BF30-04/D08LA4	BAUER	45,5/1400	0.75			H3	65	F

#### 4.7 Dokumentointi

Työstä luovutettiin toimeksiantajalle kartoituksessa päivitetty huoltolista, sekä sen perusteella luodut excel-tiedostot puuttuvista varaosamoottoreista. Puutelistat on jaettu kolmeen dokumenttiin: kaikki moottorit sisältävään listaan, vaihde- ja servomoottorit sisältävään listaan, sekä muun tyyppisten moottoreiden listaan. Kartoituksen yhteydessä on luotu moottoreista kuvatietokanta, joka sisältää tiedot moottoreiden asennuspaikoista ja kytkentäkoteloiden sijoituksesta luovutettiin myös toimeksiantajalle.

Materiaali kokonaisuudessaan:

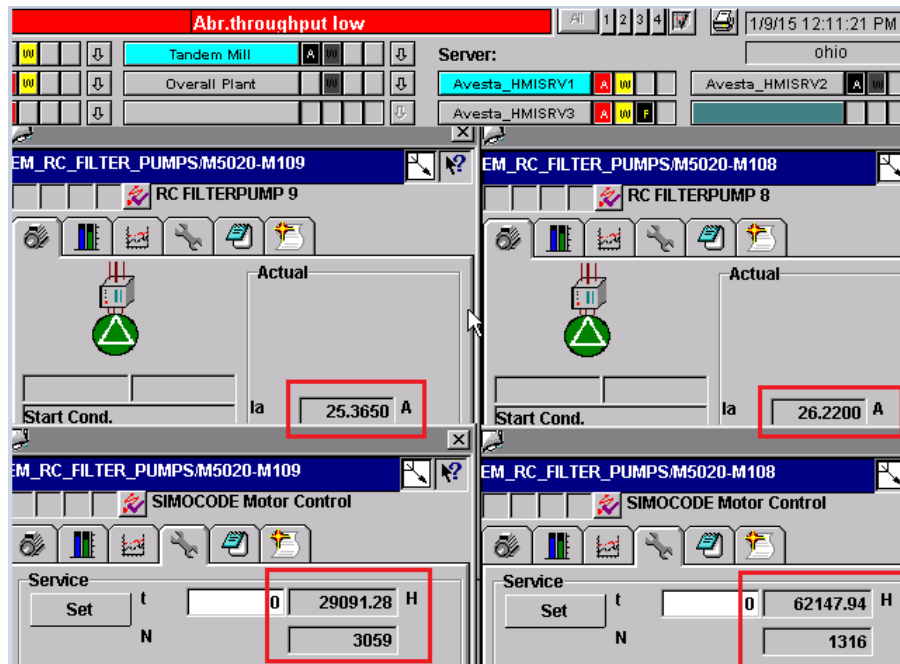
- päivitetty moottoreiden huoltolista
- puutelistat (3 kpl)
- sähkötila 6 lisättävät moottorit
- kuvatietokanta linjan moottoreista.

## 5 SÄHKÖMOOTTOREIDEN OPTIMOINNIN ARVIOINTI

Kartoituksen toisena käytännön osiona työssä toteutettiin linjan suoraan verkkoon kytkettyjen sähkömoottoreiden optimoinnin arviointi. Työ toteutettiin aikavälikartoituksena, jolloin pystytään karkeasti arvioimaan moottoreiden käyttöasteita ja käynnistyskertoja vuositasolla. Linjalta tarkastelun kohteena oli pumppuja puhallinkäyttöjä useista kokoluokista välillä 15 - 800 kW ja moottoreiden kokonaisuus tarkastelussa on 48 kappaletta. Suoraan verkkoon kytkettyjen moottoreiden optimoinnin arvioinnista luovutettiin toimeksiantajalle taulukot. Taulukot sisältävät tässä opinnäytetyössä käsitellyjä asioita, koskien moottoreiden käyttöasteita, kuormituksia ja häviöitä. Lisäksi taulukoissa on moottoreihin liittyviä positiotietoja.

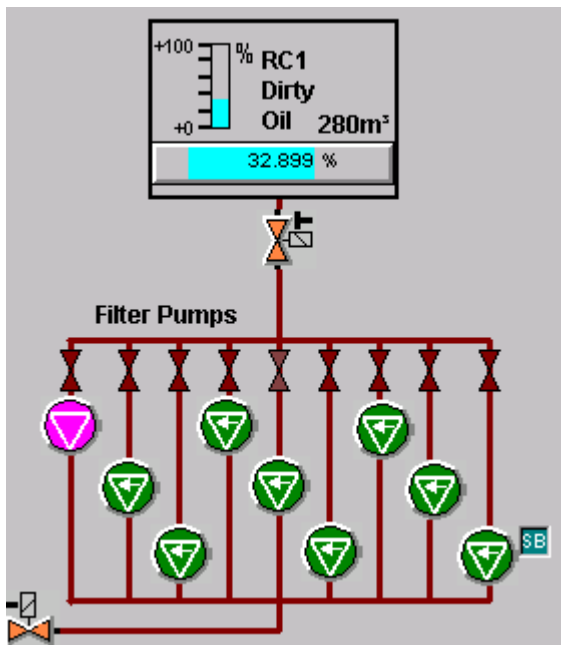
### 5.1 Tietojen haku

Moottoreiden lähtötiedot otettiin kartoitustyön alussa ja tarkastelun ajaksi valittiin noin 2 kuukautta. Tiedot moottoreista haettiin prosessin automaatiojärjestelmästä, josta pystytään saamaan tiedot lähtöjen virroista, käynnistyskerroista ja käyttötunneista. Kuviossa 44 on esitetty HMI näkymä pumpputiedoista, jossa kerätyt tiedot on korostettu punaisilla laatikoilla.



Kuvio 44. HMI kuvankaappaus

Tarkasteluaikavälin päätyttyä voitiin kerätä moottorilähdöistä myös lopetustiedot. Näiden tietojen perusteella saatiin arviot käyttöasteista ja käynnistyskerroista. Tarkastelun pumppulähtöjen moottorit sijoittuvat tandem-valssaimen alueelle ja hehkutus- ja peittausalueen vesijäähdytykseen. Puhallinkäyttöjen moottorit ovat sijoitettuna hehkutus- ja peittausalueen nauhan ilmanjäähdytyksen yhteyteen. Tarkastelussa on myös mukana tandemvalssaimen kuivaimelle sijoitetut puhallinmoottorit. Kuviossa 45 on esitetty öljynkäsittelyn 15 kW ensiöpumput, jotka pumppaavat likaisen öljyn suodattimille.



Kuvio 45. Öljynkäsittelyn ensiöpumput

## 5.2 Käyttöasteet

Pääasiallisesti seuratuissa moottoreissa käyttöaste vaihtelee 30 - 98 %. Käyttöasteeseen vaikuttaa eniten linjalla ajettava materiaali. Kylmänauha ajetaan ilmajäähdytteisenä, jolloin tarkastelussa olevat vesijäähdytyksen pumput eivät ole päällä. Vastaavasti kuumenauha-ajolla ainoastaan jäähdytysalueen 1 puhallinmoottorit ovat käytössä. Tandem-valssaimen nauhakuivaimella käyttöaste on noin 90 %. Käyttöasteet ovat ratkaisevassa asemassa, kun määritellään moottorien hyötysuhteen perusteella esimerkiksi moottorien vaihtokohteita. Suurella käyttöasteella voidaan pienenkin hyötysuhde-eron avulla saavuttaa merkittäviä pit-

kän aikavälin kustannussäästöjä. Taulukossa 13 on esitetty nauhan ilmajäähdytyksen moottorien käyttöasteita.

Taulukko 13. Nauhan ilmajäähdytyksen puhaltimien käyttöasteet

Sähkomoottorien seurantataulukko					
Laite	Sijainti	Tarkastelu-aikaväli			Moottoreiden käyttöaste (%)
		Aloitus	Lopetus	tot	
Cooling fan 1 / AMCSC011	Strip air cooling / Zone 1	07/01/15	06/03/15	1204	86.49
Cooling fan 2 / AMCSC012	Strip air cooling / Zone 1	07/01/15	06/03/15	1205	86.57
Cooling fan 1 / AMCSC021	Strip air cooling / Zone 2	07/01/15	06/03/15	415	29.81
Cooling fan 2 / AMCSC022	Strip air cooling / Zone 2	07/01/15	06/03/15	415	29.81
Cooling fan 1 / AMCSC031	Strip air cooling / Zone 3	07/01/15	06/03/15	414	29.74
Cooling fan 2 / AMCSC032	Strip air cooling / Zone 3	07/01/15	06/03/15	414	29.74
Exhaust fan 1 / AMCSEX1	Strip air cooling 1-3	07/01/15	06/03/15	1206	86.64
Exhaust fan 2 / AMCSEX2	Strip air cooling 1-3	07/01/15	06/03/15	415	29.81
Cooling fan 1 / AMCSC041	Strip air cooling / Zone 4	07/01/15	06/03/15	415	29.81
Cooling fan 2 / AMCSC042	Strip air cooling / Zone 4	07/01/15	06/03/15	414	29.74
Cooling fan 1 / AMCSC051	Strip air cooling / Zone 5	07/01/15	06/03/15	415	29.81

### 5.3 Kuormitus

Moottorien kuormitusasteita arvioitiin vertailemalla HMI:lta saatavia virtoja moottorien kilpiarvoista löytyviin nimellisvirtoihin. Useimmat moottorit olivat hyvin mitoitettu niille tarkoitetuille kuormille, mikä pystyttiin näkemään seurantataulukosta. Pääasiassa moottorit toimivat yli 70 % kuormituksilla, lukuun ottamatta tandem-valssaimen nauhakuivainta ja vedenkäsittelyn jäähdytysvesipumppuja.

Vedenkäsittelyn 250 kW jäähdytysvesipumppujen kuormitusvirrat ovat tarkastelun perusteella noin 125 -130 ampeeria, mikä on 50 % moottoreiden nimellisarvoista. Toinen alhaisen kuormituksen kohde on linjan tandem-valssaimen nauhakuivaimella, missä radiaali- ja reunapuhaltimen kuormitusasteet ovat 54 % ja 36 %. Kuormitusasteiden perusteella osalle linjan suorista lähdöistä on mahdollista suunnitella moottorikokojen pienentämistä, mikäli rakenteelliset seikat eivät sitä estä. Kuormitusaste tarkastelussa oli mukana 47 moottoria. Taulukosta 14 voidaan nähdä moottorien kuormitusasteita.

Taulukko 14. Moottorien kuormitusasteita

Sähkömoottorien seurantataulukko					
Laite	Sijainti	Virta (l)		Moottoreiden kuormitusaste (%)	Nimellisteho (kW)
		HMI	Nimellis		
Cooling fan 1 / AMCSC011	Strip air cooling / Zone 1	215	250	86	250
Cooling fan 2 / AMCSC012	Strip air cooling / Zone 1	197.5	250	79	250
Exhaust fan 1 / AMCSEX1	Strip air cooling 1-3	407.3	657	62	630
Exhaust fan 2 / AMCSEX2	Strip air cooling 1-3	453.3	657	69	630
Exhaust fan 3 / AMCSEX3	Strip air cooling 4-9	621.6	840	74	800
Exhaust fan 4 / AMCSEX4	Strip air cooling 4-9	621.6	840	74	800
Suction pump 1	TCM / RC1 primary filter 1	22.5	28	80	15
Filter pump 1	TCM / RC1 primary filters	24.8	28	89	15
Radial blower / RB1	TCM / Strip dryer	30.8	57	54	55
Edge blower / RB2	TCM / Strip dryer	25.9	72	36	75
Cooling water pump 3	Strip water cool. / Pump station	130	250	52	250
Cooling water pump 5	Strip water cool. / Pump station	125	250	50	250

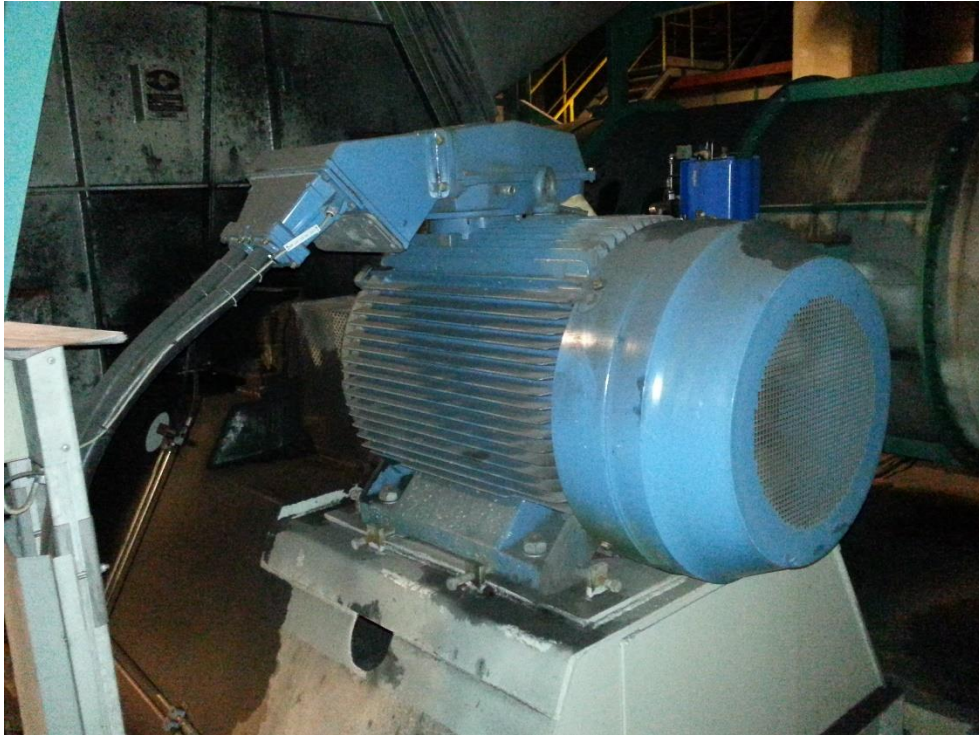
#### 5.4 Häviöt ja vertailu

Optimoinnin arvioinnissa lähtökohtana oli vertailla uuden IE3-luokan moottoria nykyisin käytössä oleviin moottoreihin. Koska HMI:lta saatiin ainoastaan tietoon moottorin näennäisvirta, määriteltiin niiden vaatimat tehot ja häviöt sen perusteella.

Oikosulkumoottorin virralla on kaksi komponenttia: loisvirta ja pätövirta. Loisvirtakomponentti sisältää magnetointivirran, kun taas pätövirta on momentin tuotava virtakomponentti. Magnetointivirta säilyy suunnilleen vakiona vakiovuoalueella (ABB 2001). Työssä moottoreiden nimellisvirtojen avulla määriteltiin magnetointivirrat ja oletettiin niiden pysyvän suhteellisen muuttumattomana vertailun kuormituksilla. Tällaisessa tilanteessa voitiin laskea pätövirrat vertailun moottoreille, minkä avulla moottorin verkosta ottama teho voitiin määrittellä. Nimellisarvoista pystytään laskemaan moottorille hyötysuhde ja häviöt, jotka suhteutettiin kuormitukseen. Liitteessä 1 on taulukoitu esimerkki moottorivertailusta ja liitteessä 2 laskuesimerkki 250 kW moottorille.

Moottorin käyttöasteella on suuri merkitys tarkasteltaessa moottoreiden häviöitä. Työssä käytettiin 50€/MWh hintaa häviökustannuksia vertailtaessa. Tuloksis-

ta voidaan todeta, että suurilla moottoreilla käytössä olevien moottoreiden korvaaminen uudella ei ole kustannustehokasta, koska vanhatkin moottorit pystyvät erinomaisiin hyötysuhteisiin. Vastaavasti kustannusten puolesta lähdoissä, missä moottorin kokoluokan pienentäminen on mahdollista, vaihto voi tuoda merkittäviä säästöjä lyhyelläkin aikavälillä.



Kuvio 46. Eräs tarkastelun kohteena oleva 250 kW puhallinmoottori

Kun liitteen 1 ja kuvion 46 mukaisia ilmajäähdytysvyöhykkeiden moottoreita vertaillaan taulukossa 15, nähdään käyttöasteen vaikutus häviöihin. Taulukossa ylempänä on uusi moottori ja alempana nykyisin käytössä oleva. Moottoreiden hyötysuhteella on hyvin pieni ero 250 kW kokoluokassa, kun moottorit ovat lähellä niiden nimelliskuormituksia. Vertailukohtaksi nykyisille koneille otettiin uusi IE3-luokan moottori, jonka hyötysuhde on 96,6 %. Verrattuna vanhaan koneeseen on hyötysuhteiden ero ainoastaan 0,6 %. Moottoreiden 29,7 % vuotuisella käyttöasteella häviöiden kustannusero on noin 290 euroa ja yli 86 % käyttöasteella noin 820 euroa.

Taulukko 15. Ilmajäähdytys vyöhykkeiden 250 kW moottoreiden vertailu

Malli	Sähköteho (kW)	Akseliteho (kW)	Hyötysuhde (%)	Vuotuinen käyttöaste (%)	Vuotuiset häviöt (MWh)	Häviökustannukset (1 MWh = 50e)	Häviökustannusten erotus
M3BP 355 SMB	202.3	195.4	96.6	29.74	545.6	27279	293
M2BA 355S	203.2	195.4	96		551.4	27572	
M3BP 355 SMB	194.9	188.3	96.6	86.5	1528.8	76441	818
M2BA 355S	195.8	188.3	96		1545.2	77259	

Toisena tarkastelukohteena on taulukossa 16 ja kuviossa 47 esitetyt öljynkäsittelyn RC1 suodatinpumput, jossa käytössä on 15 kW moottorit. Kohteessa käytöasteena on 98 % ja vertailun uuden IE3-luokan moottorin ja käytössä olevien moottoreiden hyötysuhde-ero on noin 4 %. Häviökustannuksia tarkasteltaessa huomataan varsin suuri vuotuisten kustannusten erotus. Alla olevan vertailun perusteella takaisinmaksuaika olisi noin 6 vuotta 98 % käyttöasteella. Häviökustannuksissa vertailun perusteella voidaan tehdä parhaimmillaan noin 500 euron vuotuisia säästöjä riippuen kohteiden käyttöasteesta.

Taulukko 16. Öljynkäsittelyn suodatinpumpujen 15 kW moottoreiden vertailu

Malli	Sähköteho (kW)	Akseliteho (kW)	Hyötysuhde (%)	Vuotuinen käyttöaste (%)	Vuotuiset häviöt (MWh)	Häviökustannukset (1 MWh = 50e)	Häviökustannusten erotus
M3BP 160 MLB	12	11,2	92,7	98	111,1	5557	520
M2BA 160L	12,6	11,2	88,9		121,5	6077	



Kuvio 47. Vertailun 15 kW moottori

## 6 POHDINTA

Työn tarkoituksena oli toteuttaa RAP5-linjan sähkömoottoreiden laajamittainen kartoitus ja sen perusteella toteuttaa toimeksiantajalle linjaa koskevat puutelistat varaosamoottoreiden osalta. Lisäksi työssä tehtiin alustava suoraan verkkoon kytkettyjen moottoreiden seurantalista, jota pystytään tulevaisuudessa täydentämään ja pidemmällä aikavälillä käyttämään hyväksi mahdollisia optimointeja silmällä pitäen. Mielestäni työssä onnistuttiin suhteellisen hyvin ja kartoituksen puolesta päästiin siihen lopputulokseen mikä työn alussa oli tavoitteena. Ajallisesti työ oli todella haastava ja tämän kokoluokan kartoittamisen aikatauluja oli hyvin vaikea arvioida ennalta, sillä kenttätyön lisäksi kartoituksen taulukointi oli hyvin aikaa vievää.

Kokonaisuutena opinnäytetyö oli laajamittainen katsaus erilaisiin oikosulkumoottoreihin teollisuudessa. Työssä tutkittiin useiden eri valmistajien oikosulkumoottoreita ja perehdyttiin moottoreiden IEC-standardoinnin määritelmiin ja moottoreiden optimoinnin arviointiin. Oikosulkumoottoreiden käyttö teollisuudessa on nykyisin hyvin laajamittaista ja muunlaisia moottoreita tämän työn puitteissa nähtiin vain erikoissovelluksissa. Työssä oli myös vahva painotus sähkömoottoreiden varastointiin ja tämän osalta nähtiin paljon työtä vaikeuttavia asioita liittyen varaosamoottoreiden nimikkeisiin.

Opinnäytetyön tekeminen oli mielenkiintoinen ja sopivan haastava projekti. Työtä pystyi tekemään pääasiassa itsenäisesti, mutta tarvittaessa ongelmiin sai apua helposti. Suurin hyöty työstä itselleni oli laajamittainen teoriakatsaus oikosulkumoottoreihin ja niiden käyttösovelluksiin teollisuudessa. Työ on hyvä pohja mahdollisia työtehtäviä silmällä pitäen, mikäli tulevaisuuden työskentelykohde on teollisuuden parissa.

## LÄHTEET

- Aalto-yliopisto 2014. Työ 4: Servojärjestelmän viritys. Viitattu 2.2.2015.  
[https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/as-0.2230/tyo\\_4\\_\\_servojarjestelman\\_viritys](https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/as-0.2230/tyo_4__servojarjestelman_viritys).
- ABB 2000a. TTT-käsikirja 2000-07 Moottorit ja generaattorit. Viitattu 24.1.2015.  
[http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/17\\_Moottorit%20ja%20generaattorit.pdf](http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/17_Moottorit%20ja%20generaattorit.pdf).
- ABB 2000b. Tekninen opas 5 – Laakerivirrat uusissa vaihtovirtakäytöissä. Viitattu 24.3.2015.  
[http://library.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/4afd9ccbf5eb991fc1256d280083a4d2/\\$File/Tekninenopasnro5.pdf](http://library.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/4afd9ccbf5eb991fc1256d280083a4d2/$File/Tekninenopasnro5.pdf).
- ABB 2001. Tekninen opas 7 – Sähkökäytön mitoitus. Viitattu 24.1.2015.  
[http://library.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/b11dafa92973be93c1256d2800415027/\\$File/Tekninen\\_opasnro7.pdf](http://library.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/b11dafa92973be93c1256d2800415027/$File/Tekninen_opasnro7.pdf).
- ABB 2004. DriveIT Pienjännitteiset vakio moottorit. Viitattu 25.2.2015.  
[http://auser09.onet.tehonetti.fi/data/attachments/M2000\\_vakio moottorit.pdf](http://auser09.onet.tehonetti.fi/data/attachments/M2000_vakio moottorit.pdf).
- ABB 2014. Process performance motors according to EU MEPS. Viitattu 24.1.2015.  
[http://www09.abb.com/global/scot/scot234.nsf/veritydisplay/763e1d7b087332afc1257e1a002745f5/\\$file/Catalog\\_Process\\_performance\\_acc\\_to\\_EU\\_MEPS\\_9AKK105944%20EN%2011\\_2014.pdf](http://www09.abb.com/global/scot/scot234.nsf/veritydisplay/763e1d7b087332afc1257e1a002745f5/$file/Catalog_Process_performance_acc_to_EU_MEPS_9AKK105944%20EN%2011_2014.pdf).
- Aura, L.& Tonteri, A. 1996. Sähkökoneet ja tehoelektroniikan perusteet. Porvoo: WSOY.
- Aura, L.& Tonteri, A. 2009. Teoreettinen sähkötekniikka ja sähkökoneiden perusteet. Helsinki: WSOY.
- Bauer 2001. IP degrees of protection. Viitattu 1.2.2015.  
[http://www.dmc-global-service.com/main/danweb/vault/commlit/ep101e\\_ms.pdf](http://www.dmc-global-service.com/main/danweb/vault/commlit/ep101e_ms.pdf).
- Hietalahti, L. 2012. Säädetyt sähkömoottorikäytöt. Tampere: Tammertekniikka.
- Hietalahti, L. 2013. Teollisuuden sähkökäytöt. Tampere: Tammertekniikka.
- IEC 2010. Rotating electrical machines – Part1: Rating and performance. Geneve: International Electrotechnical Commission. Viitattu 28.1.2015.  
<http://webstore.iec.ch/webstore/webstore.nsf/artnum/043743>.
- Kiiveri, J. 2000. Kunnossapidon tietojärjestelmät. Kunnossapito-lehden erikoisliite 5/2000.

- Korpinen, L. 1998a. Sähkökoneet osa 1. Viitattu 16.1.2015.  
[http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt\\_opus/10sahkokoneet\\_1osa.pdf](http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/10sahkokoneet_1osa.pdf).
- Korpinen, L. 1998b. Sähkökoneet osa 2. Viitattu 16.1.2015.  
[http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt\\_opus/10sahkokoneet\\_2osa.pdf](http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/10sahkokoneet_2osa.pdf).
- Kosonen, H. 2013. Mikkelin AMK. Power point-esitys. Viitattu 28.2.2015.  
<http://slideplayer.fi/slide/2030352/>.
- Leine & Linde 2013. Encoder technology. Viitattu 20.3.2015.  
[http://www.leinelinde.com/PageFiles/2266/1073559-01\\_Encoder\\_technology\\_eng.pdf](http://www.leinelinde.com/PageFiles/2266/1073559-01_Encoder_technology_eng.pdf).
- Mikkonen, H. 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito. Helsinki: KP-Media.
- Motiva 2011. Energiatehokkaat sähkömoottorit. Viitattu 2.2.2015.  
[http://www.motiva.fi/files/5342/Energiatehokkaat\\_sahkomoottorit.pdf](http://www.motiva.fi/files/5342/Energiatehokkaat_sahkomoottorit.pdf).
- Nord 2014. Moottorit-katalogi. Viitattu 4.2.2015.  
[https://www.nord.com/cms/media/documents/bw/M7000\\_IE1\\_IE2\\_IE3\\_FI\\_2211~1.pdf](https://www.nord.com/cms/media/documents/bw/M7000_IE1_IE2_IE3_FI_2211~1.pdf).
- Outokumpu 2007. RAP5 process route. Power Point-esitys. Viitattu 28.2.2015.  
Outokummun sisäinen intranet.
- Outokumpu 2015a. www-sivut. Viitattu 28.1.2015.  
<http://www.outokumpu.com/fi/yritys/Sivut/default.aspx>.
- Outokumpu 2015b. Tornion tehtaat ja Kemin kaivos 2015. Power Point-esitys. Viitattu 28.1.2015. Outokummun sisäinen intranet.
- Outokumpu 2015c. KUTI-käsikirja. Koulutusaineisto. Viitattu 4.2.2015. Outokummun sisäinen intranet.
- PSK 6201, 2003. Kunnossapito. käsitteet ja määritelmät. Viitattu 20.4.2015.  
<http://www.psk-standardisointi.fi/>.
- PSK 6800, 2008. Laitteiden kriittisyysluokittelu teollisuudessa. Viitattu 20.4.2015.  
<http://www.psk-standardisointi.fi/>.
- PSK 7501, 2000. Prosessiteollisuuden kunnossapidon tunnusluvut. Viitattu 20.4.2015.  
<http://www.psk-standardisointi.fi/>.
- SKS Mekaniikka 2015. Sähkömoottorit IE1/IE2/IE3. Viitattu 12.2.2015.  
[http://www.sks.fi/www/sivut/DF111B33229D84ACC2257AFB003B1A6E/\\$FILE/Sahkomoottorit.pdf](http://www.sks.fi/www/sivut/DF111B33229D84ACC2257AFB003B1A6E/$FILE/Sahkomoottorit.pdf).

SKF 2013. Super-precision bearings. Viitattu 27.3.2015.  
<http://pdf.directindustry.com/pdf/skf/super-precision-bearings-catalogue/9172-422813.html>.

**LIITTEET**

Liite 1. Häviöiden vertailutaulukko

Liite 2. 250 kW moottorin laskuesimerkki

## Häviöiden vertailutaulukko

Pakka	Malli	Valmistaja	Teho (kW)	Jännite (V)	Virra (A)	Tehokerro n	Hyötysuhde (%)	Vuotuinen käyttöaste (%)	Vuoduiset käytännölliset Vuoduiset häviöt (MWh)	Hankintahinta (€)	Häviöustamukset (1 MWh = 50€)		
Uurin ilmajäähdytys-yhtykkeet 2-7 / HMI:ita kuormitusvirta = 210 A / käyttöaste 29,74%	M3BP 355 SMB 1500rpm	ABB	250	690	249	0,87	96,6	29,74	2805	545,6	35483	27279	
								202,3	Akselliho (kW):	195,4			
	M2BA 355S 4 B3 HMI:n kuormitusvirta (A):	ABB	250	690	250	0,87	96,0	29,74	2805	551,4	0	27571	
								203,2	Akselliho (kW):	195,4			
	Vuotuisen häviöustamusten erotus: 291 Takaissumma (V): 121,7												
	Uurin ilmajäähdytys-yhtykkeet 1 / HMI:ita kuormitusvirta = 205 A / käyttöaste 86,5%	M3BP 355 SMB 1500rpm	ABB	250	690	249	0,87	96,6	86,5	7577	1528,8	35483	76441
									194,9	Akselliho (kW):	188,3		
		M2BA 355S 4 B3 HMI:n kuormitusvirta (A):	ABB	250	690	250	0,87	96,0	86,5	7577	1545,2	0	77259
									195,8	Akselliho (kW):	188,3		
		Vuotuisen häviöustamusten erotus: 818 Takaissumma (V): 43,4											
TCM filter pumps (9kpl) / Suction pump (6kpl) / kuormitusvirta = 22 A / käyttöaste 98%		M3BP 160 MLB 1500rpm	ABB	15	400	27,8	0,84	92,7	98	8585	111,1	3100	5557
									12	Akselliho (kW):	11,2		
		M2BA 160L4 HMI:n kuormitusvirta (A):	ABB	15	400	28	0,85	88,9	98	8585	121,5	0	6077
									12,6	Akselliho (kW):	11,2		
		Vuotuisen häviöustamusten erotus: 520 Takaissumma (V): 6,0											

## 250 kW moottorin laskuesimerkki

Moottorin nimellispisteen magnetointivirta: ( 690 V / 250 A / 250 kW /  $\cos\varphi: 0,87$  )

HMI:lta virta = 210 A

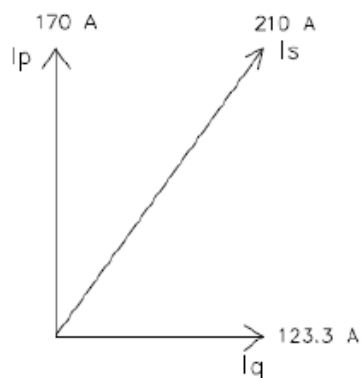
Magnetointi- / loisvirta:

$$I_q = I_n * \sin(\varphi)$$

$$I_q = 250 \text{ A} * \sqrt{1 - 0,87^2} = 123,3 \text{ A}$$

Pätövirta:

$$I_p = \sqrt{I_s^2 - I_q^2} = 170 \text{ A}$$



Moottorin sähköteho:

$$P_1 = \sqrt{3} * U * I_p$$

$$P_1 = \sqrt{3} * 690 \text{ V} * 170 \text{ A} = 203,2 \text{ kW}$$

Häviöiden suhteutus kuormitukseen, kun nimellishäviöt ovat 10 kW.

$$\text{Suhde} = \frac{203,2 \text{ kW}}{260 \text{ kW}} = 0,78$$

$$\text{Häviöt} = 10 \text{ kW} * 0,78 = 7,8 \text{ kW}$$

Akseliteho:

$$P_2 = 203,2 \text{ kW} - 7,8 \text{ kW} = 195,4 \text{ kW}$$