



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Henna Lehtiö

STAATTORIN LIITÄNTÄ LIITINALUS- TAAN

ABB Oy

Tekniikka
2018

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Henna Lehtiö
Opinnäytetyön nimi	Staattorin kytkentä liitinalustaan
Vuosi	2018
Kieli	suomi
Sivumäärä	30 + 3 liitettä
Ohjaaja	Osku Hirvonen

Työssä tarkastellaan ABB Oy:n moottorit ja generaattorit -yksikön sähkömoottoreiden kytkentää, ja annetaan kehitysehdotuksia sähköjohtojen liitosten optimoimiseen.

Työ on tehty, koska kannattavuutta halutaan parantaa. Liitännän osien kokoonpano on työläin työvaihe sähkömoottorin kokoonpanolinjalla. Tuotekehitystyötä varten on tutustuttu tehtaalla vallitsevaan käytäntöön kytkennässä, sekä etsitty kehitysehdotuksia muilta teollisuuden aloilta tietokirjallisista lähteistä.

Voidaan havaita, että haasteita liitöntäkokoonpanoon liittyen on useita, ja haasteet vaihtelevat jonkin verran moottorityypittäin sekä kokoluokittain. Tekemällä kehittämistoimenpiteitä usealla tavalla voidaan lyhentää moottorien kokoonpanoon käytettyä työaikaa ja samalla saavuttaa taloudellista hyötyä.

Työ on tehty ABB Oy:n moottorit ja generaattorit -tuotekehitysosastolle keväällä 2018.

ABSTRACT

Author	Henna Lehtiö
Title	Connection of Stator to Terminal Board
Year	2018
Language	Finnish
Pages	30 + 3 Appendices
Name of Supervisor	Osku Hirvonen

This thesis presents the assembly methods of terminal parts in squirrel cage motors in ABB Ltd Motors and Generators unit and improvement suggestions of optimization are also given.

The product development work was done to raise the product profitability. The assembly of the terminal parts takes currently most time in the motor assembly. A factory visit was done in the beginning of the task and ideas were also searched from other industries and from literature.

It can be noticed that the challenges in the terminal assembly vary depending on the motor size and type. If all these challenges are addressed in various ways, the assembly time of a motor will be shorter, and savings will be achieved.

The thesis was done to the research and development department of ABB Ltd Motors and Generators unit in Vaasa in spring 2018.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	9
2	TYÖN TAUSTA JA TAVOITTEET	10
3	TUTKIMUSAINEISTOT JA MENETELMÄT.....	12
4	ABB-YHTYMÄ	13
	4.1 Yrityshistoria.....	13
	4.2 ABB Motors and Generators	13
5	SÄHKÖMOOTTORIT	15
	5.1 Vaihtosähkömoottorit	15
	5.2 Kolmivaiheiset oikosulkumoottorit	15
	5.3 Liitäntäkotelo	16
	5.4 ABB Oy:n valmistamat matalajännitteiset moottorit.....	17
	5.5 Matalajännitteisiä sähkömoottoreita koskevat standardit	17
6	SÄHKÖISET LIITOKSET JA JOHDINMATERIAALIT	20
7	LIITÄNTÄKOKOONPANON HAASTEET.....	22
8	TYÖVAIHEEN KEHITTÄMSRATKAISUT	26
	8.1 Robotisaatio	26
	8.2 Liitäntäaukon tulpat	26
	8.3 Moniajoinen hydrauliprässi	27
	8.4 Standardointi	28
	8.5 Työohjeiden kattavuus	28
	8.6 Valmiiksi ampatut johtimet.....	28
	8.7 Rasia- ja pikaliittimet.....	29
	8.8 Johtimien läpivientiin käytetty apuväline	29
	8.9 Sisältöä poistettu salassa pidettävän tiedon johdosta.....	30
	8.10 Vaihevastusten mittaaminen esityövaiheessa	30
	8.11 Johdinlaadut	30
	8.12 Päätelmä.....	30
9	YHTEENVETO	33

LÄHTEET..... 34

LIIKTEET

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Kolmivaiheinen oikosulkumoottori.	16
Kuva 2. Runkokorkeus 80 mm.	24
Kuva 3. Moottorin runkokorkeus 160 mm.	25
Taulukko 1. IP-luokat.	18
Taulukko 2. IE-luokitus.	19
Taulukko 3. Tulokset.	32

LIITELUETTELO

LIITE 1. EU Declaration of Conformity. ABB Oy.

KÄYTETYT LYHENTEET JA ILMAISUT

ABB = Asea Brown Boveri

Ampaaminen = kaapelikengän puristus

IP = International Protection

V = voltti

kW = kilowatti

IEC = International Energytechnical Commission

1 JOHDANTO

Tässä tuotekehitystyössä käsitellään ABB Oy:n Motors and Generators -yksikön sähkömoottorien staattoreiden kytkemistä liitäntäalustaan sekä esitellään vaihtoehtoja kokoonpanon nopeuttamiseksi.

Hyvän tietoperustan työn tekemiselle toi Vaasan ammattikorkeakoulun kone- ja tuotantotekniikan ohjelman puitteissa suoritettujen opintojen lisäksi kattava työkokemus harjoittelijana tuotekehitysprojekteissa ABB Oy:n Motors and Generators -yksikön tuotekehitysosastolla. Työn aihe perustuu työn tilaajan todelliseen tarpeeseen saada liitäntä nopeammaksi, ja tämä teki työn tekemisestä aidosti mielenkiintoista. Työn tarkoituksena oli tuoda ilmi mahdollisimman valmiita ideoita, joista toimeksiantajan on hyvä tehdä jatkokehitystoimenpiteitä työvaiheen optimointia varten. Työ kehitti hyvin tekijän ammattitaitoa tuotekehitykseen ja mekaniikka-suunnitteluun liittyen, sillä aihe oli sopivan haastava.

Tuotekehitystyö tehtiin keväällä 2018. Tehtävä aloitettiin vierailemalla yrityksen moottoritehtaalla. Kehitysehdotukset työvaiheen nopeuttamista varten on etsitty kirjallisuudesta, muilta teollisuuden aloilta sekä yrityksen työntekijöiden ideoiden pohjalta. Tämän jälkeen selvitettiin, mitä kunkin idean käyttöönotto vaatisi sähkömoottorien kokoonpanoprosessissa.

2 TYÖN TAUSTA JA TAVOITTEET

Työssä keskitytään pääasiallisesti ABB Oy:n Motors and Generatorsin Vaasan yksikön pienmoottoritehtaalla valmistettavien moottoreiden liitännän kehittämiseen. Lähtökohtana oli saada nopeutettua pienien moottoreiden kokoonpanoa etsimällä kehitysehdotuksia liitännän työvaiheeseen. Työ rajattiin siten, että perehdyttiin lähinnä toimeksiantajan valmistamiin prosessimoottoreihin.

ABB:n sähkömoottorit lajitellaan runkokoon mukaan. Runkokoolla tarkoitetaan moottorin korkeusmittaa jalallisen moottorin jalan pohjasta akselin keskikohtaan. Pienessä sähkömoottorissa, joka on runkokooltaan maksimissaan 280 mm, staattorista tuodaan johtimet ylös liitântäkoteloon staattorirungossa olevan reiän kautta. Tämän jälkeen ampatut johtimet kytketään liitântäalustassa olevaan liitântäsuojan runkoon ruuvien ja mutterin avulla.

Isommissa moottoreissa työvaihe etenee alaspäin liitântäkotelosta staattoria kohti. Tällöin liitântäsuojan runkoon on kytketty kutistemuoviletkut alihankkijan toimesta. Kutistemuoviletkut tuodaan staattorissa olevasta reiästä läpi staattorin ja rungon väliin, jossa ne yhdistetään johtimiin, ja liitoksen päälle laitetaan kutistesukka, joka kutistuu sitä lämmitettäessä. Tämän jälkeen liitântäsuojan runko kiinnitetään alustaan ruuviliitoksella. Työvaihe tehdään molemmissa tapauksissa sähköasentajan toimesta käsin.

Moottoritoimituksen jälkeen asiakas kiinnittää omat johtimet liitântäkoteloon liitântäsuojan rungossa oleviin ruuveihin, josta syötetään sähköenergia staattorille moottorin käymistä varten.

Työn lähtötilanteena ja ongelmana oli nykyisin käytössä olevien kokoonpanoperiaatteiden hitaus. Liitântäkokoonpanon tekemisen hitauden myötä työntekijällä voi mennä noin viisi minuuttia yhden liitântäkokoonpanon tekemiseen. Tavoitteena oli löytää työn myötä ratkaisuja, millä liitântäkokoonpanoon käytettyä aikaa saadaan ensisijaisesti lyhyemmäksi, ja tätä kautta myös moottoreiden valmistusaika lyhenee ja toimitusvarmuus paranemaan. /14, 15/

Moottoreiden toimintaympäristöt vaihtelevat moottorikohtaisesti, jolloin moottorin on kestävä vaihtelevia olosuhteita. Moottorit on jaoteltu suojausluokituksittain, jolloin eri moottoreiden toimintaympäristöt vaihtelevat tuotekohtaisesti. Myös yksittäiset moottorit omaavat erilaisia toimintaympäristöjä esimerkiksi lämpötilan, ilmankosteuden ja ilmansaastemäärien suhteen. Tämän vuoksi syntyy eroavaisuuksissa liitännäkotelolle asetetuissa vaatimuksissa. Moottorin johtimien on kestävä moottorille luvattun elinkaaren ajan sen kaikissa käyttöympäristöissään. /8/.

3 TUTKIMUSAINEISTOT JA MENETELMÄT

Tutkimusaineistona käytettiin alan kirjallisuutta sekä haastatteluja. Jo aloituspalaverissa kävi ilmi, että liitântäkokoonpanoon liittyen kehitysideoita on olemassa yrityksessä. Toimenpiteitä ei toistaiseksi asiaan liittyen ole päädytty toteuttamaan. Työ alkoi yhteydenotolla henkilöön, jolla voisi olla ideoita arkistoituna aiheeseen liittyen. Tämä ei kuitenkaan tuottanut tulosta ja yhteydenottoa työn tekijälle delegoitiin eteenpäin. Tämän jälkeen päädyttiin ottamaan yhteyttä tehtaan työnjohtajiin, mikäli heillä on jotain ideoita aiheeseen liittyen. Tämä ei kuitenkaan tuottanut tulosta työtä tehdessä. Samalla oli etsitty ideoita sähköliitoksiin liittyen muun muassa auto- ja lentokoneteollisuudesta Internetistä.

Työn teoriataustan rakentamista varten on perehdytty yrityksessä ja tuotekehitysosastolla saatavilla olevaan kirjamateriaaliin, jota löytyi monipuolisesti. Myös aiempi tietämys sähkötekniikasta ja sähkömoottoreista oli eduksi erityisesti teoriataustaa rakentaessa.

Teoriataustan kirjoittamisprosessin ollessa lähes valmis todettiin, että parhaiten olemassa olevat ongelmat tuntevat parhaiten liitântäkokoonpanon kanssa päivittäin työskentelevät henkilöt. Selvitettiin työntekijöiden kokemuksia aiheeseen liittyen, ja keskusteltiin neljän eri työntekijän kanssa. Samalla päästiin tutustumaan työvaiheeseen työtä seuraamalla. Työntekijöitä pyydettiin kertomaan, mitkä ovat niitä asioita kokoonpanovaiheessa, jotka aiheuttavat eniten päänvaivaa. Työntekijöiden kanssa keskusteltiin senhetkisistä ideoista liitântäkokoonpanoon liittyen.

Tehdasvierailun jälkeen käytiin keskustelua toimihenkilöiden kanssa. Kävi ilmi, että myös tuotekehitysosastolla oli kokemusta staattorin liitännästä liitinalustaan, liitännän entisen kesätyöntekijän näkökulmasta. Lisäksi keskusteltiin, minkälaisia suunnitteluun liittyviä haasteita on kohdattu asian tiimoilta.

Tutkimusaineisto oli kokonaisuudessaan monipuolinen, sillä kokemuksiin perustuvaa aineistoa saatiin monenlaisilta tahoilta. Lopputyö sai laajamittaista huomiota organisaatiossa, ja moni liitännän kanssa tavalla tai toisella tekemisissä ollut halusi kertoa oman näkemyksensä ja kokemuksensa asiasta.

4 ABB-YHTYMÄ

4.1 Yrityshistoria

ABB Oy on ABB-yhtymän suomalainen tytäryhtiö. Osakeyhtiö Asea Brown Boveri on globaali energiateollisuuden toimija. ABB:n asiakastarjontaan kuuluvat muun muassa moottorit, generaattorit, taajuusmuuttajat, robotit ja sähköverkkoratkaisut. Yrityksen pääkonttori sijaitsee Sveitsissä, Zürichissä. Yritys työllistää noin 135 000 henkilöä yhteensä yli sadassa eri maassa, ja Suomessa se on yksi suurimpia työnantajia. /3/.

Vuonna 1889 Gottfrid Strömberg avasi sähköliikkeen Helsingissä, josta kasvoi osakeyhtiö ABB Oy. Yhtiön ensimmäinen sähkömoottori tuotiin markkinoille 1940-luvulla. Vaasan ABB Motors & Generators -toiminnan syntyjuuret ovat 1940-luvun lopulla, kun helsinkiläinen sähköliike Strömberg Oy aloitti toimintansa Vaasassa yhtiön ostettua huutoniemeltä 70 hehtaaria tehdasaluetta. Yhtiö osallistui myös Suomen sotakorvauksiin jatkosodan jälkeen. Nykyisin moottorien lisäksi Vaasan toiminta keskittyy muun muassa voimalaitoksiin, kytkintuotteisiin sekä erikoismuuntajiin. /3/.

1980-luvulla yhtiö myytiin Asea-nimiselle ruotsalaiselle yritykselle, joka valmisti muun muassa höyryvetureita ja -turbiineita sekä voimalaitoksia. ABB-yhtymä syntyi vuonna 1988 yritysfuusion myötä, kun Asea ja sveitsiläinen sähkötekniikan yritys, Brown Boveri, yhdistyivät. /3/.

Vuonna 2017 ABB Oy:n liikevaihto oli yli 2.2 miljardia euroa. Liikevaihto kasvoi puolitoista prosenttiyksikköä edelliseen vuoteen verrattuna. /3/.

4.2 ABB Motors and Generators

ABB:n liiketoimintayksikkö Motors and Generators on osa Robotics and Motion divisioonaa, joka tarjoaa suuren valikoiman tuotteita ja palveluita. Yhtymän sähkömoottorit suunnitellaan ja valmistetaan Motors and Generators -yksikön toimesta. /8/. Vuonna 2017 yksikkö työllisti maailmanlaajuisesti noin 14 000 henkilöä

yhdessätoista eri maassa, ja Suomessa 1520 henkilöä, joista 520 työskenteli Vaasassa. /3/.

Suomen ABB:n Motors & Generators -yksikkö panostaa energiatehokkaiden generaattoreiden sekä sähkömoottorien tutkimukseen ja tuotekehitykseen, ja toimittaa moottoreita maailmanlaajuisesti. Tehtaat sijaitsevat Vaasassa ja Helsingissä. Vaasan Motors & Generators -tehtaalla on maailmanlaajuinen vastuu yhtiön pienjännitemoottorien tuotekehityksestä ja valmistuksesta. Helsingin tehtaalla Pitäjänmäellä valmistetaan ja kehitetään muun muassa korkeajännitemoottoreita, dieselgeneraattoreita ja kestopagneettimoottoreita. /3/. Liiketoimintayksikössä valmistetaan moottoreita räjähdysvaarallisiin ympäristöihin (ATEX direktiivi 94/9/EC), yleis- ja prosessimoottoreita sekä taajuusmuuttajakäyttöisiä moottoreita. /8/.

5 SÄHKÖMOOTTORIT

Teollisuus käyttää 40 prosenttia maapallolla käytetystä energiasta. Teollisuuden käyttämästä energiasta kaksi kolmasosaa kuluu sähkömoottorien pyörittämiseen. Koko maailman energiasta sähkömoottorit kuluttavat 28 prosenttiyksikköä. /3/

Sähkömoottorit ovat generaattorien tavoin pyöriviä sähkökoneita. Generaattorissa mekaaninen energia muutetaan sähköenergiaksi. Sähkömoottorilla tarkoitetaan laitetta, joka muuntaa sähköenergian mekaaniseksi energiaksi. Toiminta perustuu magneettikentässä olevan virrallisen johdinsilmukan ja magneettikentän väliseen voimavaikutukseen. Kelalle käärittyjä johtimia eli käämejä ja roottorissa olevia magneetteja säätämällä, eli napaisuuden vaihtelulla luodaan mekaaninen liike. /5, 9/.

5.1 Vaihtosähkömoottorit

Vaihtosähkömoottorissa saadaan vaihtosähköä käyttämällä sähkökenttä pyörimään, jolloin roottorin magneetit seuraavat sähkökenttää. Vaihtosähkön hyvien ominaisuuksien vuoksi, kuten sen helppo saatavuus, vaihtosähköllä toimivia sähkökoneita käytetään useammin kuin tasasähköllä toimivia. Siksi myös vaihtosähköllä toimivat moottorit ovat yleisimpiä sähkömoottoreita. /5/.

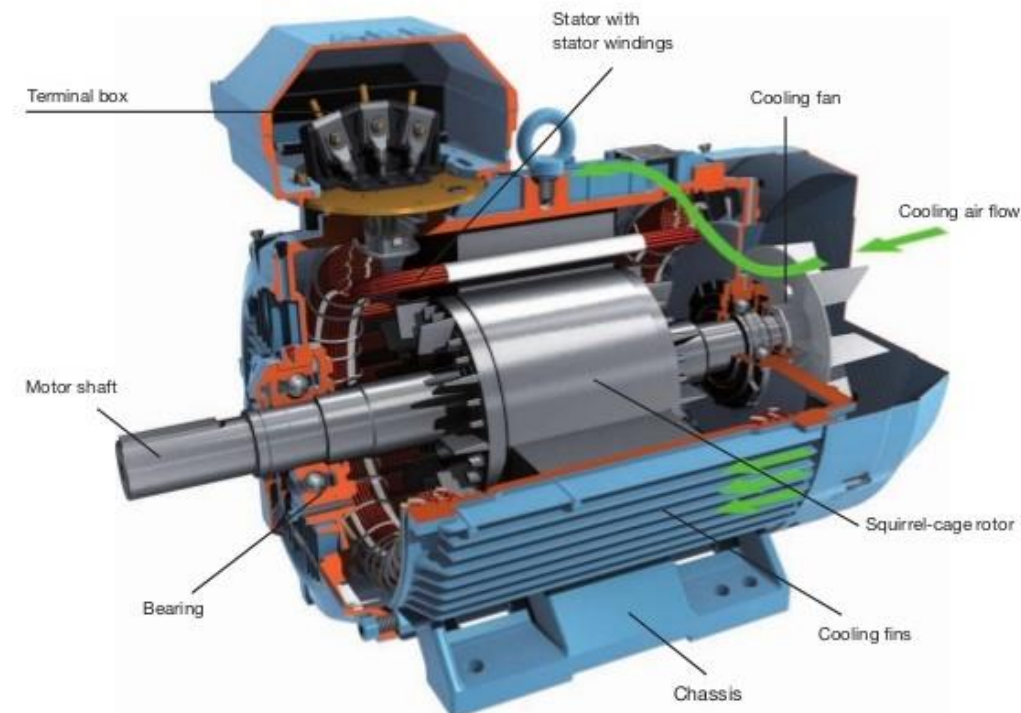
5.2 Kolmivaiheiset oikosulkumoottorit

Oikosulkumoottorit ovat epätähtikoneita (Kuva 1). Oikosulkumoottorin toiminnan edellytyksenä on roottoriin kehitetty pyörivä magneettikenttä. Magneettikenttä kehitetty oikosulkumoottoreissa staattorin symmetrisen kolmivaihekäämityksen ja siinä kulkevan symmetrisen vaihtovirran avulla. Koneen toiminnalle tärkeimmät rakenteet ovat koneen aktiivisosat, eli staattorin ja roottorin käämitys levypaketteineen. Muut osat ovat passiiviosia. Yksinkertaisimmillaan vaihtosähkökoneessa on jokaista vaihdetta kohden kaksi uraa. Vaihekäämin muodostaa vyyhti, jonka sivu on yhdessä urassa. /5/.

Moottorille tuodaan virta yhdistämällä tähti- tai kolmiokytkentään vaihekäämien loppupäät. Liittämällä vaihekäämien loppupäät kolmivaihejohtoon käämityksen

läpi kulkee kolmivaihevirta. Vaihejärjestystä kääntämällä, eli vaihtamalla kahden johtimen paikkaa keskenään, voidaan säätää moottorin pyörimissuunta. Käämit yhdistetään moottorin liitännäkoteloon staattorin rungosta tulevan reiän kautta. /5/.

Moottori käynnistetään tuomalla tarvittava virta staattorille, jolloin roottoriin kehitetty magneettikenttä alkaa pyöriä. Roottori seuraa tätä magneettikenttää, josta seurauksena syntyy pyörimisliike.



Kuva 1. Kolmivaiheinen oikosulkumoottori.

5.3 Liitännäkotelo

Oikosulkumoottorin kytkentä tehdään liitännäkoteloon. Liitännäkotelon tehtävänä on luoda moottorille suojaus estämään moottoria vaurioittavien tekijöiden pääsy moottoriin IP-luokituksen täyttämiseksi. ABB Oy:n nykyisiä tuotteita suunniteltaessa ajatellaan, että liitännäkotelon on oltava riittävän iso, jotta sinne mahtutaan asentamaan tarvittavat kaapelit nopeasti. /13/.

5.4 ABB Oy:n valmistamat matalajännitteiset moottorit

ABB Oy:n moottorit ovat kolmivaiheisia oikosulkumoottoreita, jotka täyttävät kansainväliset CEN/IEC, IEC- ja EN-standardit. Tehokkaat sähkömoottorit auttavat vähentämään energiakustannuksia ja rajoittamaan hiilidioksidipäästöjä. Yrityksen matalajännitteisissä moottoreissa jännite on maksimissaan 1000 V. /8/.

Moottorit jaotellaan räjähdysvaarallisten tilojen moottoreihin, taajuusmuuttajakäyttöisiin moottoreihin, standarditason oikosulkumoottoreihin sekä erikoissovellutuksen moottoreihin, joista ne voidaan edelleen jaotella käyttötarkoituksesta riippuen pienempiin ryhmiin. /8/.

Yhtiölle on tärkeää, että moottorien käyttö on edullista, korostaa taloudellisia hyötyjä energiatehokkuudessa. Korkea hyötysuhde takaa säästön moottorin käyttäjän energiakustannuksissa. Moottorin edullinen ostohinta ei tarkoita, että moottorin käyttökustannukset olisivat matalat. Moottorin elämänsykliin kuuluvat kustannukset kattavat moottorin ostohinnan lisäksi asennushinnan ja käytön, huollon ja hävittämisen kustannukset. Nämä kustannukset on myös syytä huomioida jo käytössä olevien tuotteiden kohdalla. Käytössä olevissa tuotteissa on useammin hyötysuhteessa kehittämisen varaa kuin vasta-asennetuissa tuotteissa. Elinkaari- ja huollon kustannusten ollessa matalat, tuotteiden takaisinmaksuajat voivat olla todella lyhyitä. /8/.

Tuotteiden suunnittelussa tärkeää on muun muassa painon minimointi materiaalmäärää vähentämällä ja käytettävien materiaalien mahdollisimman alhainen määrä. Käytettäviä osia tuotteen kokoonpanossa tulee olla mahdollisimman vähän, ja osien kokojen tulee olla mahdollisimman pieniä. Kierrätysmateriaaleja tai neitsytmateriaalin ja kierrätysmateriaalin seoksia tulee käyttää, jos se on mahdollista. Neitsytmateriaaleja käytettäessä tulee käyttää sellaisia materiaaleja, jotka ovat kierrätyskelpoisia. On suositettava materiaaleja, joiden palautus ja kierrätysjärjestelmät on julkaistu, kuten terästä, alumiinia ja sekoittamattomia lämpömuoveja. /8/.

5.5 Matalajännitteisiä sähkömoottoreita koskevat standardit

ABB Oy sitoutuu tuotteissaan noudattamaan niille asetettuja standardeja kussakin toimituksessa alueen vaatimalla tavalla. (ks. Liite 1). Standardit liittyvät muun

muassa ympäristöön ja tiettyjen materiaalien käyttöön valmistuksessa. IEC-standardit määrittelevät muun muassa moottoreiden koko- ja hyötysuhdeluokitukset matalajännitteisissä sähkömoottoreissa. /8/.

IP-luokitus on suojausluokitusstandardi, jossa ensimmäinen numero määrittää suojauksen tason vierasesineiltä ja pölyltä, toinen numero vedeltä ja kosteudelta. (Taulukko 1) Suojaustaso voidaan tarkastaa vakioiduissa testeissä. Suojaus vierasesineiltä ja pölyltä jaotellaan esineen halkaisijan perusteella. Kaksi suojatuimmista luokituksista ensimmäisen numeron suhteen käsittää suojauksen pölyltä. Vedeltä suojaus luokitellaan veden määrän ja veden tulokulman perusteella. Korkeimmassa suojausluokituksessa vedeltä, laite kestää jatkuvan upotuksen veteen. Tällöin laitteen sisälle saattaa päästä vettä, mutta sillä ei ole haitallisia vaikutuksia laitteen toiminnan kannalta. /12/. Tarkemmat speksit on eritelty oheisessa taulukossa. Moottorien IP-luokitus vaihtelee moottorityypeittäin. /8/.

1. numero	2. numero
0 Suojaamaton	Suojaamaton
1 $\geq\varnothing 50$ mm	Pystysuoraan tippuva vesi
2 $\geq\varnothing 12,5$ mm	$\pm 15^\circ$ tippuva vesi
3 $\geq\varnothing 2,5$ mm	$\pm 60^\circ$ satava vesi
4 $\geq\varnothing 1,0$ mm	Roiskuva vesi
5 Pölysuojattu	Vesisuihku, joka suunnasta
6 Pölytiivis	Voimakas vesisuihku
7 N/A	Lyhytaikainen upotus
8 N/A	Jatkuva upotus

Vierasesineet ja pöly

Vesisuojaus

Taulukko 1. IP-luokat.

IEC on määrittänyt standardit energiatehokkaille sähkömoottoreille. Standardi IEC 60034-2-1 määrittelee säännöt liittyen hyötysuhteen mittaussuunnitteluun ja IEC 60034-30-1 on laajennus tähän, joka esittelee IE4-luokan. Matalin hyötysuhdearvo

ja IE-luokitus kerrotaan moottorin arvokilvessä. (Taulukko 2) Oheisessa taulukossa esitellään esimerkkinä 0,12 kW matalajännitteisen nelinapaisen sähkömoottorin, 50 Hz, hyötysuhteet luokittain. Edellytetty hyötysuhde kasvaa, kun moottorin tehoa lisätään. 37 kW kohdalla jokaisen hyötysuhdeluokan moottorin hyötysuhde on 90:n prosentoin yläpuolella. Eksponenttikäyrän omaisen hyötysuhdeprosentin maksimi saavutetaan, kun sähkömoottorin teho on noin 200 kW. /8/.

Efficiency	IE Class	Efficiency(%)
Standard efficiency	IE1	50
High efficiency	IE2	59
Premium efficiency	IE3	65
Super premium efficiency	IE4	69

Taulukko 2. IE-luokitus.

Kestävän kehityksen takaamiseksi ABB edellyttää kaikilta tuotanto- ja huoltolaitoksiltaan standardin ISO 14001 mukaista ympäristönhallintajärjestelmää. Ympäristölle haitallisten aineiden täysi kontrolli yhtiön tuotteissa ja prosesseissa on välttämätöntä liiketoiminnalle. ABB neuvoo myös toimittajiaan sopeutumaan ympäristönhallintajärjestelmiin.

Muita standardoituja ominaisuuksia tuotteissa ovat muun muassa lämpösuojaus, lämpömerkinnät, tasapainottamattomien jännitteiden vaikutukset suorituskykyyn, moottorin jännite, jäähdytysmenetelmät ja sallittu meluaste ja värinä. Lisäksi räjähdysalttiiden ympäristöjen moottoreita koskevat käytännön vaatimuksia, sähköasennuksien suunnittelua, huoltoa ja korjausta käsittelevät standardit ja joukko suojaukseen liittyviä standardeja. /8/.

6 SÄHKÖISET LIITOKSET JA JOHDINMATERIAALIT

Sähköisellä liitoksella tarkoitetaan kahden pinnan liittämistä yhteen niin, että ne ovat kosketuksissa toistensa kanssa. Johtimen ollessa kytkettynä käynnistettyyn virtalähteeseen, virta liikkuu johtimesta toiseen liitoskohdan lävitse. /6/.

Mikrotasolla jokaisen kappaleen pinta on karhea. Pinnankarheus koostuu terävistä ja kuopanomaisista piirteistä, joiden korkeuserot, keskijakauma ja muut geometriset piirteet ovat riippuvaisia pinnalle tehdyistä toimenpiteistä. Liitos kahden pinnan välillä on näin ollen pinnassa esiintyvien mikroskooppisten kohoumien välinen. Yleisesti ottaen liitoksesta tulee sähköä johtava, kun kahden metallin välillä syntyy tällaisia pisteitä, jotka ovat kosketuksissa toisiinsa. Tyypillisesti sähköä johtuu kuitenkin pienemmällä alueella verrattuna johtimien kosketuspintojen väliseen todelliseen kokonaispinta-alaan, jolla johtimet ovat toisiaan vasten mekaanisesti kytköksissä. /6/.

Suljetun sähköliitoksen on suoritettava tehtävänsä kuljettaa sähkövirta luotettavista ilman muutosta liitoksen resistanssiin käyttöikänsä aikana, kaikissa käyttöympäristöissään. Ympäristötekijöitä, jotka on otettava huomioon liitoksen suunnittelussa ovat esimerkiksi ilmansaasteet, jotka voivat saada liitokset hapettumaan tai korroosioitumaan. Sähköliitoksia omaavien laitteita käytetään monissa ympäristöissä, joissa ne altistuvat tekijöille, jotka voivat lyhentää merkittävästi sähköliitoksen ja laitteen käyttöikää. Tällaisia ovat muun muassa suuret polttomoottorien pakokaasujen saastuttamat kaupungit. Sähkölaitteiden käyttö ulkotiloissa on ympäristötekijä, joka aiheuttaa korroosiota. /6/.

Sähkökemiallinen korrosio voidaan lajitella eri alalajeihin, joiden päätyypit ovat tasainen syöpyminen, galvaaninen korrosio, paikallinen syöpyminen, eroosikorrosio ja korroosioväsyminen. Tasaisessa syöpymisessä metallipinnalla on paikallisia jalousaste-eroja, ja korroosion eteneminen on tasaista. /20/

Galvaanisessa korroosiossa edellytys on korroosiosysteemin pysyvä jalousaste-ero. Tällöin syöpyminen on alueellista. Aiheuttajia ovat koostumuserot, jännitys- ja muodonmuutostilaerot, lämpötilaerot ja elektrolyytin konsentraatioerot. /20/

Paikallista syöpymistä syntyy esimerkiksi vetojännityksen, kosketuspintojen epätaisuus ja elektrolyytissä esiintyvien kloori-ionien myötä. Eroosikorroosiota voi syntyä metallin pinnassa, kun passivaatiokerros rikkoutuu pintaan kohdistuvan mekaanisen rasituksen myötä. Korroosioväsymistä syntyy, kun jännitys vaihtelee. /20/

Johdinmateriaalin valinnassa huomioitavia asioita ovat sen muun muassa sen korroosionkesto ja sähkönjohtavuus. Materiaalin puhtaus puolestaan vaikuttaa sähkönjohtavuuteen. /19/. Johtimissa käytetään useimmiten kuparia tai alumiinia. Kuparilla on matalampi ominaisvastus ja tilavuuden lämpötilakerroin, mutta se on kalliimpaa. Käytettävän kuparin sähkönjohtavuus paranee, kun kupari on mahdollisimman puhdasta kuparilaatua. Käytettäessä kuparia on otettava huomioon sen alttius eroosikorroosioon. Käytettävän eristemateriaalin ominaisuudet on oltava tietyiltä osin johdinmateriaalin kanssa samankaltaisia korroosion estämiseksi. /20/

Oikeanlaisella johdinmateriaalin ja pinnoitteen valinnalla voidaan vaikuttaa merkittävästi myös asennusnopeuteen. Mikäli johtimet pitää saada mahtumaan läpi pienestä tilasta, kuten läpivientiaukosta, johtimen ei kannata olla liian jäykkä. Jäykkä johdin vaatii myös kovempaa vetämistä, mikä voi vaurioittaa johdinta. /15/

7 LIITÄNTÄKOKOONPANON HAASTEET

Työtä tehdessä liitântäkokoontpanossa ilmeni uusia, jo olemassa olleita, haasteita, jotka eivät olleet aiemmin käyneet ilmi. Työ rakentuikin pitkälti näiden haasteiden hahmottamisesta ja niiden ratkaisemisesta. Hahmottamalla liitântäkokoontpanoon liittyvät haasteet ja ratkaisemalla ne saavutetaan nopeampi moottorin kokoontpano-aika.

Kokoontpanotyöntekijän näkökulmasta haasteellista on erilaisten osien vaihtelu moottorikohtaisesti. Osia saattaa työpisteellä olla todella paljon. Samaa käyttötarkoitukseen tarkoitettut osat, kuten liitinsuojuksen runko ja liitântäaukon peittävä tulppa, vaihtelevat moottorikohtaisesti.

Johdinvärikoodeja on kaksi. Ensimmäisessä tapauksessa johdinvärit ovat, sininen, vihreä, musta, oranssi, keltainen ja punainen. Tällöin ne kytketään värin osoittamaan paikkaan. Toisessa tapauksessa kaikki johtimet ovat mustia, ja niihin on kiinnitetty tarra, joka kertoo johtimen kytkemiskaikan.

Osa moottoreista tulee tehtaalle niin, että johtimet ovat valmiiksi amputtu. Usein kuitenkin johtimet ovat väärän pituisia, jolloin niitä joudutaan lyhentämään, ja tämän jälkeen amppaamaan uudelleen. Tällöin myös mahdollinen tarra joudutaan kiinnittämään uudelleen johtimeen. Usein moottorien johtimet ovat kuitenkin amppaamattomia, jolloin ne amputaan kokoontpanolinjalla.

Joskus moottorin johtimia on hankala saada läpi liitântäaukosta, ja moottori on nostettava lattialle, jotta johtimien vetämiseen saadaan lisää voimaa. Kuitenkin johtimien vetämisessä on käytävä myös varovaisuutta, ettei johtimet tai niiden pinnoitteet vaurioitu.

Jokaisen moottorin kokoamista varten on olemassa työohje. Joskus kuitenkin työohje on ristiriidassa siihen, miten asiat todella on mahdollista tehdä. Tämä on haasteellista etenkin uusien työntekijöiden kohdalla, jotka aloittavat esimerkiksi kesätyöissä. ABB Oy, Motors and Generators Vaasan yksikkö työllisti vuonna 2017 100

kesätyöntekijää. Luku vaihtelee jonkin verran vuosittain. Yleensä suurin osa kesätyöntekijöistä työskentelee erilaisissa tuotannon tehtävissä.

Tuotannon kehitystehtävissä työskentelevä toimihenkilö nosti myös esiin, että käytettävien johtimien värit eivät saisi vaihdella moottorikohtaisesti. Vaihtelun syynä on se, että moottorit, joita tehtaalla valmistetaan, ovat peräisin neljästä eri maasta, ja ne on tehty tehtaalla pitkälti samalla tavalla, miten ne on alun perin suunniteltu tehtävän. Liitinsuojuksen rungon kokoonpanorakenteet prosessimoottoreissa on kuvattu tarkemmin kuvissa 1 ja 2.

Tehdasvierailun yhteydessä huomattiin myös, että aikaa kuluu huomattavan paljon liitäntäosan päälle laitettavien kuuden mutterin asetteluun. Varsinkin pienissä moottoreissa nämä mutterit ovat huomattavan pieniä kooltaan. Työkaluna asiakkaan kaapeleita varten laitettavien mutterien asettamiseen käytetään asetintikkua.

Kävi myös ilmi, että olemassa olevia ohjeita on organisaatiossa hankala löytää, ja tietous niiden olemassaolosta on puutteellista. Monimutkaisista kokoonpanoista ja työvaiheista on helposti ohjeita saatavilla, mutta yksinkertaisena pidettyjen asioiden ohjeistus puuttuu. /16/.

02-09-11 Valid without signature

Δ (D)

6. M6 - 3 Nm
M8 - 6 Nm
M10 - 10 Nm

5. M6 - 3 Nm
M8 - 6 Nm
M10 - 10 Nm

4. M6 - 3 Nm
M8 - 6 Nm
M10 - 10 Nm

3. M6 - 3 Nm
M8 - 6 Nm
M10 - 10 Nm

2. M6 - 3 Nm
M8 - 6 Nm
M10 - 10 Nm

1. M6 - 3 Nm
M8 - 6 Nm
M10 - 10 Nm

Υ (Y)

7. M6 - 3 Nm
M8 - 6 Nm
M10 - 10 Nm

6. M6 - 3 Nm
M8 - 6 Nm
M10 - 10 Nm

5. M6 - 3 Nm
M8 - 6 Nm
M10 - 10 Nm

4. M6 - 3 Nm
M8 - 6 Nm
M10 - 10 Nm

3. M6 - 3 Nm
M8 - 6 Nm
M10 - 10 Nm

2. M6 - 3 Nm
M8 - 6 Nm
M10 - 10 Nm

1. M6 - 3 Nm
M8 - 6 Nm
M10 - 10 Nm

ABB Motors OY 3GZF102716-K

Rev. and # added	2011-09-02	J.-O. Högen
Rev. Change	Date	Prep. / Approved
Prepared	Responsible dept.	Scale
2000-09-04 J.-O. Högen	KYTKENTÄKÄÄVIÖ	
Approved	Task over dept.	
2000-09-04 J.-O. Högen	(Y/D-KTK. / Y/D-CONNECT.)	
Motor st	Doc. No.	Version
	13 BP 160ZW	85
Supersedes	Superseded by	Size
	M3_P 160-250	A3
ABB	ABB Oy, Motors and Generators	Document No.
		3GZF102716-K
		Revision
		C
		Sub revision
		Sheet
		1/1

Kuva 3. Moottorin runkokorkeus 160 mm.

8 TYÖVAIHEEN KEHITTÄMSRATKAISUT

Ratkaisujen toteuttamiseen vaaditut resurssit vaihtelevat. Työssä on pyritty kartoittamaan taloduellisesti järkevimät ratkaisut, ja arvioimaan niiden toteutettavuutta.

8.1 Robotisaatio

Robotisaatio vähentää virheiden määrää tuotannossa. Robotisaation käyttöönotto edellyttää selvitystä, millaista robottia liitântäkoonpanossa kannattaa käyttää. Robotti pitää myös kouluttaa tehtävänsä. Jos moottoreita olisi vain yhdenlaisia, kokoonpano olisi yksinkertaisempaa ja helpommin toteutettavissa robotilla. ABB:llä tehdään paljon kuitenkin asiakasräätälöityjä tuotteita. Kun moottoreita on useampia erilaisia, edellytetään useampaa robottia tai enemmän tekoälyä kokoonpanon toteuttamiseen.

Robotisaation hyödyntämisen haasteet liitântäkoonpanossa liittyvät eri moottoreiden väliseen rakenteelliseen erilaisuuteen. Myös johtimien vetäminen liitântäaukosta robotilla voi olla haasteellista. Taloudellisesti robotin käyttöönotto vaatii aina investointia, mutta robotti tekee työn nopeasti ja täysin rutiininomaisesti, jolloin takaisinmaksuaika voi olla kohtuullinen.

8.2 Liitântäaukon tulpat

Liitântäaukon tulpat asennetaan moottoriin suojaamaan johtimia liitântäaukon teräviltä reunoilta, sekä minimoimaan asentaessa ruuvin tai mutterin tippumisen aiheuttamat vahingot, kun tippuminen aukkoon poissuljetaan. Tulppiin liittyy kuitenkin paljon haasteita toimeksiantajalla. Ne saattavat olla väärän muotoisia reikään, tai saattavat vahingossa mennä jollain tavoin nurinpäin, sillä osittainen epäsymmetria edellyttää tulpan asentamista tietyin päin.

Tulpan tulisi olla mahdollisimman symmetrinen, jotta se on helppo asettaa paikalleen. Yksi ongelma on se, että tulpat vaihtelevat moottorikohtaisesti, koska samasakin kokoluokassa reikiä on monen muotoisia. Tämä edellyttää, että kokoonpanopisteellä on oltava jokainen tulppa, mitä työpisteellä tarvitaan.

Mikäli tulppia olisi vain yhdenlaisia jokaisella työpisteellä, olisi oikea tulppa nopea löytää. Tämän ratkaisun toteuttaminen vaatisi liitäntäaukkojen uudelleensuunnittelua siten, että mahdollisimman monen moottorin liitäntäaukkojen koot olisivat keskenään samat kokoluokittain ja moottorityypeittäin.

ABB Oy:n eräessä yleismoottoriprojektissa käytettiin liitinalustassa olevan reiän peittämiseen polyeteenitulppaa. Osa on suorakaiteen muotoinen, ja siinä on puolipyörän muotoiset lovet johtimien läpivientä varten. Käytettävä materiaali on edullista, ja osa on helppo tehdä ja asettaa paikalleen. Vastaavanlaista osaa voitaisiin käyttää muissakin tuotteissa. /15/

Yksi vaihtoehto voisi olla tulpan kapeassa osassa oleva lovi johtimia varten, jolloin johtimien pujottamiseen tulpan päällä olevasta reiästä ei kulu aikaa. Johdin vedettäisiin reiästä läpi, jonka jälkeen asetettaisiin tulppa niin, että lovi tulee johtimien puolelle. Ratkaisua toteuttaessa on syytä tutkia, että tulppa pysyy moottorin käynnissä ollessa paikallaan tukevasti värinästä huolimatta. Tällöin täytyy myös varmistaa, että rungoissa on tarvittavat pyöritykset, etteivät johtimet vaurioidu.

8.3 Moniajoinen hydrauliprässi

Hydrauliprässillä tehtyjä liitoksia on käytetty monenlaisiin tarkoituksiin kotitalouksista ajoneuvoteollisuuteen. /17/. Tämä on nopea tapa saada luja liitos aikaan.

Selvitettävä on, löytyykö jokin materiaali, jota voitaisiin prässätä kuparin päälle ilman liiallista korroosioriskiä ja huomattavaa lämpölaajenemista. Alumiinia käytetään liitosten tekemiseen useissa tapauksissa. Usean materiaalin tuominen samaan sähkökenttään vaikuttaa kuitenkin negatiivisesti liitosten luotettavuuteen.

Mietittiin myös olisiko mahdollista yhdistää johtimet toisiinsa lujalla liimalla, jossa olisi mahdollisesti hienoa kuparia seostettuna. Tällöin liitäntäosassa olisi jokin kolo, mihin voitaisiin asettaa kuorittu johdin, jossa on liimaa. Tämän jälkeen liitoksen päälle prässättäisiin prässäyksen hyvin kestäväällä materiaalilla varustettu holkki ilman sähkökenttään integroitumista.

8.4 Standardointi

Alusta asti kokoonpanovaiheelle hidastavaksi tekijäksi koettiin variaatio samojen ja eri moottorien välillä. On aiheellista moottorin valmistusajan ja hankintakustannustenkin kannalta yhtenäistää moottorien kokoonpanoja niin suurelta osin, kuin mahdollista on. Tämä toteuttaa myös aiemmin esiteltyjä yhtiön suunnitteluperiaatteita materiaali- ja osavariaatioiden vähentämisessä. Ratkaisun tärkeyttä painottivat kaksi eri haastateltavaa. /15, 18/.

Johtimien pituus staattorista johtimen päähän on syytä määrittää siten, että se on vakio. Runkojen saapuessa tehtaalle niissä on oltava oikeanpituiset johtimet moottorin kytkentää varten. Tällä vältetään uudelleen amppaus ja johtimien lyhentäminen.

Johtimien pintojen värit vaihtelevat riippuen lähinnä siitä, missä moottori on valmistettu alun perin. Vakioimalla johtimien värikoodin siten, että kytkentä tehdään ainakin suurimmaksi osaksi aina samalla tavalla, vähennetään mietintää tuotantolinjalla, ja saadaan johtimet kytkettyä nopeammin oikeaan paikkaan. Tämä helpottaa esimerkiksi uusien työntekijöiden perehdyttämistä työhön.

8.5 Työohjeiden kattavuus

Tekemällä työohjeen jokaiselle työpisteelle asioista, joita pisteellä tehdään, saavutetaan hyöty työhön perehtymiselle. Usein ajatellaan, että tekemällä opitaan. Tämä on osittain totta, mutta mikäli opittuja asioita ei kirjoiteta muille tietoa mahdollisesti tarvitseville nähtäväksi, on vaikeaa opetella asiat itse. /15/.

Olemassa olevien työohjeiden päivittäminen tiedon vanhetessa tai virheiden ilmetessä on ensisijaisen tärkeää. Työohjeiden tulee olla yleisesti tiedossa ja helposti löydettävissä.

8.6 Valmiiksi ampatut johtimet

Osa moottoreista saapuu tehtaalle valmiiksi ampattuina. Moottorien amppaaminen toimeksiantajan toimesta tulee kalliimmaksi kuin valmiiksi ampatut johtimet. /18/.

Osassa moottoreita ratkaisu ei ole tällä hetkellä hyödyksi toteuttaa. Tämä johtuu prosessimoottorien liitántäaukkojen ahtaudesta. On syytä selvittää, saataisiinko moottoriin lisää tilaa esimerkiksi staattorin rungon sisähalkaisijaa tai läpivientiaukkoa kasvattamalla. Myös tiiviimmin tehdystä kääminnästä on apua.

8.7 Rasia- ja pikaliittimet

Talojen sähköasennuksissa käytetään nykyisin paljon rasialiittimiä. Työtä tehdessä tarkasteltiin kahden eri valmistajan tuotteita. Tarkoitukseen soveltuvaa rasialiittintyyppiä ei kuitenkaan löydetty, joten lisäselvitys on tarpeen. Rasialiittimien avulla kokoonpanonopeus moninkertaistuu, ja osat ovat edullisia. Tällöin kuorittu johto laitetaan sisään rasiaan ja mallista riippuen rasia voidaan lukita kynsimekanismilla. Rasialiitin voidaan asettaa DIN-kiskolle, ja kiinnittää liitántäkotelon pohjaan ruuviliitoksella.

Löydettiin myös pikaliittimiksi nimitettyjä liittimiä, joissa on rasiaan laitettava naaraspuoli ja johtimen päälle urospanuoli. Kaikki naaraspuolet asennetaan samaan rasiaan keskenään ja samoin urospanuoli omaansa. Mikäli työvaihe on tehty alihankkijan toimesta, liittäminen on huomattavan nopeaa, kun ainoa tarkistettava asia on liittimen asennussuunta.

Selvitettävä rasia- tai pikaliitinratkaisussa on, miten tähti- ja kolmiokytkentä saadaan toteutettua sekä asiakkaan kaapelit kytkettyä. Tämä vaatii prototyyppisiä ja selvitystyötä. Mikäli todetaan, että myös asiakkaan kaapelit saadaan ilman ruuviliitosta kytkettyä, voidaan luopua läpivientiaukon peittävästä tulpasta. Toteutuskelppoisuuden arvioinnissa on huomioitava vaikutus piste- ja eroosiokorroosiolle altistumiseen. Kokeiltaessa erästä rasiaa liitoksen tekemiseen, syntyi silmällä erottuvia naarmuja johtimessa, mikäli johto irrotetaan ja tarkastetaan sen kunto. Kuitenkin liitos vaikutti lujalta tärinänkeston kannalta.

8.8 Johtimien läpivientiin käytetty apuväline

Varsinkin valurautamoottorien läpivientiaukot voidaan kokea ahtaina työvaiheen kannalta. /15/. Apuvälineenä voi olla metallista valmistetut pihdit. Niissä tulee olla

päällä muovi- tai kumipäällyste, jottei johtimen pinta vaurioidu. Työkalu on yksinkertainen ratkaisu, eikä vaadi taloudellisesti suurta investointia.

Alumiinimoottorien läpivientiaukkoja ei koeta ahtaiksi, joten tällaiselle työkalulla ei niiden kokoonpanolinjalla ole tarvetta. /14/

8.9 Sisältöä poistettu salassa pidettävän tiedon johdosta

8.10 Vaihevastusten mittaaminen esityövaiheessa

Ennen liitännän työvaihetta alumiinimoottorille tehdään esityövaihe, jossa varmistetaan, että staattorille voidaan tehdä runkoon puristus. Tämän jälkeen robotti puristaa staattorin runkoon ja poraa reiän liitinsuojuksen rungon kiinnitystä varten.

Mikäli myöhemmin todetaan, ettei vaihevastukset ei täsmää, kokoonpano on kyseiselle moottorille tehty tarpeettomasti. Tämän välttämiseksi voidaan tarkastaa vaihevastukset jo esityövaiheessa, ja tarvittaessa lähettää takaisin alihankkijalle. /15/.

8.11 Johdinlaadut

Käytettävään kuparilaatuun on säädetty standardi ABB Oy:n toimesta. Staattori teetetään alihankintana useimmiten, jolloin alihankkijan on tiedettävä myös tuotteelta edellytyistä materiaalikriteereistä. /18/.

Kuparin laatua entisestään puhdistamalla ei voida ainakaan merkittävästi vaikuttaa asennusnopeuteen. Eriste on suunnittelussa valittava niin, ettei se olisi liian jäykkää. Tekemällä lisätilaa johtimille aiemmin mainituilla keinoilla voidaan ratkaista johtimiin kohdistuva liiallinen voiman käyttö läpivientitilanteessa.

8.12 Päätelmä

Oheisessa taulukossa 3 esitellään ideoiden koettu toteutettavuus, joka yhdistää taloudellisen arvion yhdistettynä nopeusarvioon, sekä saavutettu hyöty ja näiden kahden summa lyhennettyine perusteluineen.

Taulukosta on lihavoitu parhaaksi koetut vaihtoehdot toteutettavuus- ja hyödyllisyysarviosta lasketun summan perusteella. Näille ratkaisuille jatkotoimenpiteitä suositellaan tehtäväksi.

<u>Kuvaus</u>	<u>Toteutettavuus (1-4)</u>	<u>Saavutettu hyöty (1-4)</u>
Pikakiinniketyyppinen ratkaisu	3	1
Moniajoinen hydrauliprässi	2	3
Robotti	4	1
Mahdollisimman suuri liitäntäaukko	3	3
Johtimien pituuksien ja värien standardisointi	1	3
Tulppien uudelleen suunnittelu	2	3
Vaihevastusten mittaaminen esityövaiheessa	1	4
Laadukkaat johtimet	3	3
Valmiiksi ampattu	2	3

1 = helppo	1 = suuri
2 = jokseenkin helppo	2 = melko suuri
3 = jokseenkin haastava	3 = melko pieni
4 = haastava	4 = pieni

Yhteensä

Perustelut

- Tähti- tai kolmiokytkennän toteuttamiseksi selvitystyö vaatii aikaa ja resursseja, mutta hyödyt ovat kiistattomat.**
- 5 Eri holkkimateriaalien vaihtoehdot selvitettävä
 - 5 Suuri taloudellinen investointi, moottorien erilaisuus esim. kokoluokittain haastavaa. Olemassa olevien tuotteiden muokkaaminen vie paljon aikaa,
 - 6 lujuuslaskelmat tarvitaan.
 - 4 **Tästä saavutettaisiin nopeasti hyöty melko vähäisellä vaivalla.**
 - 5 Helppo toteuttaa, ja nopeuttaa liitäntäkoonpanoa nopeasti Vähentää materiaalihävikkejä. Vaihevastukset ovat suurimmassa osassa
 - 5 moottoreita kunnossa.
 - 6 Johtimet on koettu helposti rikkoutuvaksi. Liitäntäaukon lisätila avuksi tähän.
 - 5 Osassa moottoreista toteutettavissa, mikäli johtimet ovat oikeanpituisia.

Taulukko 3. Tulokset.

9 YHTEENVETO

Työ tuo toimeksiantajalle mahdollisuuden jatkokehitystoimenpiteille aiheeseen liittyen. Erityisesti pikakiinniketyyppinen ratkaisu on saanut kiinnostuksen heräämään toimeksiantajaorganisaatiossa, ja tilauslupaa materiaaleihin tulevia prototyyppejä varten on toimeksiantajaorganisaatiossa jo pyydetty, ja ratkaisun toteuttamistapaa mietitään.

Työ antoi arvokasta kokemusta projektinhallintaan ja kasvatti valmiuksia ottaa vastuu isoista asiakokonaisuuksista. Aikataulullisesti työssä onnistuttiin, ja aikataulussa pysyttiin. Kuitenkin työ oli aikataulutettu viikkoa pidemmälle ajankohdalle tiedonpuutteen vuoksi. Tämä edellytti joustavuutta viimeisellä viikolla.

Kokonaisuudessaan työ lisäsi tietämystä sähkömoottoreista, ja antoi mahdollisuuden kasvattaa myös sähköteknistä tietämystä, mikä voi olla eduksi monia työtehtäviä haettaessa. Työ antoi myös valmiuksia toimia suunnittelu- ja tuotekehitystehtävissä erityisesti sähkömoottoreita valmistavassa yrityksessä.

Työ oli opettavainen, sillä tehtävänä oli ottaa vastuu muun muassa palaverien järjestämisestä. Opinnäytetyöprosessin aloittaminen ainakin suurehkossa yrityksessä kannattaa tehdä aikaisessa vaiheessa liiallisen kiireen välttämiseksi, sillä työn aloittaminen heti ei välttämättä ole mahdollista. Lisäksi palaverit on syytä varata välittömästi, kun tiedetään siihen tulevan tarvetta, sillä aikataulujen yhteensovittaminen voi olla yllättävän hankalaa.

LÄHTEET

/2/ ABB. 2014. About. ABB in brief. History. <http://new.abb.com/about/abb-in-brief/history>

/3/ ABB. 2018. ABB-yhtymä. ABB lyhyesti. Viitattu 18.4.2018.
www.new.abb.com/fi

/4/ Oy Strömberg AB. http://www.helsinki.fi/kansalaismuisti/pitajanmaki/elink-eino/strombergin_tehdas.html

/5/ L. Aura, A. Tonteri & Werner Söderström Osakeyhtiö. 1996. Teoreettinen sähkötekniikka ja sähkökoneiden perusteet. Porvoo. Wsoy.

/6/ P. Slade. Electrical Contacts: Principles and Applications. 1999. New York. Marcel Dekker Inc.

/7/ Schaeffler Technologies GmbH & Co. KG. 2014. Technical pocket guide. Saksa. Stürtz.

/8/ ABB. 2014. Motor guide – basic technical information about low voltage standard motors. Motor guide, Third edition 2014.

/9/ Korpinen, L. Sähkökoneet, osa 1. Sähkövoimatekniikkaopus. http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/10sahkokoneet_1osa.pdf

/10/ ABB Oy. 2002. BA/ Motor Quality Guide GB. Suomi. Litoset Oy.

/11/ ABB Oy. Prosessimoottorit. IEC-Pienjännitemoottorit. Viitattu 20.4.2018.
<http://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3GZF500930-987&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

/12/ Sähköturvallisuuden Edistämiskeskus ry. IP-luokitus. Sähköjärjestelmät. Viitattu 21.4.2018. https://www.stek.fi/Perustietoa_sahkosta/Sahkojarjestelmat/fi_FI/IP_luokitus/

/13/ Haastattelu: Mekaniikkasuunnittelija. RD Velho Oy. 28.3.2018

/14/ Haastattelu: Tuotannon työntekijät ja toimihenkilö. ABB Oy. 12.4.2018.

/15/ Haastattelu: Mekaniikkasuunnittelijat. ABB Oy. 12.4.2018.

/16/ Haastattelu: Kokeneempi mekaniikkasuunnittelija. ABB Oy. 27.4.2018.

/17/ Haastattelu: Sähköasennus Markku Liukku Oy. 2.4.2018.

/18/ Haastattelu: Hankintapäällikkö. ABB Oy. 29.4.2018.

/19/ Pertti Inkinen, Reijo Manninen, Jukka Tuohi. Momentti 2. 2003. Keuruu. Otava Kirjapaino Oy.

/20/ Matti Makkonen. Muut metallit. 2014. Vaasa. Oy Vaasan ammattikorkeakoulu.