

KUUMAVALSSAAMON SÄHKÖMOOTTOREIDEN KARTOITUS

Heiskanen Niko

Opinnäytetyö
Tekniikan ja liikenteen ala
Sähkötekniikka
Insinööri (AMK)

2016

Tekniikan ja liikenteen ala
Sähkötekniikka
Insinööri AMK

Tekijä	Niko Heiskanen	Vuosi	2016
Ohjaaja(t)	DI Jaakko Etto Ins. Timo Räihä		
Toimeksiantaja	Outokumpu Stainless Oy		
Työn nimi	Kuumavalssaamon sähkömoottoreiden kartoitus		
Sivu- ja liitesivumäärä	36		

Opinnäytetyön aiheena oli kuumavalssaamon sähkömoottoreiden kartoitus. Työn tavoitteena oli perehtyä kuumavalssaamon prosessin sähkömoottorikantaan ja taulukoida niiden keskeiset ominaisuudet kunnossapidon kannalta. Opinnäytetyö tehtiin Outokumpu Stainless Oy:lle Torniossa syksyllä 2016.

Opinnäytetyössä käytiin läpi kartoitukseen kuuluneet sähkömoottorityypit ja kartoituksen kannalta merkittävät sähkömoottoreiden tekniset tiedot. Opinnäytetyön tiedonlähteenä käytettiin aiheeseen liittyvää kirjallisuutta ja moottorivalmistajien manuaaleja. Työssä esitellään myös sähkömoottoreiden kartoituksen eri vaiheet.

Kartoitus toteutettiin valokuvaamalla moottorit. Tarpeellisiksi katsotut tiedot kirjattiin arvokilvistä otetuista valokuvista taulukkoon. Moottoreiden valokuvaaminen oli opinnäytetyön työläin ja haastavin tehtävä, etenkin arvokilpien osalta. Oman haasteensa työhön toi myös suuren valokuvamäärän järjestäminen kansioihin.

Opinnäytetyön lopputuloksena saatiin taulukko ja kuvatietokanta prosessissa käytössä olevista moottoreista. Taulukkoon kirjattiin sähkömoottoreiden työn kannalta tarpeellisten kilpiarvojen lisäksi varamoottoreiden materiaalikoodit. Taulukkoon tehtiin myös linkit moottoreista otettujen valokuvien kansioihin. Varamoottoreiden materiaalikoodit päivitettiin KUTI-järjestelmään.

Avainsanat

sähkömoottorit, kartoitus, prosessiteollisuus

Technology, Communication and
Transport
Bachelor of Engineering

Author	Niko Heiskanen	Year	2016
Supervisor	Jaakko Etto, MSc (El.Eng) Timo Rähkä, BEng		
Commissioned by	Outokumpu Stainless Oy		
Subject of thesis	Mapping of Electric Motors for Hot Rolling Mill		
Number of pages	36		

The object of this thesis was to map electric motors for Hot Rolling Mill. The aim of the work was to become familiar with Hot Rolling Mill's electric motor equipment and tabulate their essential characteristics in terms of maintenance. The project was commissioned by Outokumpu Stainless Oy in Tornio in the autumn of 2016.

The thesis covered the major specifications of electric motors and the electric motor types that belonged to the mapping. Related literature and engine manufacturers' manuals were used as source of information for the thesis. The thesis also presents the different phases of the electric motors mapping.

The mapping was conducted by photographing the electric motors. The necessary information of the electric motors was booked in the table. The most laborious and challenging task of the thesis was photographing the electric motors. Arranging large amount of photos was also challenging.

The image database and the table of the electric motors of the process were results of the thesis. The material codes of the spare electric motors were also booked in the table. The table also provides links to the folders of the photographs of the electric motors. The material codes of the electric motors were updated to KUTI system.

Key words

Electric motor, mapping, process industry

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	KUUMAVALSSAAMO	8
3	SÄHKÖMOOTTORITYYPIT	9
3.1	Epätahtimoottori	9
3.2	Tasasähkömoottori	10
4	SÄHKÖMOOTTORIN TEKNISET TIEDOT	14
4.1	Kilpiarvot	14
4.2	Rakenne- ja asennuslajit	15
4.3	Jäähdytys ja kotelointi	16
4.4	Eristysluokat	18
4.5	Hyötysuhdeluokitukset	19
4.6	Käyttötavat	20
4.6.1	S1 Jatkuva käyttö	20
4.6.2	S2 Lyhytaikainen käyttö	21
4.6.3	S3 Jaksollinen käyttö	21
4.6.4	S4 Jaksollinen käynnistyskäyttö	22
4.6.5	S5 Jaksollinen käynnistys- ja jarrutusikäyttö	23
4.6.6	S6 Pysähtymätön ajoittaiskäyttö	23
4.6.7	S7 Keskeytymätön käynnistys- ja jarrutusikäyttö	24
4.6.8	S8 Pysähtymätön määräjaksollinen käyttö	25
4.6.9	S9 käyttö vaihtelevalla kuormalla ja nopeudella	25
4.6.10	S10 Käyttö vaihtelevalla vakiokuormalla	26
4.7	Pyörimissuunta ja merkinnät	26
4.8	Laakerit	27
5	SÄHKÖMOOTTOREIDEN LISÄLAITTEET	29
5.1	Jarrut	29
5.2	Enkooderit	29
5.3	Lämpötila-anturit	30
6	KUUMAVALSSAAMON SÄHKÖMOOTTOREIDEN KARTOITUS	32
6.1	Alkutilanne	32
6.2	Kenttäkartoitus	32

6.3	Varastokartoitus	33
6.4	Moottoritietojen taulukointi ja taulukon päivittäminen	34
7	POHDINTA	35
	LÄHTEET	36

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

c/h	Jaksojen lukumäärä tunnissa
DIN	Deutsches Institut für Normung (Saksan standardointi-instituutti)
IEC	International Electrotechnical Commission (Kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio)
IM	International mounting (kansainvälinen asennus)
IP	International protection (kansainvälinen suojaus)
J_{ext}	Moottorin nimellinopeudelle redusoitu kuorman hitausmomentti
J_M	Moottorin hitausmomentti
KUTI	Kunnossapidon tietojärjestelmä
LVI	Lämmitys-, vesijohto- ja ilmanvaihtotekniikka
T_v	Moottorin keskimääräinen nopeuden muutoksen aikana esiintyvä vastamomentti
VDE	Verband der Elektrotechnik (saksalainen testaus ja standardointiliitto)

1 JOHDANTO

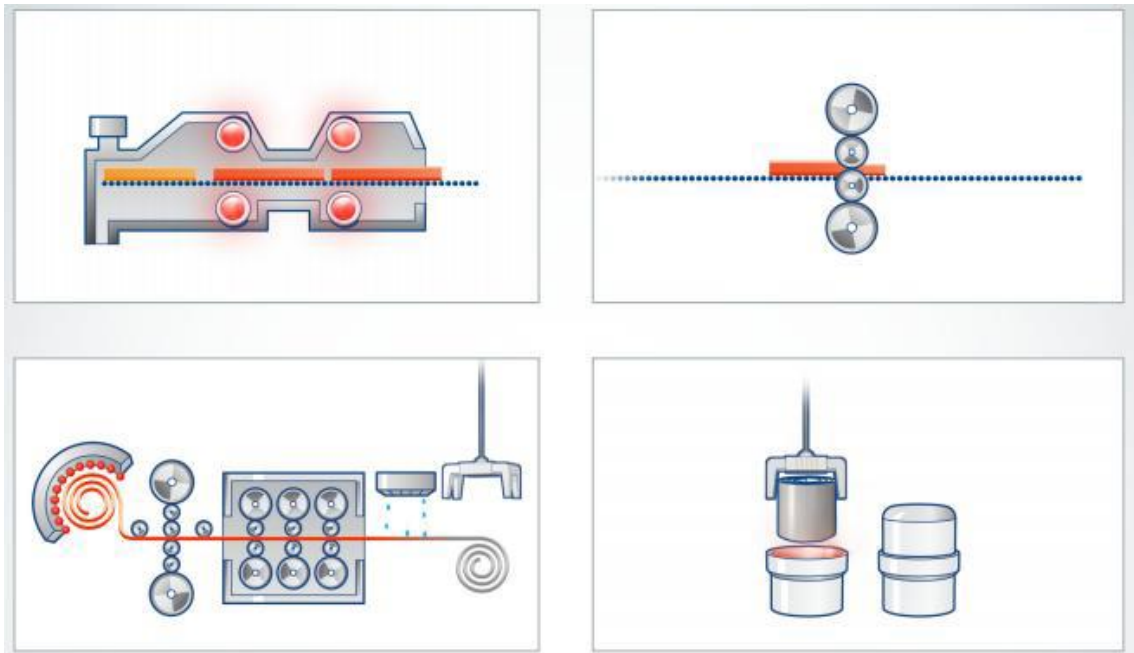
Opinnäytetyön aiheena on sähkömoottoreiden kartoitus Outokumpu Stainless Oy:n kuumavalssaamolla Torniossa. Työn tavoitteena on tarkistaa prosessissa käytössä olevien sähkömoottoreiden tiedot, valokuvata moottorit, kilpiarvot ja kytkentäkotelon asento. Tavoitteena on myös varamoottoreiden varastotilanteen selvittäminen, varastoitujen varamoottoreiden huoltotarpeen selvittäminen ja puuttuvien moottoritietojen lisääminen kunnossapidon tietojärjestelmään.

Opinnäytetyön moottorikartoitus rajattiin vain kiinteästi asennettuihin moottoreihin. Kartoituksen ulkopuolelle jätettiin myös sähkökaappien puhaltimet, LVI:hin liittyvät moottorit, tahtikoneet ja nostureissa olevat moottorit.

Opinnäytetyössä esitellään kartoitukseen kuuluneet sähkömoottorityypit sekä käydään läpi sähkömoottoreiden kilpiarvot. Näiden lisäksi käsitellään myös sähkömoottoreiden lisälaitteita.

2 KUUMAVALSSAAMO

Outokumpu Stainless Oy:hyn kuuluu kolme terästuotannon osastoa: terässulatto, kuumavalssaamo ja kylmävalssaamo. Outokumpu Stainless on osa Outokumpu Oyj:tä. Kuviossa 1 on esitetty karkeasti kuumavalssauksen vaiheet. (Outokumpu 2016.)



Kuvio 1. Kuumavalssaus pääpiirteittäin (Outokumpu 2016)

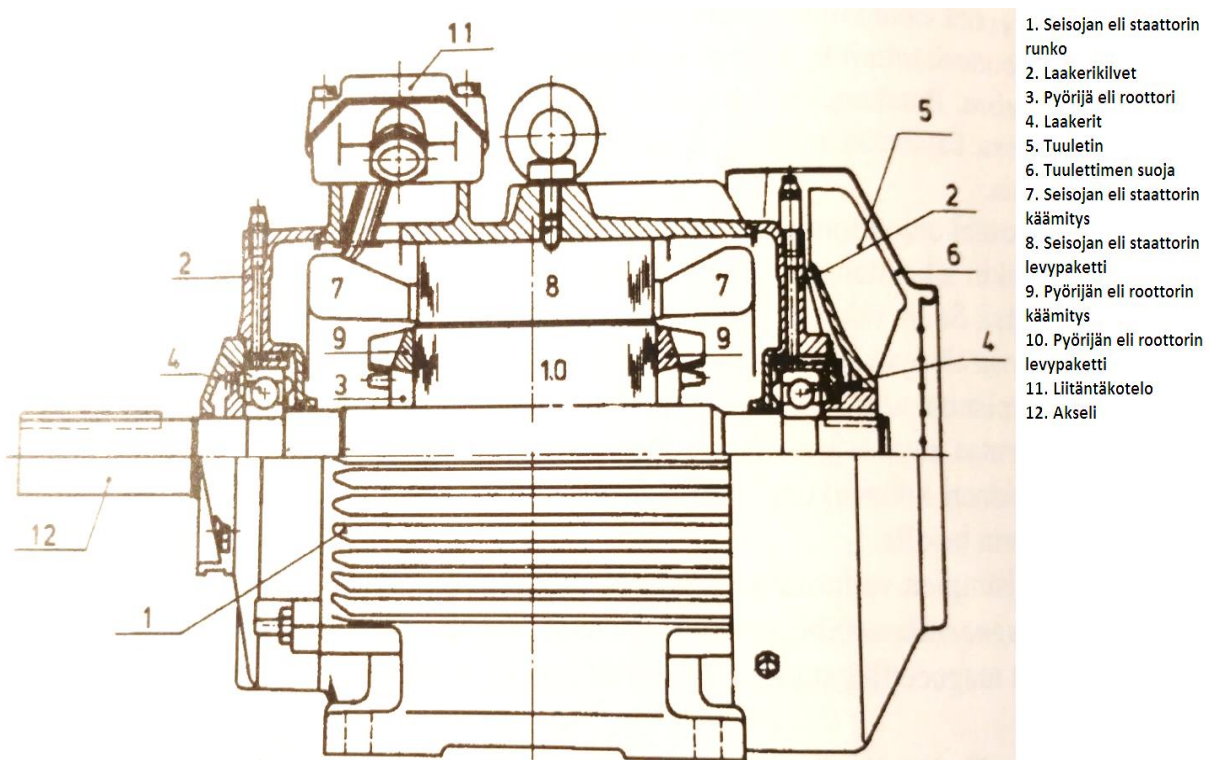
Kuumavalssaamolle tulevat teräsaihiot kuumennetaan valssauslämpötilaan askelepalkkiuunissa. Kuumennuksen jälkeen aihiot valssataan etuvalssaimella esinauhaksi. Etuvalssauksen jälkeen esinauha valssataan loppupaksuuteen Steckel- ja tandem-valssaimilla. Tämän jälkeen nauha jäähdytetään laminaarijäähdyttimellä ja kelataan rullaksi kelaimella. (Outokumpu 2016.)

Kelauksen jälkeen rulla merkataan, sidotaan ja laitetaan jäähtymään jäähdytysaltaaseen. Jäähdytyksen jälkeen rullat nostetaan rullarampeille, josta ne viedään jatkokäsittelyyn kylmävalssaamolle tai suoraan asiakkaalle. Osa rullista toimitetaan kuumavalssaamon kupu-uuneille jatkokäsittelyyn. (Outokumpu 2016.)

3 SÄHKÖMOOTTORITYYPIT

3.1 Epätahtimoottori

Epätahtimoottorin eli oikosulkumoottorin rakenne on hyvin yksinkertainen. Epätahtimoottorin ainoa liikkuva osa on roottori. Roottorin ja sen levypakettien lisäksi epätahtimoottorissa on aktiivisena osana staattori levypaketteineen. Muut epätahtimoottorin osat joko johtavat sähköä, välittävät pyörivää liikettä tai pitävät aktiiviset osat paikoillaan. Epätahtimoottori-nimitys tulee siitä, että roottorin pyörimisnopeus on aina jäljessä staattorin magneettikentän pyörimisnopeutta. Kuviossa 2 käy ilmi epätahtimoottorin perusosat. (Aura & Tonteri 2009, 305.)



Kuvio 2. Epätahtimoottorin perusosat (Aura & Tonteri 2009.)

Epätahtimoottorin pyörimisnopeus riippuu staattorin käämirakenteesta ja verkon taajuudesta. Mitä enemmän staattorissa on napapareja, sitä hitaammin roottori pyörii. Napaparin lyhenne on p. Taulukko 1 on esitetty eräitä sähkökoneiden mag-

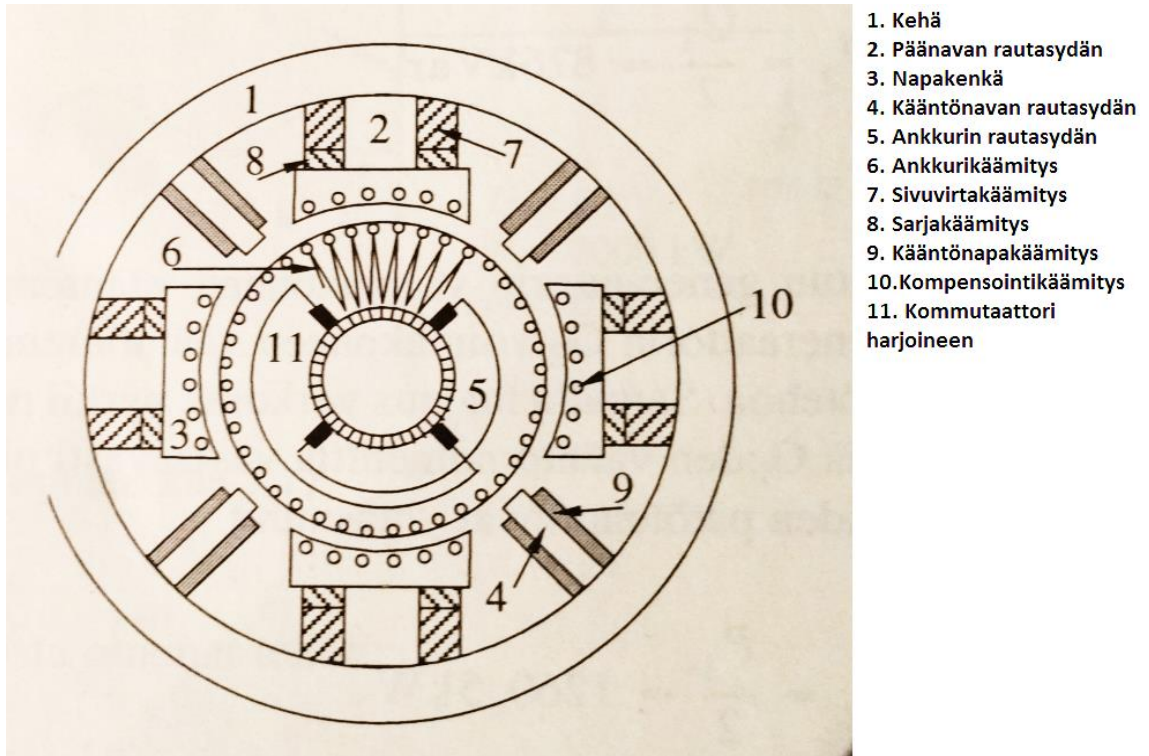
neettikenttien pyörimisnopeuksia. Epätahtikoneen jättämän vuoksi roottorin pyörimisnopeus ei saavuta koskaan magneettikentän pyörimisnopeutta. (Hietalahti 2013, 34.)

Taulukko 1. Eräitä sähkökoneiden magneettikenttien pyörimisnopeuksia (Aura & Tonteri 2009.)

p	1	2	3	4	5	6	7	8	Huom.
$n_s=r/\text{min}$	3000	1500	1000	750	600	500	428,6	375	f=50Hz
$n_s=r/\text{min}$	3600	1800	1200	900	720	600	514,3	450	f=60Hz

3.2 Tasasähkömoottori

Tasasähkömoottorin rakenne on periaatteeltaan sama kuin tasasähkögeneraattorin. Tasasähkökoneen kehät ja napojen rautaosat ovat täysrautaa, sillä niihin muodostuvat magneettikentät ovat tasamagneettikenttiä. Tasasähkökoneen napakengät valmistetaan joskus sähkölevystä urituksesta johtuvan magneettivuonvaihtelun aiheuttaman rautahäviön minimoimiseksi. Tasasähkökoneen aktiiviset rakenneosat näkyvät Kuvio 3. (Aura & Tonteri 2009, 360.)



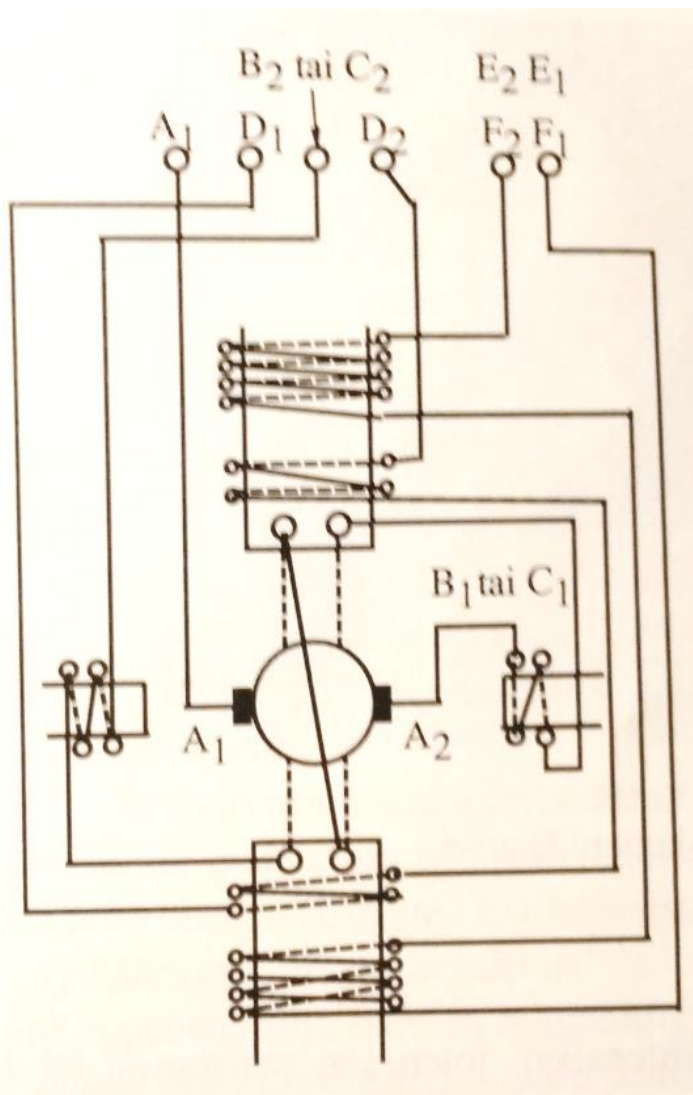
Kuvio 3. Tasasähkökoneen aktiiviset rautaosat (Aura & Tonteri 2009.)

Tasasähkökoneen varsinainen magneettikenttä eli pääkenttä saadaan aikaan sivuvirta- ja sarjakäämitysten avulla. Sivuvirtakäänitys kytketään vieraaseen sähkölähteeseen tai ankkurin rinnalle. Sarjakäänitys magnetoituu tasasähkökonetta kuormitusvirran avulla, joten se kytketään sarjaan ankkurin kanssa. (Aura & Tonteri 2009, 362.)

Tasasähkökoneita on myös vierasmagnetoituina ja kompondi- eli yhdysvirtakoneina. Vierasmagnetoidun koneen pyörimisnopeus muuttuu vain vähän tyhjäkäynnin ja nimelliskuormituksen välillä. Vierasmagnetoidun koneen pyörimisnopeutta voidaan säätää magnetoimisvirtaa säätämällä. Magnetoimisvirran pienentäminen kasvattaa pyörimisnopeutta. Magneettikenttää heikentämällä voidaan konetta pyörittää yli nimellisen pyörimisnopeuden. (Aura & Tonteri 1996, 291-294.)

Yhdysvirtamoottorin pyörimisnopeuden säätäminen tapahtuu samalla tavalla kuin vierasmagnetoidun moottorin. Yhdysvirtamoottorin pyörimisnopeus on nimelliskoormitusta suuremmissa pyörimisnopeuksissa vakaampi kuin vierasmagnetoidun moottorin. Tyhjäkäynnillä yhdysvirtamoottori muistuttaa sivuvirtamoottoria. (Aura & Tonteri 1996, 298-299.)

Magnetointikäätymyksen muodostama magneettikenttä indusoi vaihtosähkömotorisen jännitteen ankkurikäätymykseen, kun ankkurikäätymys pyörii magneettikentässä. Moottoreissa tämä jännite on vastajännite liitinjännitteelle ja generaattoreissa lähdejännite. Indusoitunut vaihtojännite täytyy tasasuunnata generaattoreissa. Moottoreissa syöttävä jännite vaihtosuunnataan. Molemmat toimenpiteet tunnetaan kommutointina. Kommutointi tehdään kommutaattorilla, joka on periaatteessa mekaaninen tasa-vaihtosuuntaaja. Kuvio 4 on esitetty tasasähkökoneen käämitysten kytkentä ja napamerkinnät. (Aura & Tonteri 2009, 362.)



- A1-A2 ankkurikäätymys
- B1-B2 kääntönapakääätymys
- C1-C2 kääntönapa- ja kompensointikäätymys
- D1-D2 sarjakääätymys
- F1-F2 vierasmagnetointikäätymys
- E1-E2 sivuvirtakääätymys

Kuvio 4. Tasasähkökoneen käämitysten napamerkinnät (Aura & Tonteri 2009.)

Kipinöimätön kommutointi saadaan aikaan kääntönapakäämityksen avulla. Kommutaattorin käyttöikä lyhenee merkittävästi, mikäli kommutoinnissa tapahtuu kipinöintiä. Kääntönapakäämitys kompensoi myös osittain ankkurivirran synnyttämää magneettikenttää eli ankkurikenttää kompensointikäämityksen kanssa. (Aura & Tonteri 2009, 362.)

4 SÄHKÖMOOTTORIN TEKNISET TIEDOT

4.1 Kilpiarvot

Sähkömoottorin kilpiarvoilla tarkoitetaan niitä tietoja, joiden pohjalta moottori voidaan kytkeä sähköverkkoon, asentaa paikalleen ja joiden perusteella kuormitus voidaan tehdä koneelle tarkoitetulla tavalla. Kilpiarvot ilmoitetaan moottorin kiinnityksessä arvokilvessä.

Kuva 1 on ABB:n moottorin arvokilpi. Arvokilvestä käy ilmi moottorin tyyppi M2AA 090LD-4 IE2, eristysluokka F, IP-luokka IP 55, standardi IEC60034-1, moottorin tuotekoodi 3GAA092215-BDE, IM-luokka IM 3001, valmistusvuosi 2012, sähköiset tiedot, IE-luokat eri taajuuksilla ja kuormilla, D- ja N-pään laakerit ja moottorin paino.

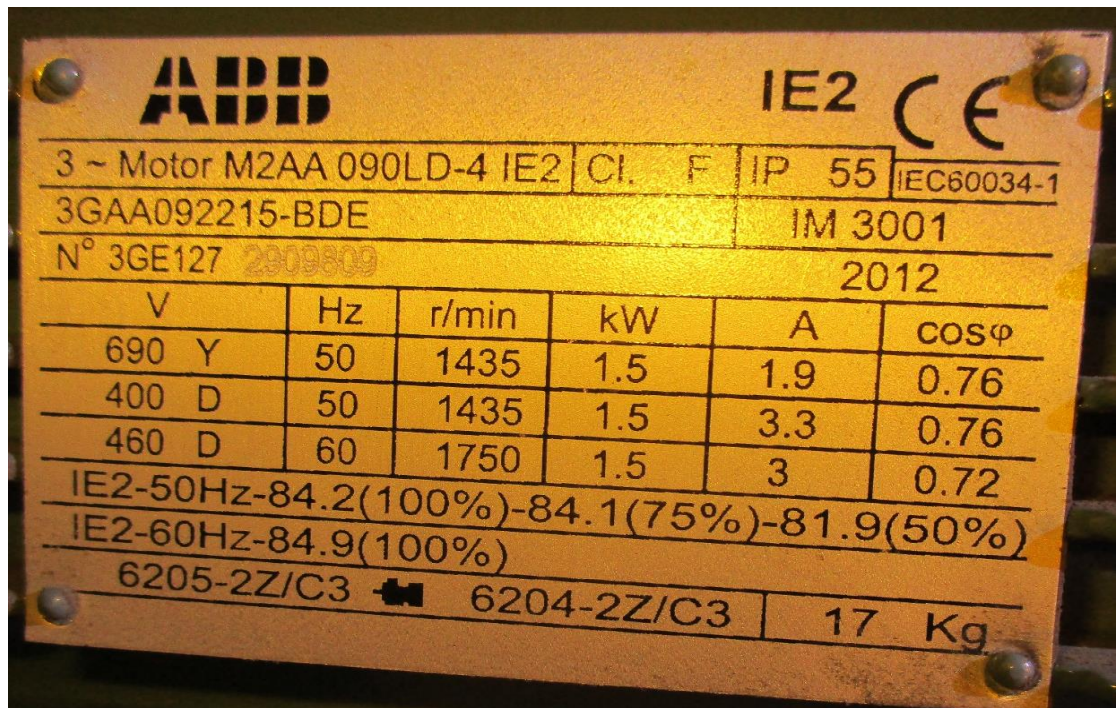


ABB IE2 CE

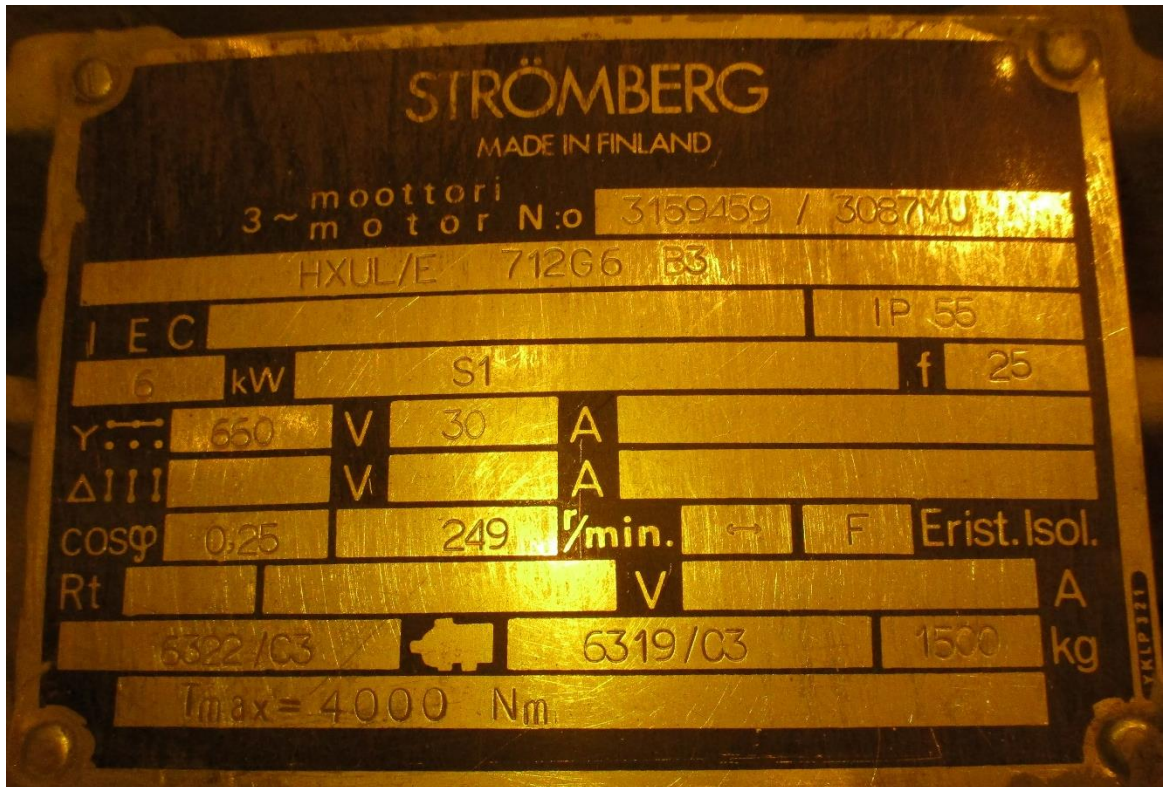
3 ~ Motor M2AA 090LD-4 IE2 Cl. F IP 55 IEC60034-1
 3GAA092215-BDE IM 3001
 N° 3GE127 2909809 2012

V	Hz	r/min	kW	A	cosφ
690 Y	50	1435	1.5	1.9	0.76
400 D	50	1435	1.5	3.3	0.76
460 D	60	1750	1.5	3	0.72

IE2-50Hz-84.2(100%)-84.1(75%)-81.9(50%)
 IE2-60Hz-84.9(100%)
 6205-2Z/C3 6204-2Z/C3 17 Kg

Kuva 1. ABB:n moottorin arvokilpi











Kuva 2 on vanhemman moottorin arvokilpi. Kyseiseen arvokilpeen on kirjattu osittain eri tiedot kuin Kuva 1 arvokilpeen. Uusien sarjavalmistestien moottorien arvokilpien tiedot kattavat hyvin asennukseen ja moottorin käyttöön tarvittavat tiedot. Laittekokonaisuuksien mukana toimitettavien moottoreiden, etenkin pienitehoisten, arvokilpien tiedot voivat olla hyvinkin puutteellisia.



Kuva 2. Strömbergin moottorin arvokilpi

4.2 Rakenne- ja asennuslajit

Sähkömoottorin rakenne ja asennuslajit määritellään IM-merkinnällä IEC 34-7 normin mukaisesti. IM-merkintöjä on kahdenlaisia (Kuvio 5). Lyhyempi merkintätapa muodostuu yhdestä kirjaimesta ja korkeintaan kahdesta numerosta. Lyhyempi merkintätapa kattaa vain osan yleisimmistä asennustavoista. Pidempi IM-merkintä muodostuu neljästä numerosta, joista ensimmäinen kuvaa moottorin kiinnitystapaa ja seuraavat kaksi asennusasentoa. Neljännellä numerolla ilmoitetaan muun muassa moottorin ulkoiset akselin jatkot tai lieriömäiset akselinpäät. (Hietalahti 2013, 18.)

Vaakasuoraan asennettavat koneet			Pystysuoraan asennettavat koneet		
Code I			Code I		
Code II			Code II		
IM B3 IM 1001		Normaalisovitelma. Jalat on suunnattu alaspäin	IM V1 IM 3011		Laippa ja vapaa akselinpää on suunnattu alaspäin
IM B5 IM 3001		Kone kiinnitetään laipan avulla sellaiseen asentoon, että mahdolliset vesireiät ovat alaspäin	IM V3 IM 3031		Laippa ja vapaa akselinpää on suunnattu ylöspäin
IM B6 IM1051		Kone kiinnitetään kuvan osoittamalla tavalla seinään, jonka tulee olla pystysuora	IM V5 IM 1011		Kone kiinnitetään kuvan osoittamalla tavalla seinään, jonka tulee olla pystysuora
IM B7 IM 1061		Kone kiinnitetään kuvan osoittamalla tavalla seinään, jonka tulee olla pystysuora	IM V6 IM 1031		Kone kiinnitetään kuvan osoittamalla tavalla seinään, jonka tulee olla pystysuora
IM B8 IM 1071		Kone kiinnitetään kattoon			
IM B14 IM 3601		Kuten B5, mutta koneessa on DIN 42948 mukainen pieni laippa "Form C"			

Kuvio 5. Yleisimmät IM-merkinnät (ABB 2000, 23.)

4.3 Jäähdytys ja kotelointi

Sähkömoottoreiden jäähdytysmenetelmät määritellään standardissa IEC 60034-6. Kotelointiluokat määrittelee standardi IEC 60034-5. Kotelointiluokat ja jäähdytystavat vaikuttavat toisiinsa. Esimerkiksi avoin jäähdytystapa ei mahdollista hyvää vesisuojausta ja päinvastoin. (ABB 2000, 12.)

Sähkömoottoreiden jäähdytystavat esitetään IC-tunnuksella IEC-standardin 60034-6 mukaan. Yleisimmät IC-luokat ja niiden määritelmät on esitetty Taulukko 2. (ABB 2000, 13.)

Taulukko 2. Sähkömoottoreiden yleisimmät IC-luokat (ABB 2000, 14.)

Merkintä	Määritelmän epävirallinen suomennos
IC 00	Konetta ympäröivä ilma jäädyttää koneen sisäosat. Roottorin tuuletusvaikutus on merkityksetön. Jäähdytysaineen liike johtuu lämpötilaeroista.
IC 01	Kuten IC 00, paitsi että akselille tai roottoriin asennettu tuuletin saa aikaan ilman virtauksen.
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.

Sähkömoottoreiden koteloinnin suojausluokka eli IP-luokka määritellään standardissa IEC 60034-5. Koteloinnin suojausluokka ilmoitetaan kahdella numerolla, joista ensimmäinen kuvaa sähkömoottorin suojausta pölyltä ja vierailta kappaleilta. Toinen numero kuvaa sähkömoottorin suojausta vettä vastaan. IP-luokitukset näkyvät. (ABB 2005, 39.)

Taulukko 3. IP-luokat (Bauer 2001, 11)

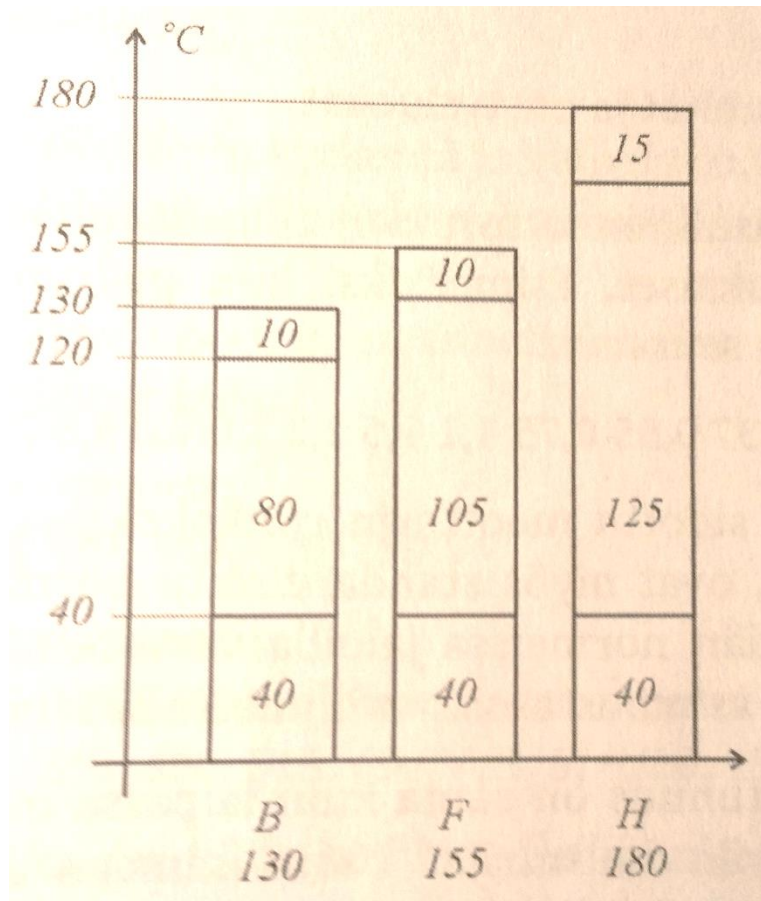
	Numero	Merkitys
Ensimmäinen numero (IP Xx)	0	Suojaamaton
	1	Suojattu ≥ 50 mm vieraalta esineeltä
	2	Suojattu $\geq 12,5$ mm vieraalta esineeltä
	3	Suojattu $\geq 2,5$ vieraalta esineeltä
	4	Suojattu $\geq 1,2$ Vieraalta esineeltä
	5	Pölysuojattu
	6	Pölytiivis
Toinen numero (IP xX)	0	Suojaamaton
	1	Suojattu pystysuoraan tippuvalta vedeltä
	2	Suojattu 15° kulmassa tippuvalta vedeltä
	3	Suojattu satavalta vedeltä
	4	Suojattu roiskuvalta vedeltä
	5	Suojattu vesisuihkulta
	6	Suojattu voimaakkaalta vesisuihkulta
	7	Kestää lyhytaikaisen upottamisen
	8	Kestää jatkuvan upottamisen

4.4 Eristysluokat

Sähkömoottoreiden eristysmateriaalien eristysluokat on määritelty normin IEC 85 perusteella. Eristysmateriaalin käyttölämpötila-alueen yläraja normaaleissa olosuhteissa ilmaistaan eristysluokan tunnuksella. (Hietalahti 2013, 25.)

Sähkömoottorin lämpenemä ja ympäristön lämpötila vaikuttavat moottorin käämin eristyksen toimivuuteen. Useimmiten moottorin kuumimman kohdan eristys mitoitetaan käyttämällä nimellistehoa ja $40\text{ }^\circ\text{C}$:n ympäristön lämpötilaa. Tällä mitoituksella moottorin käämin lämpötila pysyy normeissa nimellisteholla. Moottoria käytetään yleensä nimellistehoa pienemällä teholla, mikäli ympäristön lämpötila on yli $40\text{ }^\circ\text{C}$. (Hietalahti 2013, 25.)

Sähkömoottoreiden eristysluokkia merkitään kirjaimilla B, F ja H. Kuvio 6 on esitetty vaihtovirtakoneiden eristysluokkien resistanssimittauksella mitatut keskimääräiset sallitut lämpenemät. Normin mukaisen käämin kuumimman pisteen ja sallittavan keskimääräisen lämpenemän erotus on 10 °C. (Hietalahti 2013, 26.)



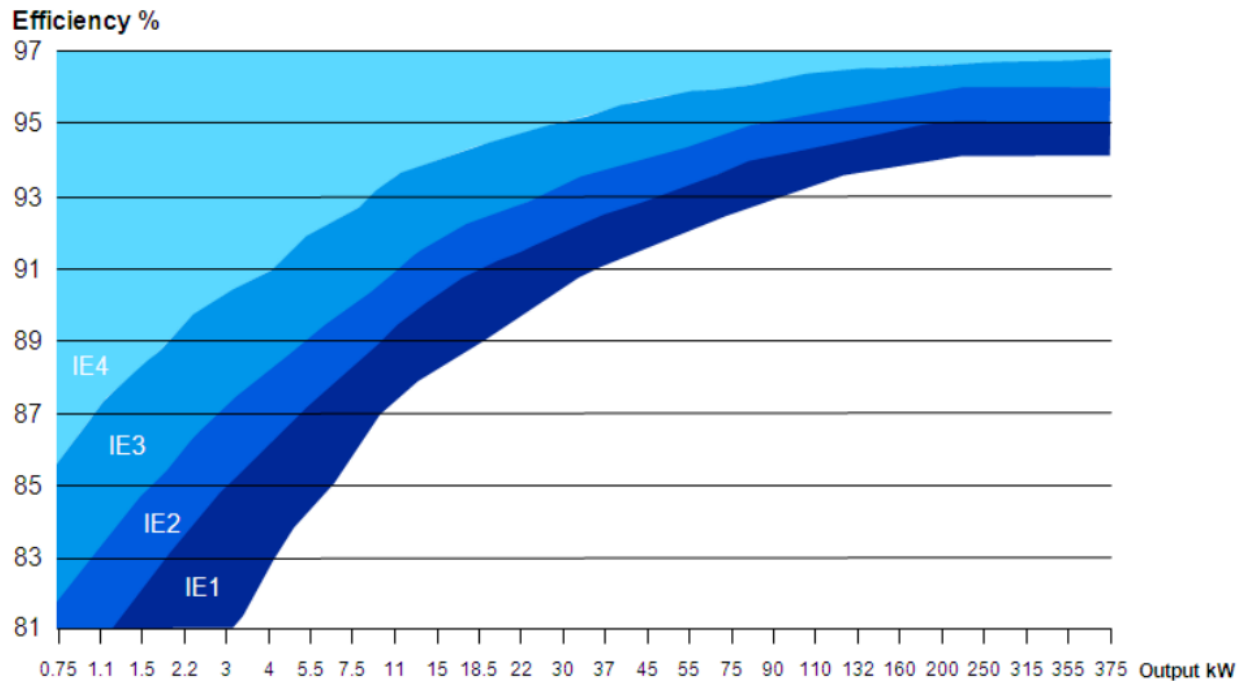
Kuvio 6. Vaihtovirtakoneiden eristysluokkien sallitut keskimääräiset lämpenemät (Hietalahti 2013.)

4.5 Hyötysuhdeluokitukset

Hyötysuhteella kuvataan moottorin kykyä muuttaa sähköinen energia mekaaniseen muotoon. Vuonna 1998 EU:n alueella otettiin käyttöön hyötysuhteiden luokitusjärjestelmä. Järjestelmässä oikosulkumoottorit jaettiin kolmeen luokkaan: EFF1, EFF2 ja EFF3. (Hietalahti 2013, 28-29.)

Vuonna 2008 hyväksyttiin standardi IEC 60034-30, jossa määritellään uudet hyötysuhdeluokat IE1, IE2, IE3 ja IE4. Nämä hyötysuhdeluokat kattavat 2-, 4- ja 6-napaiset, tehoalueeltaan 0,75 - 375 kW:n alle 1000 V:n sähkömoottorit. Vuoden

2017 alun jälkeen valmistettavien 0,75 - 375 kW:n moottoreiden tulee täyttää hyötysuhdeluokka IE3 tai taajuusmuuttajakäytössä luokka IE2. Kuvio 7 on esitetty IE-hyötysuhdeluokitukset. (Vuorivirta 2014.)



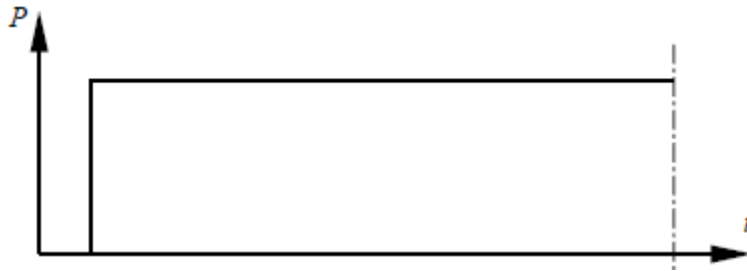
Kuvio 7. IE-hyötysuhdeluokat (Vuorivirta 2014.)

4.6 Käyttötavat

Sähkömoottorin käyttötavat määritellään standardissa IEC 60034-1. Standardin mukaisia käyttötapoja merkitään tunnuksilla S1-S10.

4.6.1 S1 Jatkuva käyttö

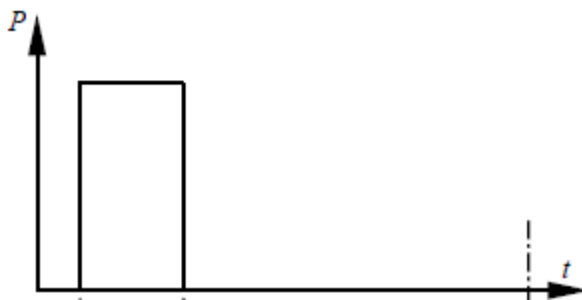
S1 Jatkuva käyttö tarkoittaa sitä, että sähkömoottori toimii vakiokuormituksella loppulämpötilan saavuttamiseen asti. Kuvio 8 on esitetty S1 jatkuvan käytön kuvaaja. (ABB 2000, 11.)



Kuvio 8. S1 Jatkuva käyttö (IEC 2010.)

4.6.2 S2 Lyhytaikainen käyttö

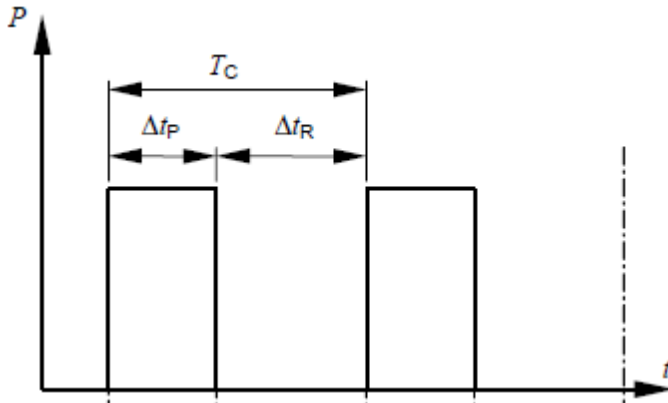
S2 Lyhytaikainen käyttö tarkoittaa sitä, että sähkömoottori toimii ennalta määrätyn ajan saavuttamatta loppulämpötilaa. Toimintajakson jälkeen moottorin tulee jäähtyä ympäristön ilman tai muun jäähdytysaineen lämpötilaan. Toimintajakson pituus voi olla esimerkiksi kymmenen minuuttia jolloin leimausarvo on S2 10 min. Kuvio 9 on esitetty S2 lyhytaikaisen käytön kuvaaja. (ABB 2000, 11.)



Kuvio 9. S2 Lyhytaikainen käyttö (IEC 2010.)

4.6.3 S3 Jaksollinen käyttö

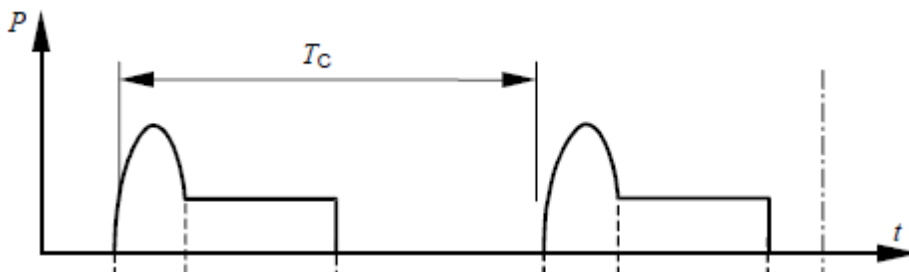
S3 Jaksollinen käyttö tarkoittaa sitä, että sähkömoottorin käyttö muodostuu keskenään samanlaisista jaksoista. Jakso sisältää toiminta-ajan vakiokuormituksella ja seisonta-ajan. Jakson pituus on kymmenen minuuttia ja sen aikana ei saavuteta loppulämpötilaa. Ajoittaiskäyttökerroin merkitään prosentteina. Ajoittaiskäyttökerroin voi olla 15, 25, 40 tai 60%. Leimausarvo esitetään muodossa S3 15 %. Kuvio 10 on esitetty S3 Jaksollisen käytön kuvaaja. (ABB 2000, 11.)



Kuvio 10. S3 Jaksollinen käyttö (IEC 2010.)

4.6.4 S4 Jaksollinen käynnistyskäyttö

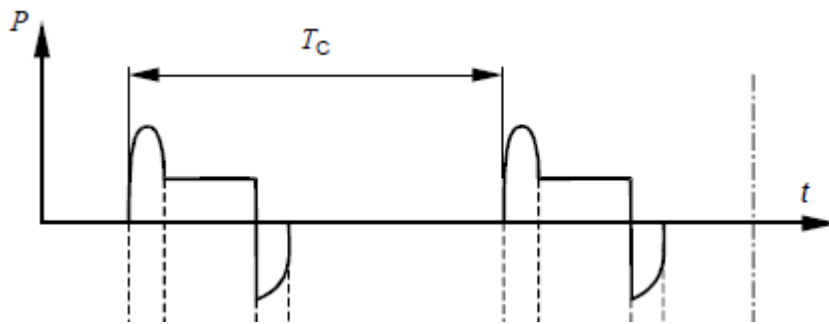
S4 Jaksollinen käynnistyskäyttö tarkoittaa sitä, että sähkömoottorin käyttö muodostuu keskenään samanlaisista jaksoista. Jakso sisältää käynnistysajan, toiminta-ajan vakiokuormituksella ja seisonta-ajan. Jakson aikana ei saavuteta lopulämpötilaa. Jaksollisessa käynnistyskäytössä moottori pysähtyy mekaanisella jarrulla tai luonnollisella tavalla hidastuen. Jarrutus ei rasita moottoria termisesti. Leimausarvossa esitetään käyttötavan jälkeen ajoittaiskäyttökerroin, jaksojen lukumäärä tunnissa, roottorin hitausmomentti, nimellinopeudelle redusoitu kuorman hitausmomentti ja sallittu keskimääräinen nopeuden muutoksen aikana esiintyvä vastamomentti nimellismomentin avulla. Leimausarvo esitetään muodossa $S4 - 40 \% - 120 \text{ c/h} - J_m = 0,2 \text{ kgm}^2 - J_{\text{ext}} = 0,2 \text{ kgm}^2 - T_v = 0,5 T_N$. Kuvio 11 on esitetty S4 jaksollisen käynnistyskäytön kuvaaja. (ABB 2000, 11.)



Kuvio 11. S4 Jaksollinen käynnistyskäyttö (IEC 2010.)

4.6.5 S5 Jaksollinen käynnistys- ja jarrutusikäyttö

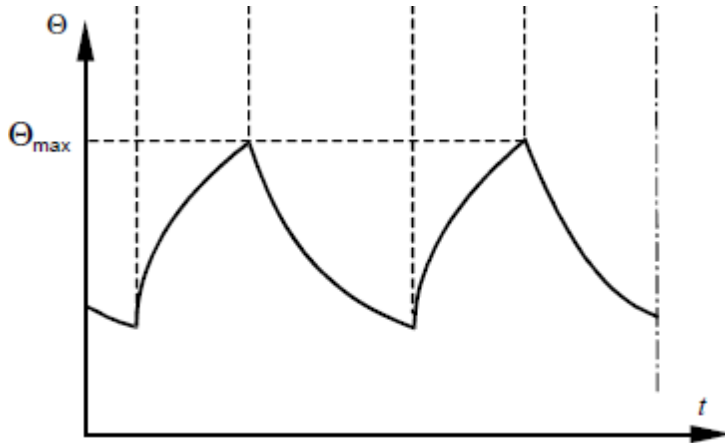
S5 Jaksollinen käynnistys- ja jarrutusikäyttö tarkoittaa sitä, että sähkömoottorin käyttö muodostuu keskenään samanlaista jaksoista. Jakso sisältää käynnistysajan, toiminta-ajan vakiokuormituksella, jarrutusajan, ja seisonta-ajan. Jakson aikana ei saavuteta loppulämpötilaa. Jaksollisessa käynnistys- ja jarrutusikäytössä moottoria jarrutetaan sähköisellä jarrulla, esimerkiksi vastavirtajarrulla. Leimausarvossa esitetään ajoittaiskäyttökerroin, jaksojen lukumäärä tunnissa, moottorin hitausmomentti, kuorman hitausmomentti ja sallittu vastamomentti. Leimausarvo esitetään muodossa $S5 - 40 \% - 120 \text{ c/h} - J_m = 0,2 \text{ kgm}^2 - J_{\text{ext}} = 0,2 \text{ kgm}^2 - T_v = 0,5 T_N$. Kuvio 12 on esitetty S5 jaksollisen käynnistys- ja jarrutusikäytön kuvaaja. (ABB 2000, 11.)



Kuvio 12. S5 Jaksollinen käynnistys- ja jarrutusikäyttö (IEC 2010.)

4.6.6 S6 Pysähtymätön ajoittaiskäyttö

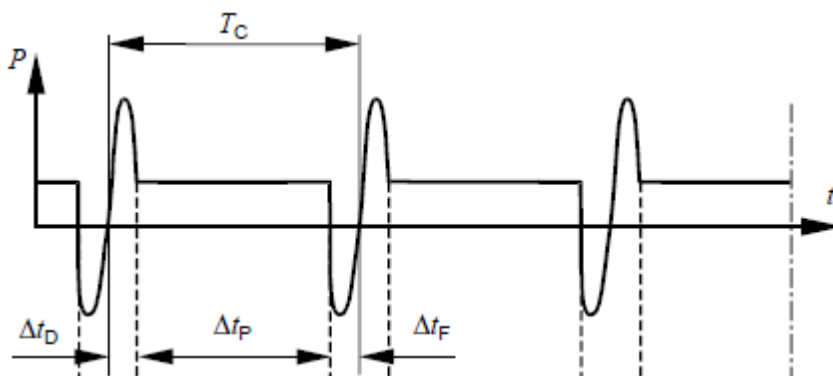
S6 Pysähtymätön ajoittaiskäyttö tarkoittaa sitä, että sähkömoottorin käyttö muodostuu keskenään samanlaisista jaksoista. Jakso sisältää toiminta-ajan vakiokuormituksella ja tyhjäkäyntiajan. Jakson pituus on kymmenen minuuttia ja sen aikana ei saavuteta loppulämpötilaa. Ajoittaiskäyttökerroin merkitään prosentteina. Ajoittaiskäyttökerroin voi olla 15, 25, 40 tai 60%. Leimausarvo esitetään muodossa $S3 15 \%$. Kuvio 13 on esitetty S6 pysähtymättömän ajoittaiskäytön kuvaaja. (ABB 2000, 11.)



Kuvio 13. S6 Pysähtymätön ajoittaiskäyttö (IEC 2010.)

4.6.7 S7 Keskeytymätön käynnistys- ja jarrutusikäyttö

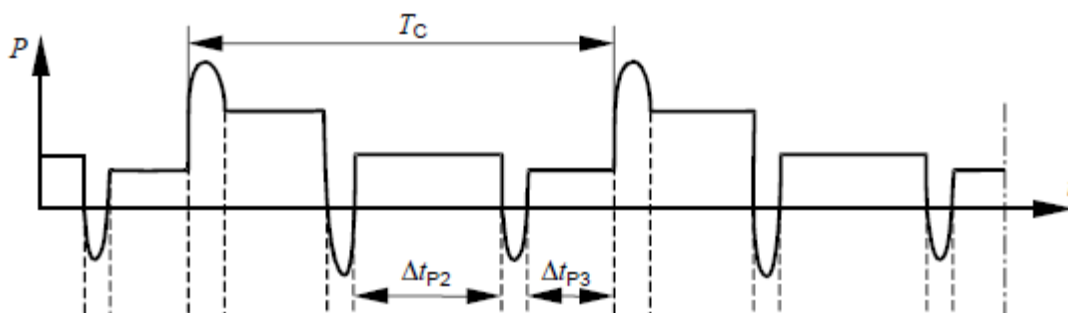
S7 Keskeytymätön käynnistys- ja jarrutusikäyttö tarkoittaa sitä, että sähkömoottorin käyttö muodostuu keskenään samanlaisista jaksoista. Jakso sisältää käynnistysajan, toiminta-ajan vakiokuormituksella ja jarrutusajan. Keskeytymättömässä käynnistys- ja jarrutusikäytössä moottoria jarrutetaan sähköisellä jarrulla, esim. vastavirtajarrulla. Jakson aikana ei saavuteta loppulämpötilaa. Leimausarvossa esitetään jaksojen lukumäärä tunnissa, moottorin hitausmomentti, kuorman hitausmomentti ja sallittu vastamomentti. Leimausarvo esitetään muodossa S7 – 120 c/h – $J_m = 0,2 \text{ kgm}^2$ – $J_{ext} = 0,2 \text{ kgm}^2$ – $T_v = 0,5 \text{ TN}$. Kuvio 14 on esitetty S7 keskeytymättömän käynnistys- ja jarrutusikäytön kuvaaja. (ABB 2000, 12.)



Kuvio 14. S7 Keskeytymätön käynnistys- ja jarrutusikäyttö (IEC 2010.)

4.6.8 S8 Pysähtymätön määräjaksollinen käyttö

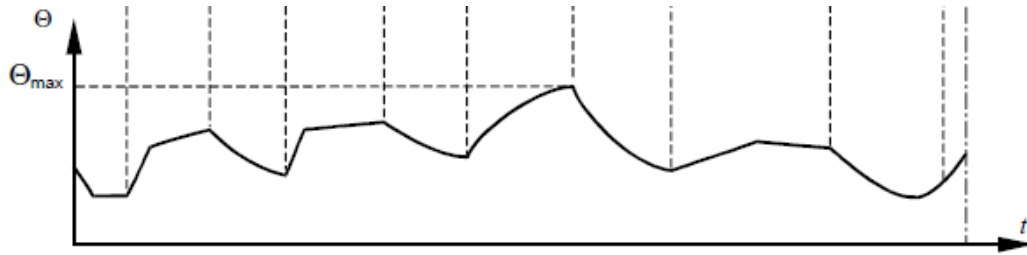
S8 Pysähtymätön määräjaksollinen käyttö tarkoittaa sitä, että sähkömoottorin käyttö muodostuu keskenään samanlaisista jaksoista. Jakso sisältää toiminta-aajan vakiokuormituksella määrätyllä nopeudella, jota seuraa toinen toiminta-aika eri nopeudella ja eri vakiokuormalla. Jakson aikana ei saavuteta loppulämpötilaa. Leimausarvossa esitetään moottorin hitausmomentti, kuorman hitausmomentti, jaksojen lukumäärä tunnissa, sallittu vastamomentti ja ajoittaiskäyttökerroin kaikille pyörimisnopeuksille. Leimausarvo esitetään muodossa S8 – JM = 1,1 kgm² – J_{exr} = 30 kgm², 30 c/h – T_v = T_N – 20 kW – 740 r/min – 30 %, 30 c/h – T_v = 0,4 T_N – 55 kW – 1450 r/min – 30 %, 30 c/h – T_v = 0,5 T_N – 35 kW – 960 r/min – 30 %. Kuvio 15 on esitetty S8 pysähtymättömän määräjaksollisen käytön kuvaaja. (ABB 2000, 12.)



Kuvio 15. S8 Pysähtymätön määräjaksollinen käyttö (IEC 2010.)

4.6.9 S9 käyttö vaihtelevalla kuormalla ja nopeudella

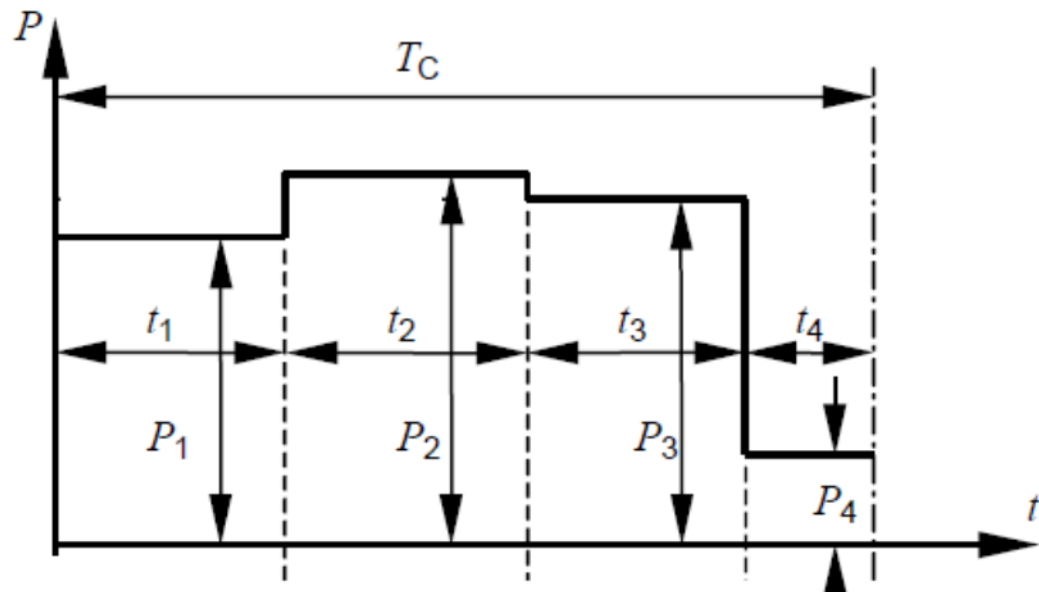
S9 Käyttö vaihtelevalla kuormalla ja nopeudelle tarkoittaa sitä, että sähkömoottorin käyttö muodostuu sallitulla käyttöalueella pysyvistä nopeuden ja kuorman muutoksista, jotka eivät ole jaksollisia. S9 Käytössä tapahtuu useasti ylikuormituksia, jotka saattavat ylittää nimelliskuorman. Ylikuormituksen suuruus tulee huomioida nimellistehon mitoituksessa. Kuvio 16 on esitetty S9 käytön vaihtelevalla kuormalla ja nopeudella kuvaaja. (ABB 2000, 12.)



Kuvio 16. S9 käyttö vaihtelevalla kuormalla ja nopeudella (IEC 2010.)

4.6.10 S10 Käyttö vaihtelevalla vakiokuormalla

S10 Käyttö vaihtelevalla vakiokuormalla tarkoittaa sitä, että sähkömoottorin käyttö muodostuu maksimissaan neljästä osajaksosta erisuurilla kuormilla. Jokaisen osajakson aikana saavutetaan loppulämpötila. Kuvio 17 on esitetty S10 käytön vaihtelevalla vakiokuormalla kuvaaja. (ABB 2000, 12.)

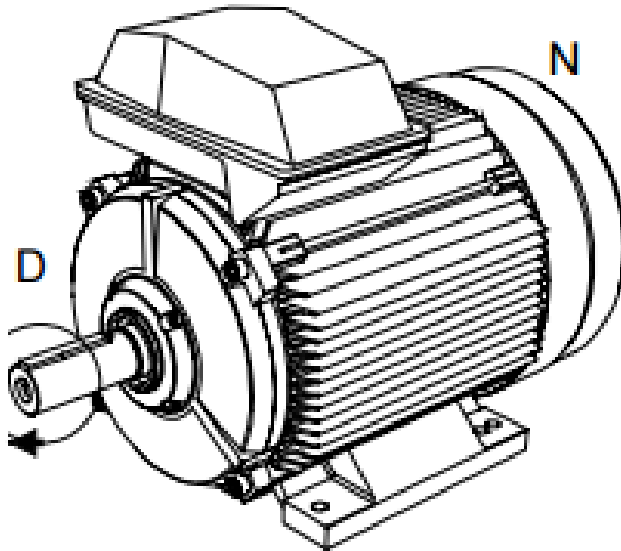


Kuvio 17. S10 Käyttö vaihtelevalla vakiokuormalla (IEC 2010.)

4.7 Pyörimissuunta ja merkinnät

Pyörivän sähkökoneen pyörimissuunta ja liitinmerkinnät sekä näiden välinen riippuvuus määritellään standardissa IEC 60034-8. Standardissa IEC 60034-7 määritellään sähkökoneen päiden tunnuksiksi D eli Drive end ja N eli Non-drive end (Kuvio 18). Kolmivaiheinen sähkömoottori on käämitty siten, että kun vaiheet L1,

L2 ja L3 kytetään moottorin liittimiin U, V ja W tässä järjestyksessä niin akseli pyörii myötäpäivään D-päästä katsottuna. (ABB 2000, 3-5.)



Kuvio 18. Sähkökoneen päiden tunnuskirjaimet (ABB 2000.)

4.8 Laakerit

Sähkömoottorin laakerit pienentävät moottorin kitkahäviöitä ja kantavat akseli-kuorman. Laakerit tulee valita niihin kohdistuvan voiman perusteella. Viistokuula-laakerit kestävät paremmin aksiaalivoimia kuin muut laakerityypit. Rullalaakerit kestävät muita laakerityyppejä paremmin säteittäisvoimia. Laakereita, joissa on erillinen vierintäelin, kutsutaan vierintälaakereiksi. Laakeri, jossa ei ole erillistä vierintäelintä, on liukulaakeri. Liukulaakeri kestää suurta kuormitusta paremmin kuin vierintälaakeri, mutta sen vierintävastus on suurempi. (ABB 2003, 5.)

Sähkömoottorin kuljettamisessa on otettava huomioon moottorin laakerityypit. Mikäli moottorissa on viistokuula-laakerit tai rullalaakerit, tulee moottorille tehdä kuljetuslukitus. Jos kuljetuslukitus jätetään tekemättä, moottorin laakerit voivat vaurioitua kuljetuksen aikana. Taulukko 4 on esitetty ABB:n vakimoottoreiden laakerityyppejä. (ABB 2004, 15.)

Taulukko 4. ABB:n vakiomootoreiden laakerityyppejä (ABB 2004.)

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
112 ²⁾	lyhyt	6206-2Z/C3	6205-2Z/C3
112 ²⁾	pitkä	6206-2Z/C3	6206-2Z/C3
132 ²⁾	lyhyt	6208-2Z/C3	6206-2Z/C3
132 ²⁾	pitkä	6208-2Z/C3	6208-2Z/C3
160		6309-2Z/C3	6209-2Z/C3
180		6310-2Z/C3	6209-2Z/C3
200 ¹⁾		6312-2Z/C3	6209-2Z/C3
200		6312/C3	6210/C3
225 ¹⁾		6313/C3	6210/C3
225		6313/C3	6212/C3
250 ¹⁾		6315/C3	6212/C3
250		6315/C3	6213/C3
280	2-napainen	6315/C3	6213/C3
280	4-8-napainen	6316/C3	6213/C3

5 SÄHKÖMOOTTOREIDEN LISÄLAITTEET

5.1 Jarrut

Sähkömoottorin jarrua voidaan käyttää kahteen eri tarkoitukseen. Jarrua voidaan käyttää pyörimisliikkeen pysäyttämiseen tai moottorin ja sen kuorman tahattoman pyörimisen estämiseen. Sähkömoottorin jousivoimatoimista jarrua ohjataan sähkömagneetin avulla. Magnetointiin käytetään joko vaihtovirtaa tai tasavirtaa. Tasavirtajarrun syöttö tuodaan yleensä vaihtovirralla moottorin turvakytkimelle tai kytkentäkotelolle, jossa se tasasuunnataan tasasuuntaajalla. (NORD 2014, 56.)

Sähkömoottorin jarru on useimmissa tapauksissa sijoitettu moottorin N-päähän. Näissä tapauksissa moottorin N-päässä on N-pään kilven lisäksi jarrukilpi ja jarrulevy. Moottoria jarrutettaessa jarrukilpi painaa jousivoimalla jarrulevyä moottorin N-kilpeä vasten. (NORD 2014, 56.)

5.2 Enkooderit

Enkooderin avulla on mahdollista toteuttaa takaisinkytkentä moottorilta ohjattavaan järjestelmään. Enkooderit voidaan jakaa kahteen ryhmään: inkrementti- ja absoluuttianturit. Enkooderissa on akseli, joka liitetään moottorin pyörivään osaan, joko kytkimen tai vaihteen välityksellä. Akseli pyörittää enkooderin sisällä kiekkoa. Valokennolla toimivan enkooderin kiekossa on valoa läpäiseviä ja läpäisemättömiä kohtia. Induktiolla toimivan enkooderin toiminta perustuu magneettikentän muutokseen kiekon pyöriessä. (Leine & Linde 2013, 9.)

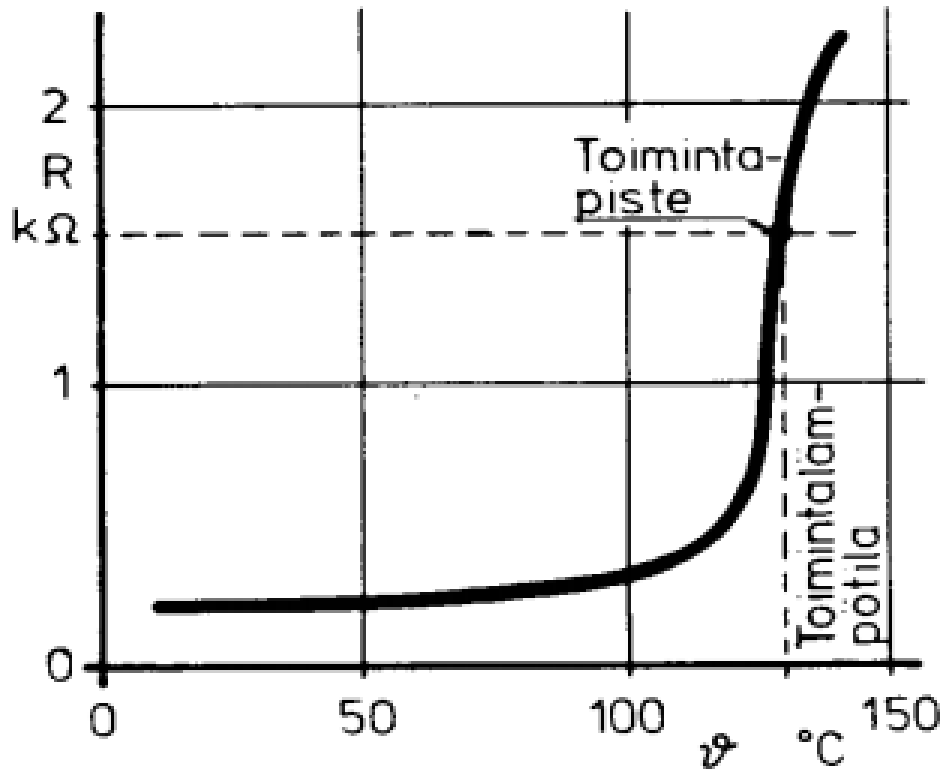
Inkrementtianturi tuottaa pyöriessään sarjan samanlaisia pulsseja. Pulssien perusteella saadaan selville moottorin pyörimisnopeus. Absoluuttianturi tuottaa pyöriessään paikka-arvon, jonka perusteella voidaan päätellä anturin tarkka asento. Kuvio 19 on esitetty inkrementti- ja absoluuttianturin toimintaperiaate. (Leine & Linde 2013, 9.)



Kuvio 19. Oikealla inkrementtianturin toimintaperiaate ja vasemmalla absoluuttianturin toimintaperiaate (Leine&Linde 2013.)

5.3 Lämpötila-anturit

Sähkömoottorin käämien lämpösuojausta on mahdollista parantaa käyttämällä termistorisuoja. Termistorisuojaalla voidaan varmistaa, ettei käämien lämpötila nouse liian suureksi olosuhteiden muuttuessa. Lämpötilamittaukseen käytetään PTC-termistoreita. PTC-termistorit ovat puolijohdehelmiä, joiden resistanssi on riippuvainen lämpötilasta. Kuvio 20 on esitetty PTC-termistorin ominaiskäyrä. Termistorin resistanssi nousee moninkertaiseksi toimintalämpötilassa. Termistoriin liitetty ohjauslaite havahtuu resistanssin kasvamiseen. Termistoreja käytetään yleisimmin pienjännitemoottoreiden suojauksessa. (ABB 2000, 8-10.)



Kuvio 20. Termistorin ominaiskäyrä (ABB 2000.)

Sähkömoottoreiden käämityksen lämpötilan mittausvastukset tehdään yleensä platinalangasta. Mittausvastuksen nimellisarvo on 100 Ω ja siitä käytetään nimitystä PT100. Sähkömoottorin uriin asennettavat mittausvastukset on tehty ohuen eristeliuskan sisään. Metallisuojuksessa oleva mittausvastus voidaan sijoittaa ilmakehään, laakeriin tai jäähdytysvesiputkeen. Vastuslämpöantureita käytetään yleisesti suurjännitekojeissa. Vastuslämpömittarin sijoituspaikasta johtuen sen lämpötila jää hieman käämien lämpötilaa pienemmäksi. (ABB 2000, 10.)

6 KUUMAVALSSAAMON SÄHKÖMOOTTOREIDEN KARTOITUS

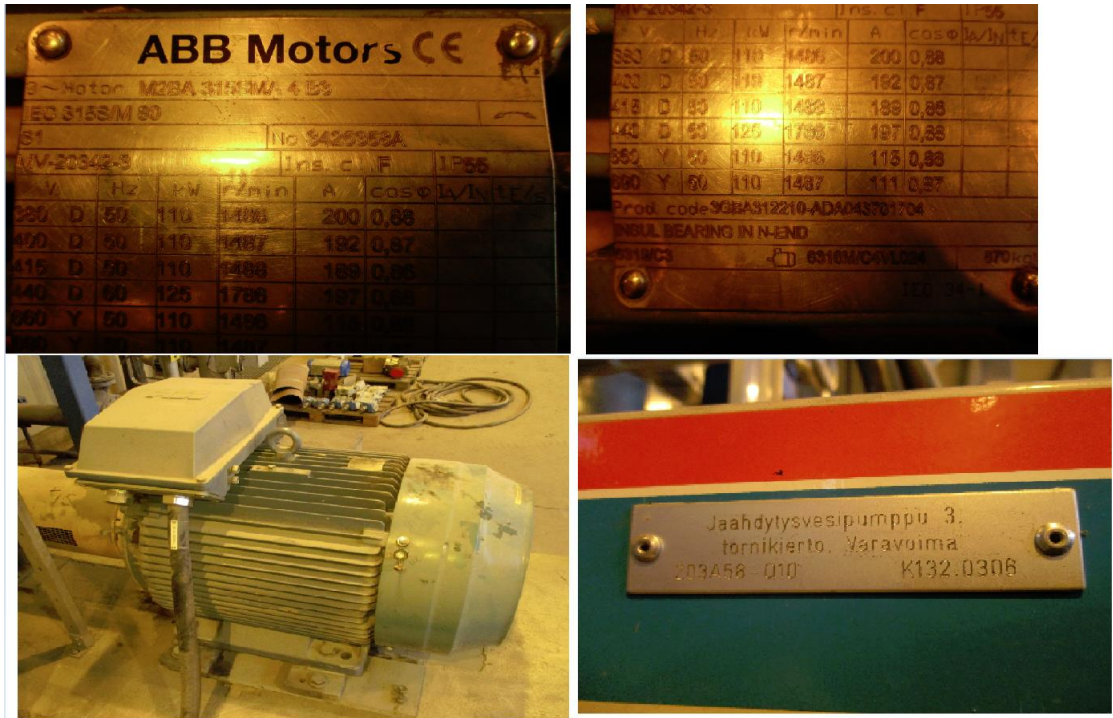
6.1 Alkutilanne

Kuumavalssaamon sähkömoottoreiden kartoitus aloitettiin niin sanotusti puhtaalta pöydältä. Prosessin sähkömoottoreista oli tehty aikaisemmin taulukko, mutta se saatiin käyttöön vasta kartoituksen loppupuolella. Aikaisemmin luotu taulukko tuli käyttöön vasta siinä vaiheessa, kun siinä olleet tiedot täydennettiin uuteen taulukkoon. Suoraan vanhasta taulukosta otetut tiedot merkittiin keltaisella värillä uuteen taulukkoon.

6.2 Kenttäkartoitus

Sähkömoottoreiden kenttäkartoituksen tarkoituksena oli valokuvata prosessin moottorit. Moottoreista valokuvattiin yleiskuvan lisäksi arvokilpi ja kytkentäkotelon asento. Yksittäisen moottorin valokuvaaminen aloitettiin arvokilven ja moottorin turvakytkimen positiokylytin puhdistamisella. Puhdistamisen jälkeen moottorin turvakytkimen positiokylytistä otettiin kuva, jonka jälkeen valokuvattiin moottorista tarvittavat kuvat. Positiokylyttikuvien perusteella eri moottoreista otetut valokuvat oli helppo pitää järjestyksessä.

Kenttäkartoitus toteutettiin siten, että prosessin käydessä valokuvattiin alueita, minne oli mahdollista mennä käynnin aikana. Viikkoseisokkien aikana kierrettiin turva-alueita ja muita alueita, minne ei ollut mahdollista mennä prosessin käydessä. Kartoituksen aikana otettiin 2598 valokuvaa 850 moottorista. Kuva 3 on esitetty eräästä moottorista otetut valokuvat.



Kuva 3. Eräästä moottorista otetut valokuvat

6.3 Varastokartoitus

Sähkömoottoreiden varastokartoituksella varmistettiin kunnossapidon tietokantaan merkittyjen prosessin moottoreiden varamoottoreiden tietojen paikkansa pitävyys. Varastokartoitus toteutettiin listaamalla prosessin sähkömoottoreiden varamoottoreiden varastopaikat. Listauksen jälkeen varamoottoreiden tiedot käytiin tarkistamassa varastolla.

Prosessin kaikille sähkömoottoreille ei ollut merkitty varaosaa kunnossapidon tietojärjestelmään. Näille moottoreille etsittiin sopivaa varamoottoria KUTI-järjestelmän nimikehaku-toiminnolla. Hakuetoina käytettiin moottorin tehoa ja pyörimisnopeutta. Haku tehtiin moottorin nimellisellä pyörimisnopeudella ja tahtinopeudella. Hakutuloksista rajattiin pois moottorit, joiden asennustapa ei ollut sopiva. Mahdollisesti sopivista moottoreista tehtiin lista, jonka pohjalta moottoreiden sopivuus käytiin tarkistamassa varastolla. Varastokartoituksen jälkeen varamoottoreiden tiedot lisättiin tai päivitettiin KUTI-järjestelmään.

6.4 Moottoritietojen taulukointi ja taulukon päivittäminen

Moottoritietojen taulukointi aloitettiin jakamalla moottoreista otetut valokuvat moottoreiden tunnuksien mukaan nimettyihin kansioihin. Taulukon ensimmäiseen sarakkeeseen listattiin moottoreiden tunnuksot, joihin tehtiin linkit tunnuksien mukaisiin kuvakansioihin. Tunnuksien lisäksi taulukkoon kirjattiin moottorin tyyppi, teho, pyörimisnopeus, valmistaja, koko, asennustapa, laakerit, lisälaitteet ja materiaalikoodi.

Taulukon moottoritietojen päivittäminen käytössä olevan moottorityypin vaihtuessa tehdään muokkaamalla taulukkoon kyseisen moottorin tunnuksen riville muuttuneet tiedot ja päivittämällä moottorista otetut valokuvat tunnuksen mukaiseen kansioon. Kokonaan uuden moottorin lisääminen taulukkoon aloitetaan luomalla moottorille uusi rivi taulukkoon. Riville kirjoitetaan moottorin tiedot oikeisiin sarakkeisiin. Moottorista otetuille valokuville luodaan moottorin tunnuksen mukaan nimetty kansio, jonne moottorikuvat kopioidaan. Kuvakansio liitetään samaan kansioon muiden moottorikuvakansioiden kanssa. Tämän jälkeen taulukossa olevaan uuden moottorin tunnukseen luodaan hyperlinkki tunnuksen mukaiseen kuvakansioon.

7 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli valokuvata ja taulukoida prosessin sähkömoottorit ja lisätä kunnossapidon tietojärjestelmään puuttuvat moottorit. Mielestäni työ onnistui kohtuullisesti. Tiukka aikataulu ja moottoreiden suuri määrä loivat oman haasteensa työn tekemiseen.

Varamoottoreiden etsiminen moottoreille, joille ei ollut jo merkitty sopivaa varamoottoria, oli haastavaa, sillä varastossa olevien moottoreiden tiedot olivat osittain puutteellisia. Täyden varmuuden saaminen sopivan varamoottorin olemassa olosta olisi tarkoittanut koko varaston läpi käymistä.

Opinnäytetyön yhtenä osana oli varastoitujen moottoreiden huoltotarpeen selvittäminen. Aiheesta ei ole juurikaan kirjallisuutta. Ainoa varastointiin liittyvä asia, mikä tuli useamman moottorivalmistajan manuaalissa esille, oli se, että varastoidut moottorit tulisi säilyttää kuivassa sisätilassa.

Opinnäytetyön aikana tutustuttiin laajaan kirjoon erilaisia oikosulkumoottoreita. Kartoituksessa tuli esille, että moottoreiden arvokilpien ulkoasut vaihtelevat todella paljon, jopa yhden moottorivalmistajan sisällä. Joidenkin moottoreiden kohdalla arvokilven kaikkien merkintöjen ymmärtämiseksi täytyi tutustua moottorivalmistajien manuaaleihin.

Sähkömoottoreiden kartoitus oli mielenkiintoinen ja opettavainen työ, mutta vähempikin toisto valokuvaamisessa ja tietojen taulukoinnissa olisi riittänyt. Opinnäytetyön tekeminen antoi hyvät pohjat työelämään, sillä sähkömoottoreita käytetään hyvin laajasti erilaisissa kohteissa.

LÄHTEET

- ABB 2000. TTT-käsikirja 2000-07 Moottori ja generaattorit. Viitattu 13.11.2016. http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/17_Moottorit%20ja%20generaattorit.pdf.
- ABB 2003. Moottoreiden laatuopas. Viitattu 20.11.2016. <https://library.e.abb.com/public/49d50c78179dab40c2256d28002bfd63/Moottoreiden%20laatuopas%2003-2003.pdf>.
- ABB 2004. DriveIT Pienjännitteiset vakio moottori. Viitattu 20.11.2016. <https://library.e.abb.com/public/f99be400a43336a8c1257b130056f076/Drive%20IT%20pienjannitteiset%20vakio moottorit%20FI%2010-2004.pdf>.
- ABB 2005. The Motor Guide. Viitattu 5.10.2016. [http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/12c3580f179a9d58c125761f0057ca5c/\\$file/motor+guide+gb+02_2005.pdf](http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/12c3580f179a9d58c125761f0057ca5c/$file/motor+guide+gb+02_2005.pdf).
- Aura, L.& Tonteri, A. 1996. Sähkökoneet ja tehoelektroniikan perusteet. Helsinki: WSOY.
- Aura, L & Tonteri, A. 2009. Teoreettinen sähkötekniikka ja sähkökoneiden perusteet. Helsinki: WSOY.
- Bauer 2001. IP degrees of protection. Viitattu 4.11.2016. http://www.dmc-global-service.com/main/danweb/vault/commlit/ep101e_ms.pdf.
- Hietalahti, L. 2013. Teollisuuden sähkökäytöt. Tampere: Tammertekniikka.
- IEC 2010. Rotating electrical machines – Part1: Rating and performance. Geneva: International Electrotechnical Commission.
- Nord 2014. Moottorit-katalogi. Viitattu 20.11.2016 https://www.nord.com/cms/media/documents/bw/M7000_IE1_IE2_IE3_FI_2211~1.pdf.
- Outokummun www-sivut 2016. Viitattu 25.10.2016 www.outokumpu.com.
- Vuorivirta, A. 2014. Uudet sähkömoottoritekniikat energiansäästöjen tuojana. Viitattu 16.11.2016 http://ssty.fi/download/hki2014/014_Antti_Vuorivirta_ABB.ppt.pdf.