



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Rasmus Hiivanainen

# ALUMIINIMOOTTOREIDEN AKSELI- KORKEUKSIEN TUTKIMINEN

ABB Oy

Tekniikka  
2020

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Rasmus Hiivanainen
Opinnäytetyön nimi	Alumiinimoottoreiden akselikorkeuksien tutkiminen
Vuosi	2020
Kieli	suomi
Sivumäärä	29+4 liitettä
Ohjaaja	Sami Elomaa, Jaakko Rantamäki ja Otto Rautiainen

---

Tämän työn aiheena oli tutkia 90-, 100-, 112- ja 132-kokoluokkien alumiinimoottoreiden akselikorkeuksia. Tavoitteena oli nykytilanteen kuvaus ja mittaus, sekä pohtia mahdollisia kehitysehdotuksia tilanteen parantamiseksi.

Tutkimuksessa mitattiin kymmenen alumiinimoottorin akselikorkeus kokoluokista 90, 100 ja 132, sekä vain kaksi 112-kokoluokasta aikataulullisista syistä. Varsinaisessa tutkimusosassa tarkasteltiin ja analysoitiin saatuja mittaustuloksia. Mittaustulosten perusteella tehtiin havaintoja nykytilanteesta, sekä esitetään mahdollisia kehitysehdotuksia, joilla tilannetta saadaan parannettua.

Kehitysideoina oli, että runkojen jalat koneistetaan ennen tuotantoon siirtymistä tai sitten tehdä uusi valukoodi rungoille, jossa olisi valmiiksi sopivimmat mitat, jolloin mahdollisia jalkojen korjauksia ei tarvittaisi.

## ABSTRACT

Author	Rasmus Hiivanainen
Title	Examination of the Shaft Heights in Aluminium Motors
Year	2020
Language	Finnish
Pages	29+4 Appendices
Name of Supervisor	Sami Elomaa, Jaakko Rantamäki and Otto Rautiainen

---

This thesis consisted of studying the shaft heights of aluminium motors with sizes of 90, 100, 112 and 132. The aim was to describe and measure the current situation, and to consider possible development proposals to improve the situation.

In the examination, ten different shaft heights were measured from each size class. The size classes were 90, 100, and 132. From the size class 112, only two shaft heights were measured for schedule reasons. In the actual research part, the obtained measurement results were examined and analyzed. Based on the measurement results, the observations were investigated to see what could be improved in future.

To improve the situation the development ideas were that the feet of the frames could be machined before going into production, or that a new casting code could be made for the frames, which would already have more suitable dimensions, so that no possible repair of the feet is required.

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

LYHENTEET .....	8
1 JOHDANTO.....	9
2 YRITYSESITTELY .....	10
2.1 ABB yleisesti .....	10
2.2 ABB Suomessa .....	10
2.3 ABB Oy Motors & Generators-yksikkö .....	10
3 OIKOSULKUMOOTTORI.....	11
3.1 Rakenne.....	11
3.2 Toimintaperiaate .....	11
3.3 Hyötysuhdeluokat .....	12
3.4 Moottorin standardin mukainen mitoitus.....	13
3.5 Toleranssit.....	15
3.5.1 Mittatoleranssit.....	15
3.5.2 Geometriset toleranssit.....	15
3.5.3 Yleistoleranssit.....	16
3.6 Asennusasennot.....	16
3.7 Kiinnitystukireaktiot .....	18
3.8 Moottorin käyttötavat.....	20
4 ALUMIININEN PIENJÄNNITTEMOOTTORI .....	22
4.1 Yleistä .....	22
4.2 Alumiininen prosessimoottori.....	22
4.3 Alumiininen vakimoottori.....	23
4.4 Alumiininen jarrumoottori .....	23
4.5 Rakenne.....	24
5 TUTKIMUS .....	25
5.1 Suunnitelma ja tavoitteet.....	25
5.2 Toteutus.....	25

5.3	Mittaustulokset.....	26
5.3.1	Runkokoko 90 .....	26
5.3.2	Runkokoko 100 .....	26
5.3.3	Runkokoko 112 .....	26
5.3.4	Runkokoko 132 .....	26
5.4	Tulosten tarkastelu .....	26
6	KEHITYSEHDOTUKSET.....	27
7	YHTEENVETO .....	28
	LÄHTEET.....	29

## LIITTEET

**KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO**

<b>Kuva 1.</b> Oikosulkumoottorin läpileikkaus. /6/ .....	11
<b>Kuva 2.</b> IE-hyötysuhdeluokat. /12/ .....	13
<b>Kuva 3.</b> Jalallisen oikosulkumoottorin IEC-mitoitus. /11/ .....	14
<b>Kuva 4.</b> Laipallisen oikosulkumoottorin IEC-mitoitus. /11/ .....	14
<b>Kuva 5.</b> Akselin IEC-mitoitus D-päässä. /11/ .....	14
<b>Kuva 6.</b> Asennusasennot. /18/ .....	18
<b>Kuva 7.</b> Sähkömoottorin jalkoihin vaikuttavat voimat. /21/ .....	19
<b>Kuva 8.</b> Alumiinirunkoisia prosessimoottoreita. /22/ .....	22
<b>Kuva 9.</b> Alumiinirunkoisia vakimoottoreita. /18/ .....	23
<b>Kuva 10.</b> Alumiinirunkoinen jarrumoottori. /17/ .....	24
<b>Kuva 11.</b> Mitutoyon korkeusmittalaite.....	25

**LIITELUETTELO**

**LIITE 1.** Runkokoon 90 mittapöytäkirja.

**LIITE 2.** Runkokoon 100 mittapöytäkirja.

**LIITE 3.** Runkokoon 112 mittapöytäkirja.

**LIITE 4.** Runkokoon 132 mittapöytäkirja.

**Työn tilaaja on estänyt liitteiden julkaisun.**

**LYHENTEET**

ABB	Asea Brown Boveri
D-pää	Drive end, moottorin käyttöpää
N-pää	Non-drive-end, moottorin vapaa pää
IEC	International Electrotechnical Commission, kansainvälinen sähköalan standardisoimisjärjestö
SFS	Suomen Standarditoimistoliitto SFS ry
EN	European Standard, eurooppalainen standardi
ISO	International Organization for Standardization, kansainvälinen standardisoimisjärjestö
KK	Tehdas Strömberg Parkissa
AL3C	Tuontantolinja, jossa valmistetaan alumiinimoottoreita

## 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehtiin Vaasan ABB Oy, Motors & Generators -yksikölle. Tämän työn aiheena oli tutkia 90-, 100-, 112- ja 132-kokoluokkien alumiinimoottoreiden akselikorkeuksia. Tavoitteena oli nykytilanteen kuvaus ja mittaus, sekä pohdita mahdollisia kehitysehdotuksia tilanteen parantamiseksi.

Tämän työn teoriaosassa käydään läpi oikosulkumoottorin rakenne ja toimintaperiaate, sekä käsitellään IEC:n vaatimuksen mukaisia hyötysuhdeluokkia, moottorin mitoituksia, asennusmenetelmiä, kiinnitystukireaktioita, mitta- ja geometrisiä toleransseja sekä oikosulkumoottorin käyttötapoja. Alumiinirunkoisten pienjännitemoottorien rakenne sekä eri tyypit käydään lyhyesti läpi.

Tutkimuksessa mitattiin kymmenen alumiinimoottorin akselikorkeus kokoluokista 90, 100 ja 132, sekä vain kaksi 112-kokoluokasta aikataulullisista syistä. Varsinaisessa tutkimusosassa tarkasteltiin ja analysoitiin saatuja mittaustuloksia. Mittaustulosten perusteella tehtiin havaintoja nykytilanteesta ja niistä esitetään mahdollisia kehitysehdotuksia, joilla tilannetta saadaan parannettua. Kehitysehdotuksia käydään tarkemmin läpi niille suunnatussa kappaleessa.

## **2 YRITYSESITTELY**

### **2.1 ABB yleisesti**

ABB-yhtymä syntyi vuonna 1988, kun kaksi teknologiayritystä, ruotsalainen Asea ja sveitsiläinen Brown Boveri, yhdistivät liiketoimintansa. ABB on johtava teknologian edelläkävijä, joka tarjoaa asiakkailleen sähköistystuotteet, robotit, liikkeenohjauksen, teollisuusautomaation ja sähköverkkoratkaisut. Yhtiö palvelee energia-, teollisuus-, liikenne- ja infrastruktuurialojen asiakkaita globaalisti. ABB:llä on neljä maailmanlaajuisesti johtavaa liiketoimintaa: Electrification, Industrial Automation, Motion ja Robotics & Discrete Automation. Yhtiö toimii yli sadassa maassa työllistäen noin 147 000 tuhatta henkilöä, joista Suomessa noin 5 400. /1,2/

### **2.2 ABB Suomessa**

ABB on Suomessa yksi suurimmista teollisuuden alan työnantajista työllistäen noin 5 400 henkilöä. Suomessa yhtiö toimii noin 20 paikkakunnalla, joista tehdaskeskitymät sijaitsevat Helsingissä, Vaasassa, Porvoossa ja Haminassa. Esimerkkinä Helsingin Pitäjämäen tehtaalla valmistetaan muun muassa moottoreita, generaattoreita, taajuusmuuttajia ja Vaasan Strömberg Parkissa valmistetaan moottoreita, muuntajia, sähköverkon ohjaus- ja suojauslaitteita sekä pienjännitetuotteita ja -järjestelmiä, sähköä siirto- ja jakelujärjestelmiä ja voimantuotannon järjestelmiä. /3/

### **2.3 ABB Oy Motors & Generators -yksikkö**

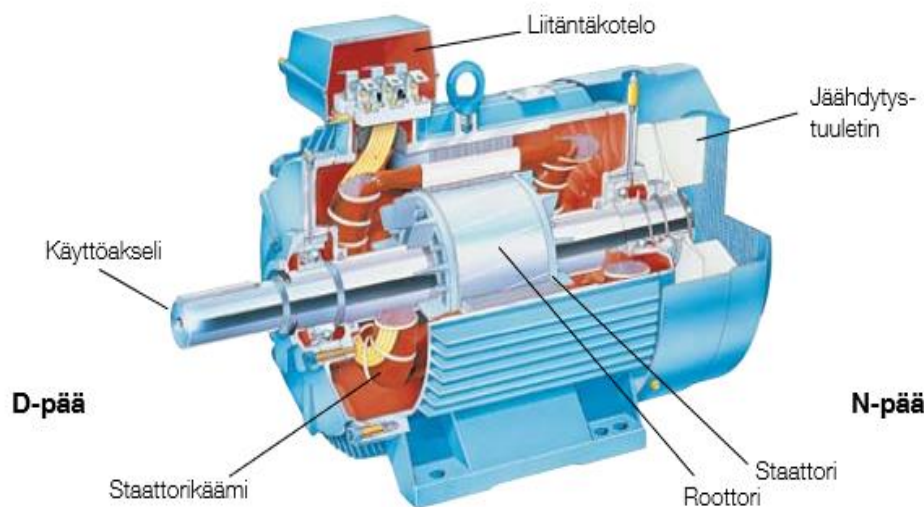
Motors & Generators -liiketoimintalinja valmistaa korkean hyötysuhteen moottoreita ja generaattoreita, sekä panostaa tutkimukseen ja tuotekehitykseen. Kyseinen liiketoimintalinja Suomessa kehittää ja valmistaa moottoreita ja generaattoreita kaikille teollisuudenaloille maailmanlaajuisesti. Tehtaat sijaitsevat Helsingissä ja Vaasassa. Vaasan tehtaalla on globaalinen vastuu ABB:n pienjännitemoottoreitten valmistuksesta ja tuotekehityksestä vaativiin käyttötarkoituksiin. /4/

Yhtiön moottori- ja generaattoriliiketoiminta työllistää 13 000 henkeä 31 tehtaassa 9 maassa. Suomessa liiketoiminta työllistää 1 520 henkilöä, joista Vaasassa 550 ja Helsingissä 900. /4/

### 3 OIKOSULKUMOOTTORI

#### 3.1 Rakenne

Oikosulkumoottori sisältää seuraavat perusosat: pyörivä roottori akseleineen, staattori, laakerikilvet ja laakerit. Roottori on laakereiden varassa staattoriaukossa. Roottorin ja staattorin välissä on ilmarako niin, että roottori voi pyöriä vapaasti. Laakerit, jotka voivat olla rulla-, kuula- tai liukulaakereita, on kiinnitetty laakerikilpiin, jotka kannattavat roottoria. Laakerikilvet ovat kiinni staattorissa, joka muodostaa koneen rungon. Staattoriin ja roottoriin on sijoitettu käämitykset, joiden muoto ja rakenne vaihtelevat konetyypin mukaan. Koneissa on yleensä päällä myös liittokotelo, johon syöttökaapeli kytketään. Moottorin vapaassa päässä on akseliin kiinnitetty tuuletin, joka jäähdyttää moottoria. Kuvassa 1 oikosulkumoottorin läpileikkaus. /5/



**Kuva 1.** Oikosulkumoottorin läpileikkaus. /6/

#### 3.2 Toimintaperiaate

Oikosulkumoottori on epätahtikone, joka muuttaa sähköenergian liike-energiaksi. Epätahtinimitys tulee siitä, että koneen roottorin pyörimisnopeus poikkeaa koneen

sisällä pyörivän magneettikentän pyörimisnopeudesta. Sen toiminta perustuu magneettikentän ja siinä olevan virrallisen johtimen välisiin voimavaikutuksiin. /5/

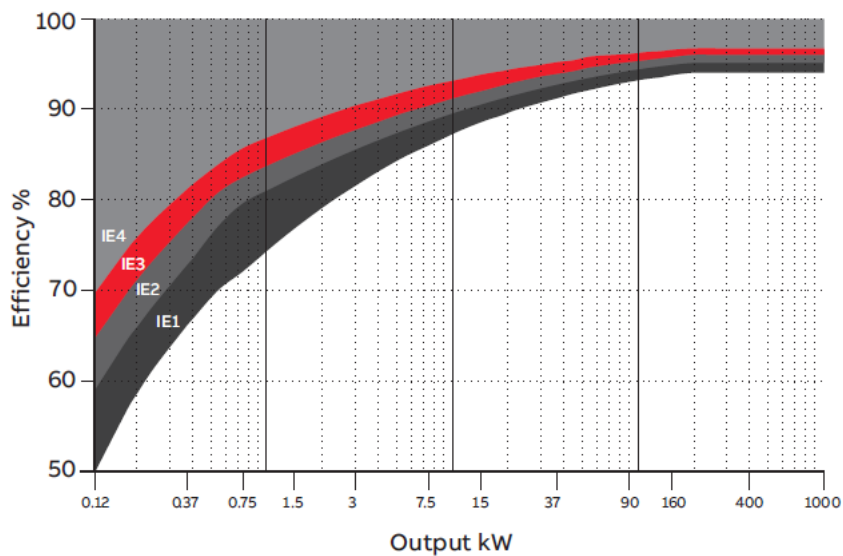
Kun staattoriin kytketään jännite, syntyy koneen sisään pyörivä magneettikenttä, jonka kenttäviivat leikkaavat roottorikäänin sauvoja. Sauvoihin indusoituu tällöin sähkömotorinen voima, joka saa aikaan roottorivirran. Roottorivirran ja pyörivän kentän välinen voimavaikutus saa roottorin pyörivään liikkeeseen. Moottorin tarvitsema sähköteho syötetään siis staattorikäänityksiin, joista teho siirtyy roottoriin pääasiassa mekaaniseksi tehoksi. /5/

### 3.3 Hyötysuhdeluokat

IEC:n standardissa 60034-30-1: 2014 määritellään maailmanlaajuinen energiatehokkuusluokitusjärjestelmä kolmivaiheisille pienjännitteisille oikosulkumoottoreille. Nämä kansainväliset standardit on luotu mahdollistamaan ja lisäämään tehokkuussäädösten yhdenmukaistamisen tasoa ympäri maailmaa. /12/

IEC 60034-30-1: 2014 määrittelee neljä International Efficiency (IE)-hyötysuhdeluokkaa yksinopeuksisille, kolmivaiheisille, 2–8 napaisille, 50 Hz:n ja 60 Hz:n pienjännitteisille oikosulkumoottoreille (**kuva 2.**). Standardi kattaa tehoalueet välillä 0,12–1 000 kW. IEC 60034-30-1:ssä määritellyt hyötysuhdetasot perustuvat standardissa IEC 60034-2-1: 2014 määriteltyyn testimenetelmään. Neljä hyötysuhdeluokkaa ovat:

- IE1 = Standard efficiency
- IE2 = High efficiency
- IE3 = Premium efficiency
- IE4 = Super premium efficiency. /12/



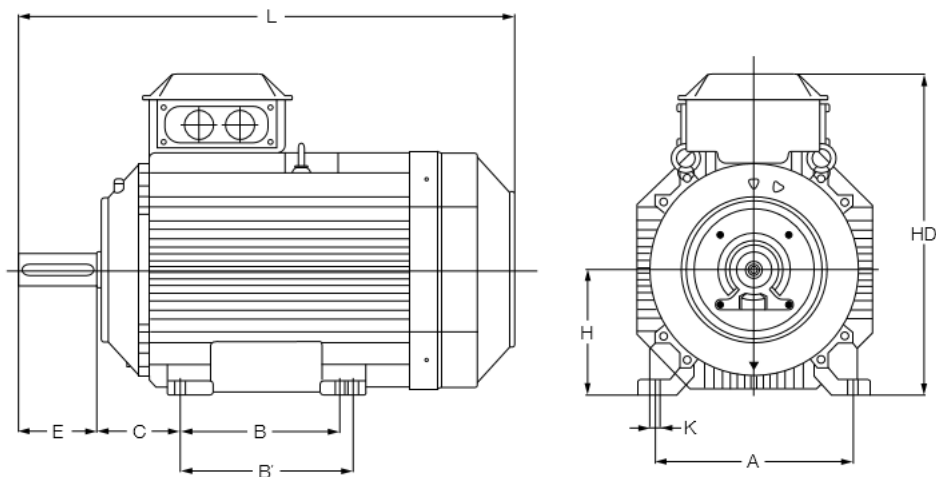
**Kuva 2.** IE-hyötysuhdeluokat. /12/

Markkinoiden edistämiseksi IEC 60034-30-1 toteaa, että sekä hyötysuhdeluokka että hyötysuhdearvo on esitettävä moottorin arvokilvessä ja tuoteasiakirjoissa. Asiakirjoissa on myös ilmoitettava käytetty tehokkuuden testausmenetelmä. /12/

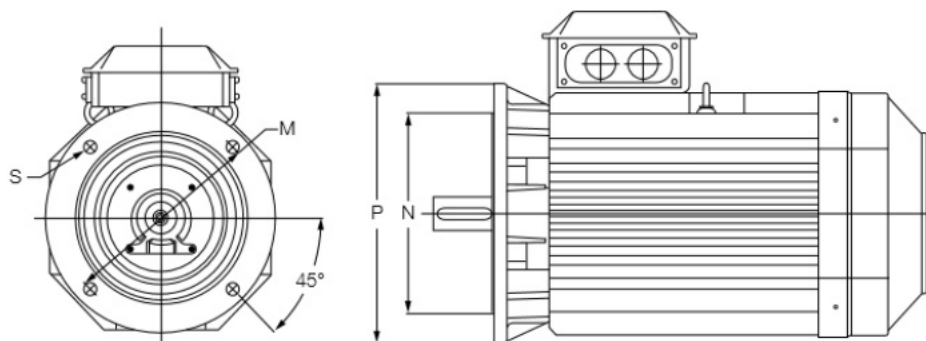
### 3.4 Moottorin standardin mukainen mitoitus

IEC on kehittänyt kansainväliset standardit sähkökoneiden asennusmitoille sekä määritellyt niitä vastaavat kokoa ilmaisevat tunnuksot. Saman tunnuksen omaavat sähkökoneet ovat asennusmittojensa puolesta keskenään vaihtokelpoisia. /11,13/

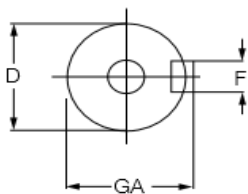
Rungon tunnus muodostuu akselinkorkeudesta, joka mitataan moottorin jalan pohjasta akselin keskikohtaan. Tämä mitta ilmaisee runkokoon. Rungon tunnuksessa voi olla kirjaimet S, M tai L, jotka ilmaisevat rungon pituusluokan. Akselinkorkeuden lisäksi muita tärkeitä mittoja ovat akselin halkaisija ja laippamoottorissa laipan koko. Kuvissa 3, 4 ja 5 ovat jalallisen ja laipallisen oikosulkumoottorin, sekä akselin IEC 60072-1 -standardin mukaiset mitoitukset. /11,13/



**Kuva 3.** Jalallisen oikosulkumoottorin IEC-mitoitus. /11/



**Kuva 4.** Laipallisen oikosulkumoottorin IEC-mitoitus. /11/



**Kuva 5.** Akselin IEC-mitoitus D-päässä. /11/

Kuvissa 3, 4 ja 5 olevien mittojen kirjainsymbolit kuvataan seuraavasti:

- A = Kiinnitysreikien keskilinjojen välinen etäisyys edestä kuvattuna.
- B = Kiinnitysreikien keskilinjojen välinen etäisyys sivusta kuvattuna.

- $B$  = Etäisyys ylimääräisten kiinnitysreikien keskikohtien välillä.
- $C$  = Akselin olkapään etäisyys lähimpien jalkojen kiinnitysreikien keskiliin- jaan D-päässä.
- $D$  = Akselin halkaisija D-päässä.
- $E$  = Akselin pituus olkapäästä D-päässä.
- $F$  = Akselin kiilauran leveys.
- $GA$  = Etäisyys kiilan yläosasta akselin vastakkaiseen pintaan D-päässä.
- $H$  = Etäisyys akselin keskikohdasta jalkojen pohjaan.
- $HD$  = Etäisyys liitäntäkotelosta, joka on asennettu moottorin yläosaan jal-  
kojen pohjaan.
- $K$  = Jalan kiinnitysreikien halkaisija.
- $L$  = Moottorin kokonaispituus.
- $M$  = Laippakilven kiinnitysreikien säteen ympyrän halkaisija.
- $N$  = Laippakilven ohjauksen halkaisija.
- $P$  = Laipan ulkopinnan halkaisija.
- $S$  = laipan kiinnitysreikien halkaisija. /11/

### 3.5 Toleranssit

Toleranssi ilmaisee valmistuksessa sallittavan mittavaihtelun. Piirustuksissa tole-  
ranssi ilmoitetaan ISO-tunnuksilla, numeroilla tai yleistoleranssien avulla. /19/

#### 3.5.1 Mittatoleranssit

Tolerointitekniikat pituus- ja kulmamitoille määritetään standardissa ISO 14405.  
Pituusmitat on pääasiassa tarkoitettu niin sanotuille mitallisille elementeille, joita  
ovat esimerkiksi kahden yhdensuuntaisen tason välinen etäisyys sekä reiän tai ak-  
selin halkaisija. /20/

#### 3.5.2 Geometriset toleranssit

Standardissa SFS-EN ISO 1101 määritetään geometristen toleranssien tunnuksat.  
Niillä määritellään muodon (esim. ympyrämäisyys ja tasomaisuus), suunnan (esim.  
yhdensuuntaisuus ja kohtisuoruus) ja sijainnin (esim. samankeskisyys)

poikkeamille sekä heitolle sallitut rajat. Toiminnalliset vaatimukset ratkaisevat minkälaista tolerointia kussakin tapauksessa on tarkoitus käyttää. Geometrisilla toleransseilla on mahdollista asettaa tietyille ominaisuuksille mittatoleransseista riippumattomia vaatimuksia. Esimerkiksi liukupinnan toiminta saattaa edellyttää mittatoleranssia tarkempaa tasomaisuusvaatimusta. /19/

Geometriset toleranssit merkitään toleranssikehykseen, johon merkitään toleranssin tunnus, itse toleranssi ja tarvittaessa peruselementin kirjain. Viiteviiva osoittaa toleroituun elementtiin. /19/

### **3.5.3 Yleistoleranssit**

Yleistoleranssit määrittelevät toleranssit niille piirustuksissa oleville mitoille, jotka ovat ilman toleranssimerkintää. Yleistoleranssien arvot vastaavat valmistustarkkuutta. /19/

Standardissa SFS-EN 22768-1 määritetään yleistoleranssit pituus- ja kulmamitoille. Standardi määrittelee neljä tarkkuusluokkaa, jotka ovat f =hieno, m=keskikarkea, c=karkea ja v=erittäin karkea. /19/

Standardissa SFS-EN 22768-2 määritetään geometriset yleistoleranssit. Niitä käytetään pääasiassa koneistamalla valmistetuille kappaleille. Standardi määrittelee kolme tarkkuusluokkaa, jotka ovat H, K ja L. /19/

### **3.6 Asennusasennot**

IEC:n standardi 60034-7 määrittelee asennusasennot. Kaksi yleisintä asennusasennoa ovat B3, jossa moottori asennetaan alustaan kiinni jaloista ja B5, jossa ei ole jalkoja vaan moottori asennetaan kiinni laipallisesta laakerikilvestä. /13,14/





































B3-kiinnityksessä moottori asennetaan alustaan kiinni jaloista. Kyseiseen asennusasentoon suunniteltua runkoa voidaan käyttää myös B6-, B7-, B8-, V5- ja V6-kiinnityksissä. Ne kaikki asennetaan kiinni jaloista. B6- ja B7-kiinnityksissä moottori asennetaan jaloista pystysuorassa olevaan seinään, jolloin akseli on vaakasuorassa suunnassa ja B8-kiinnityksessä moottori asennetaan jaloista kattoon. V5- ja V6-

asennuksissa moottori kiinnitetään jaloista pystysuoraan seinään siten, että akseli on pystysuorassa suunnassa. /13,14/

B5-kiinnityksessä moottori asennetaan laipallisesta laakerikilvestä pystysuoraan seinään. Staattorin rungossa ei B5-kiinnityksessä ole jalkoja. Kyseiseen asennus- asentoon suunniteltua runkoa voidaan käyttää myös V1- ja V3-kiinnityksissä. Niissä moottori asennetaan laakerikilvestä vaakasuoraan tasoon, jolloin akseli on pystysuorassa suunnassa. /13,14/

B35 kiinnityksessä moottori voidaan asentaa sekä jaloista että laipallisesta laakerikilvestä. Siinä käytetään samaa runkoa, joka on suunniteltu B3-asennusasentoon ja samaa laipallista laakerikilpeä, mikä on suunniteltu B5-asennusasentoon. Kuvassa 6 on kuvattu asennusasennot. /13,14/

Rungon tulee kestää kiinnityksestä ja vääntömomentista aiheutuvia kuormituksia moottorin koko elinkaaren ajan. Myös alusta, johon moottori kiinnitetään, on oltava tasainen ja riittävän tukeva, jotta se kestää mahdolliset oikosulkuvoimat. Moottorin jalkojen korkeusero ei saa olla yli  $\pm 0,1$  mm. /13,14,16/

	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 akselinpäätä	IM 1002	IM 1012	IM 1032	IM 1052	IM 1062	IM 1072
						

\*) Ei mainittu IEC 60034-7 -standardissa.

**Kuva 6.** Asennusasennot. /18/

### 3.7 Kiinnitystukireaktiot

Kuvassa 7. on havainnollistava kuva sähkömoottorin jalkoihin kohdistuvista voimista. Kaavan 1 mukaan moottorin kiinnitystukireaktiot lasketaan tasapainoehtojen avulla. Tasapainoehtoista saadaan seuraava yhtälöryhmä:

$$x: F_{A,X} + F_{B,X} = 0$$

$$y: F_{A,Y} + F_{B,Y} - G = 0$$

$$M_S: -T + F_{A,Y} \times \frac{A}{2} - F_{A,X} \times H + F_{B,Y} \times \frac{A}{2} - F_{B,X} \times H + G \times e = 0 \quad (1)$$

Kaavassa 1 momentti on laskettu akselin ympäri. Siitä voidaan päätellä, että voimat  $F_{A,X}$  ja  $F_{B,X}$  ovat samansuuruisia, mutta eri suuntaisia. Käytännössä  $F_{A,X} = F_{B,X} = 0$ . Lisäksi G:n etäisyys pyörimisakselilta on käytännössä 0. Näin saadaan kaavan 2 avulla arvoiksi:

$$y: F_{A,Y} + F_{B,Y} - G = 0$$

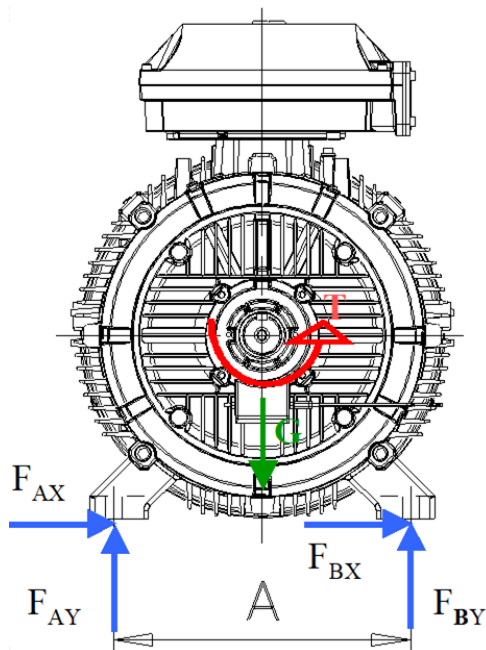
$$M_S: -T + F_{A,Y} \times \frac{A}{2} - F_{B,Y} \times \frac{A}{2} = 0 \quad (2)$$

Kaavasta 2 edelleen sijoittamalla saadaan moottorin jalkoihin vaikuttavat pystysuuntaiset tukireaktiovoimat ratkaistua kaavan 3 mukaan seuraavasti:

$$F_{A,Y} = \frac{G}{2} + \frac{T}{A}$$

$$F_{B,Y} = \frac{G}{2} - \frac{T}{A} \quad (3)$$

Alustaan vaikuttavat voimat ovat moottorin jalkoihin vaikuttavien voimien vastavoimia, siis suunnaltaan vastakkaisia mutta suuruudeltaan samoja. /21/



**Kuva 7.** Sähkömoottorin jalkoihin vaikuttavat voimat. /21/

### 3.8 Moottorin käyttötavat

Standardissa IEC 60034-1 määritellään sähkökoneiden käyttötavat, jotka merkitään joko numeerisesti, graafisesti tai standardissa määriteltyjen nimelliskäyttötapojen tunnuksin S1-S10. Sähkökoneen käyttö voi olla jatkuvaa, lyhytaikaista tai jaksollista. Käyttötapoja määrittäessä huomioidaan sähkökoneen kuormitus, käyttöaika ja lämpötila sekä, onko koneen käyttö jatkuvaa, lyhytaikaista vai jaksollista. Seuraavaksi käydään lyhyesti käyttötavat. /15/

- S1 eli jatkuva käyttö. Sähkökone toimii vakiokuormituksella niin kauan kunnes se saavuttaa lämpötasapainon.
- S2 eli lyhytaikainen käyttö. Sähkökone toimii vakiokuormituksella lyhyen ajan ilman, että se saavuttaa loppulämpötilan. Sitä seuraa lepoaika, jolloin kone jäähtyy.
- S3 eli jaksollinen ajoittaiskäyttö. Samanlaisten käyttösykliä sarja, joista jokaiseen sisältyy käyttöaika vakiokuormituksella sekä lepoaika, jolloin kone jäähtyy. Loppulämpötilaa ei saavuteta eikä käynnistäminen vaikuta merkittävästi lämpötilan nousuun.
- S4 eli jaksollinen käynnistyskäyttö. Sarja samanlaisia käyttösyklejä, missä jokainen jakso sisältää käynnistysajan, käyttöajan vakiokuormituksella ja lepoajan.
- S5 eli jaksollinen käynnistyskäyttö sähköisellä jarrutuksella. Sarja samanlaisia käyttösyklejä, missä jokainen sykli koostuu käynnistyksestä, käyttöajasta vakiokuormituksella, sähköjarrutusajasta ja lepotilasta.
- S6 eli jatkuva ajoittaiskäyttö. Samanlaisten käyttösykliä sarja, missä jokainen sykli koostuu käyttöajasta vakiokuormituksella ja ilman kuormitusta. Lepoaikaa ei ole.
- S7 eli jatkuva käynnistyskäyttö sähköisellä jarrutuksella. Sarja samanlaisia käyttösyklejä, joissa jokaisessa syklissä on käynnistysaika, käyttöaika vakiokuormituksella sekä sähköjarrutusaika. Lepoaikaa ei ole.
- S8 eli jatkuva jaksollinen ajoituskäyttö. Samanlaisten käyttösykliä sarja, joissa jokainen sykli koostuu käyttöajasta vakiokuormituksella, joka vastaa

ennalta määrättyä pyörimisnopeutta. Sitä seuraa yksi tai useampi käyttöaika muilla vakiokuormituksilla, jotka vastaavat erilaisia pyörimisnopeuksia.

- S9 eli käyttö kuormituksen ja nopeuden vaihteluilla. Kuormitus ja nopeus vaihtelevat epäsäännöllisissä jaksoissa sallitulla käyttöalueella. Voi ylikuormittaa ja ylittää sallitun kuormituksen rajan.
- S10 eli käyttö vaihtelevalla vakiokuormituksilla ja nopeuksilla. Koostuu tietystä määrästä kuormituksia ja sopivia nopeuksia. Kuorma-nopeus-yhdistelmää pidetään yllä niin kauan, kunnes se saavuttaa lämpötasapainon. /15/

## 4 ALUMIININEN PIENJÄNNITTEMOOTTORI

### 4.1 Yleistä

Alumiiniset pienjännitteiset moottorit ovat täysin suljettuja, kolmivaiheisia oikosulkumoottoreita. Niitä on runkoko'oissa 56–280 ja niiden tehoalue on 0,06–375kW. Ne soveltuvat käytettäviksi kaikilla teollisuudenaloilla ja kaikissa soveluksissa. Alumiinimoottoreita on kahta vakiotyyppiä, joita ovat prosessimoottorit ja vakiomoottorit. /7/

### 4.2 Alumiininen prosessimoottori

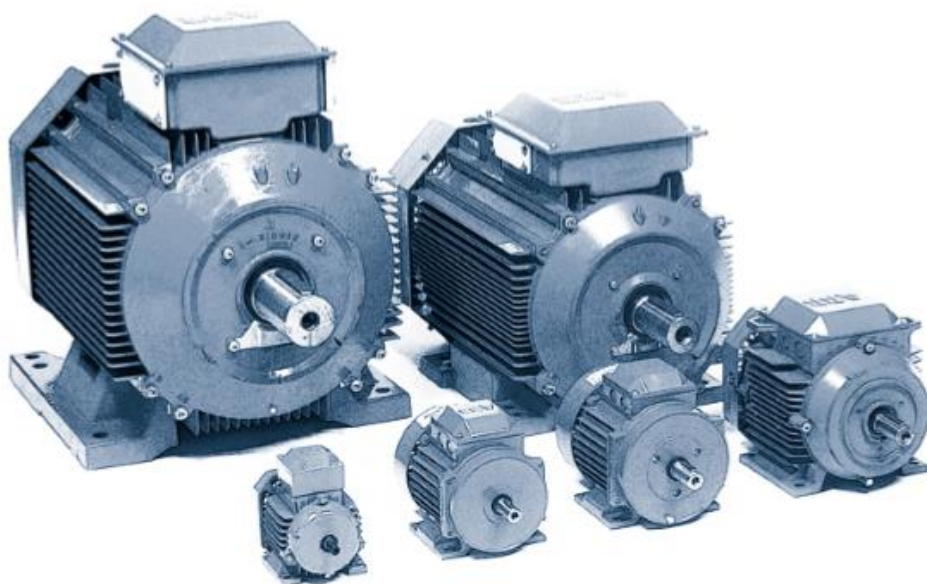
Alumiiniset prosessimoottorit (**kuva 8.**) ovat tarkoitettu vaativimpiin käyttöympäristöihin ja sovelluksiin ja ne ovat suunniteltu kestämään. Niillä on neljä keskeistä ominaisuutta: tehokkuus, luotettavuus, uusimpien teknisten ratkaisujen hyödyntäminen ja lähes rajattomat räätälöintimahdollisuudet. Alumiinirunkoisia prosessimoottoreita on saatavissa IE2- ja IE3-hyötysuhdeluokissa. IE2-hyötysuhdeluokan tehoalue on 0.12–90 kW ja IE3-hyötysuhdeluokan on 75–375 kW. /8,9/



**Kuva 8.** Alumiinirunkoisia prosessimoottoreita. /22/

### 4.3 Alumiininen vakimoottori

Alumiiniset vakimoottorit (**kuva 9.**) sopivat kaikkiin perussovelluksiin, joissa laitteiden pitää olla yksinkertaisia ja helposti saatavia. Ne ovat nopeasti saatava varastoituote ja niillä on yksinkertainen ja luja rakenne. Alumiinirunkoisia vakimoottoreita on saatavissa vain IE2-hyötysuhdeluokassa. Sen tehoalue on 0.06–55 kW. /7,10/



**Kuva 9.** Alumiinirunkoisia vakimoottoreita. /18/

### 4.4 Alumiininen jarrumoottori

Alumiinirunkoinen jarrumoottori on vakimoottori, joka on muunnettu jarrutus-käyttöön (**kuva 9.**). Kyseessä on kolmivaiheinen oikosulkumoottori, jonka mitat ja lähtöarvot ovat vakiot. Sähkömagneettisia levyjarruja ohjataan tasavirralla tai kolmivaiheisella vaihtovirralla, jota syötetään moottorin liitännäkotelossa olevan tasa-suuntaajan kautta. /17,18/

Sähkömagneettiset levyjarrut toimivat jousivoimalla. Levyjarrut vapautuvat, kun jarrulle syötetään jännite. Sen vuoksi moottori jarruttaa automaattisesti, jos tulee

jännitekatkos. Tämä takaa jarrumoottorin turvallisen toiminnan. Jarrulevyt kestävät korkeita lämpötiloja ja ne ovat myös erittäin kestäviä ja pitkäikäisiä. /18/



**Kuva 10.** Alumiinirunkoinen jarrumoottori. /17/

#### 4.5 Rakenne

Pienjännitemoottoreita on saatavilla joko valurauta- tai alumiinirunkoisina eri sovellusalueille. Valurautarunkoisia moottoreita käytetään normaalisti raskaan teollisuuden aloilla, joissa tarvitaan hyvää kestävyyttä korroosiota ja kemikaaleja vastaan. Alumiinirunkoiset moottorit soveltuvat paremmin kevyempiin sovelluksiin. /11/

Alumiinimoottoreissa runko on valmistettu alumiiniseoksesta, jossa on pieni kuparipitoisuus. Kokoluokissa 63–180 myös moottorin jalat on valmistettu alumiinista, kun taas kokoluokissa 200–280 ne on valmistettu valuraudasta. /12/

Laakerikilvet kokoluokissa 63–132 ovat alumiinia ja kokoluokissa 160–280 ne ovat valurautaa. Liitäntäkotelo, joka on yleensä moottorin päällä, on kokoluokissa 63–180 valmistettu alumiinista. Kokoluokissa 200–280 liitäntäkotelo sekä kansi on valmistettu syvävedetystä teräslevystä. /12/

## 5 TUTKIMUS

### 5.1 Suunnitelma ja tavoitteet

Työn tilaaja on estänyt sisällön julkaisun.

### 5.2 Toteutus

Mittaukset toteutettiin KK-tehtaalla. Valmiit alumiinimoottorit noudettiin AL3C-linjalta ja mittaukset suoritettiin mittahuoneessa. Mittavälineenä käytettiin Mitutoyon korkeusmittalaitetta (**kuva 11.**). Akselikorkeus mitataan siten, että korkeusmittalaitteen mittapää asetetaan moottorin D-pään akselin päälle ja siitä mitasta vähennetään akselin säde.



**Kuva 11.** Mitutoyon korkeusmittalaite.

### **5.3 Mittaustulokset**

Tässä luvussa käydään läpi jokaisen runkokoon mittaustulokset sekä niiden tarkastelu. Kokoluokista 90, 100 ja 132 mitattiin kymmenen moottorin akselikorkeus. Kokoluokasta 112 mitattiin akselikorkeus vain kahdesta moottorista aikataulullisista syistä. Mittapöytäkirjat ovat työn lopussa liitteinä.

#### **5.3.1 Runkokoko 90**

Työn tilaaja on estänyt sisällön julkaisun.

#### **5.3.2 Runkokoko 100**

Työn tilaaja on estänyt sisällön julkaisun.

#### **5.3.3 Runkokoko 112**

Työn tilaaja on estänyt sisällön julkaisun.

#### **5.3.4 Runkokoko 132**

Työn tilaaja on estänyt sisällön julkaisun.

### **5.4 Tulosten tarkastelu**

Työn tilaaja on estänyt sisällön julkaisun.

## **6 KEHITYSEHDOTUKSET**

Työn tilaaja on estänyt sisällön julkaisun.

## 7 YHTEENVETO

Opinnäytetyölle asetetut tavoitteet ja vaatimukset täyttyivät tiukasta aikataulusta huolimatta, lukuun ottamatta 112-runkokokojen mittauksia, joita sain mitattua vain kaksi kappaletta, vaikka tarkoituksena oli mitata niitä kymmenen muiden kokoluokkien tapaan. Mittauksiin varatulla ajankohdalla ei sillä hetkellä ollut tuotannossa kuin kaksi valmista 112-kokoluokan moottoria. Kuitenkin mittaukset saatiin suoritettua ongelmitta.

Mahdollisia kehitysehdotuksia tilanteen parantamiseksi saatiin kehitettyä. Runkojen saapuminen tuotantoon valmiiksi oikeilla mitoilla helpottaisivat tuotantoa ja sen avulla pystyttäisiin välttämään turhia moottoreiden korjauksia tuotannon yhteydessä. Kehitystehtävän avaamiselle ei välttämättä ole tarpeeksi perusteluja, vaan mahdollisista kehitysehdotuksista pitäisi keskustella toimittajien kanssa.

Laadun tarkkailu oli tuttua entuudestaan, mutta siltäkin saralta opin paljon uutta. Opinnäytetyön teoriaosaa tehdessä opin paljon myös moottoreista, sekä niiden kansainvälisistä standardeista ja miten tärkeää niitä on noudattaa, erityisesti IEC:n standardit liittyen asennusmittoihin ja -asentoihin.

Kaiken kaikkiaan opinnäytetyöni oli erittäin opettavainen ja haluan kiittää ABB:n Motors & Generators -yksikköä, mittahuoneen ja AL3C-linjan työntekijöitä, sekä erityisesti ohjaajiani saamastani tuesta, ohjauksesta ja avusta.

## LÄHTEET

- /1/ ABB. ABB:n historia. Viitattu 9.3.2020. <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/historia>
- /2/ ABB. ABB lyhyesti. Viitattu 9.3.2020. <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti>
- /3/ ABB. ABB Suomessa. Viitattu 11.3.2020. <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa>
- /4/ ABB. ABB Oy, Motors and Generators. Viitattu 11.3.2020. <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa/liiketoiminnat/motors-and-generators>
- /5/ Sähkövoimatekniikkaopus. Leena Korpinen. Viitattu 13.3.2020. [http://leenakorpinen.com/archive/svt\\_opus/10sahkokoneet\\_1osa.pdf](http://leenakorpinen.com/archive/svt_opus/10sahkokoneet_1osa.pdf)
- /6/ ABB. Pienjännitetuotteet. Pehmökäynnistinopas. Viitattu 13.3.2020.
- /7/ ABB. IEC-pienjännitemoottorit (alumiini). Viitattu 18.3.2020. <https://new.abb.com/motors-generators/fi/iec-pienjannitemoottorit/pienjannitemoottorit>
- /8/ ABB. IEC-pienjännitemoottorit. IE2-prosessimoottorit (alumiini). Viitattu 18.3.2020. [https://new.abb.com/motors-generators/fi/iec-pienjannitemoottorit/pienjannitemoottorit/ie2-prosessimoottorit-\(alumiini\)](https://new.abb.com/motors-generators/fi/iec-pienjannitemoottorit/pienjannitemoottorit/ie2-prosessimoottorit-(alumiini))
- /9/ ABB. IEC-pienjännitemoottorit. IE3-prosessimoottorit (alumiini). Viitattu 18.3.2020. [https://new.abb.com/motors-generators/fi/iec-pienjannitemoottorit/pienjannitemoottorit/ie3-prosessimoottorit-\(alumiini\)](https://new.abb.com/motors-generators/fi/iec-pienjannitemoottorit/pienjannitemoottorit/ie3-prosessimoottorit-(alumiini))
- /10/ ABB. IEC-pienjännitemoottorit. IE2-vakiomoottorit (alumiini). Viitattu 20.3.2020. [https://new.abb.com/motors-generators/fi/iec-pienjannitemoottorit/pienjannitemoottorit/ie2-vakiomoottorit-\(alumiini\)](https://new.abb.com/motors-generators/fi/iec-pienjannitemoottorit/pienjannitemoottorit/ie2-vakiomoottorit-(alumiini))
- /11/ ABB. Low voltage motors. Motor guide 2018. Viitattu 22.3.2020.
- /12/ ABB. Low voltage motors. Process performance motors. Catalog 2020. Viitattu 23.3.2020.
- /13/ ABB:n TTT-käsikirja 2000. Oulun ammattikorkeakoulun opetusmateriaali. Viitattu 27.3.2020. [http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/17\\_Moottorit%20ja%20generaattorit.pdf](http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/17_Moottorit%20ja%20generaattorit.pdf)
- /14/ Diplomityö. ABB Oy, Motors and Generators. Sähkömoottorin staattorin rungon rakenteen optimointi. Olli Peura. 2016. Viitattu 28.3.2020.
- /15/ IEC 60034-1. Rotating electrical machines - Part 1: Rating and performance. 2004. Viitattu 31.3.2020.

- /16/ ABB. Pienjännitemoottorien käyttöohje. 2016. Viitattu 1.4.2020.
- /17/ ABB. IEC low voltage motors. Motors for industries and applications. Brake motors. Viitattu 3.4.2020. <https://new.abb.com/motors-generators/iec-low-voltage-motors/industries-applications/brake-motors>
- /18/ ABB. DriveIT Pienjännitteiset vakimoottorit. 2004. Viitattu 3.4.2020.
- /19/ Toleranssit ja pinnankarheus. Seppo Kivioja. 1999. Viitattu 3.4.2020.
- /20/ METSTA. Malliperustaisen tuotemäärittelyn (MBD) mahdollisuudet. 2016 Viitattu 3.4.2020. [http://www.metsta.fi/ajankohtaista/Uutisia/MBD\\_Raportti\\_2016.pdf](http://www.metsta.fi/ajankohtaista/Uutisia/MBD_Raportti_2016.pdf)
- /21/ ABB. Mekaniikkalaskenta tilauskäsittelyssä. 2001. Viitattu 6.4.2020
- /22/ ABB. DriveIT Pienjännitteiset prosessimoottorit. 2003. Viitattu 6.4.2020.

**LIITEET 1-4. Työn tilaaja on estänyt liitteiden julkaisun.**