

Niko Mikael Helin

Staattorin kytkentärenkaiston mekaanisen kestävyyden parantaminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

9.4.2013

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Niko Mikael Helin Staattorin kytkentärenkaiston mekaanisen kestävyysparantaminen 47 sivua 9.4.2013
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	sähkövoimatekniikka
Ohjaaja	tuotannontukitiimin esimies Pasi Viitaharju, ABB teknologiapäällikkö Arja Ristola, Metropolia Ammattikorkeakoulu
<p>Tämä insinööriytyö on tehty osana ABB:n käynnistämää kehittämisprojektia, jonka tavoitteena on parantaa räätälöitynä massatuotteena valmistettavan generaattorin staattorin kytkentärenkaiston mekaanista kestävyttä. Voimalaitoksissa käytettävät generaattorit ovat dieselmoottorin kanssa samalla yhteiskäyttöalustalla, joka johtaa dieselmoottorin aiheuttaman voimakkaan värinän generaattoriin. Voimakkaan värinän seurauksena generaattoreita on vaurioitunut.</p> <p>Insinööriytyössä perehdyttiin generaattorin rakenteeseen ja toimintaan. Tavoitteena oli kuvata koko kehittämisprojektin toteutus, kehittämisprojektia edeltävä staattorin kytkentärenkaiston valmistustapa vahvuuksineen, haasteineen ja kehittämismahdollisuuksineen sekä luoda ja kuvata kytkentärenkaiston uusi valmistustapa.</p> <p>Asiakkailla ilmenneistä generaattorin kestävyysongelmista toteutettiin esiselvitys, minkä jälkeen riskien analysointia varten perustettu projektiryhmä nimesi mahdolliset riskit ja arvioi niiden todennäköisyyttä ja riskin suuruutta. Insinööriytyössä tehtiin kuvaus kehittämisprojektia edeltäneestä kytkentärenkaiston valmistustavasta. Tämän rinnalla kytkentärenkaiston uuden valmistustavan suunnitteluun perustettu projektiryhmä suunnitteli uuden valmistustavan.</p> <p>Insinööriytyössä kuvatun kytkentärenkaiston valmistustavan vahvuudet olivat väliyhdistäjien ja vaiherenkaiden eristysmenetelmät sekä kytkentärenkaiston sisäinen ja ulkoinen tuenta. Haasteita olivat 90°:een kulman toteutus renkaistojen välille sekä kaapeleiden pituus ja niiden suuri massa. Kehittämismahdollisuuksia olivat aksiaalisen renkaiston ulkoisen tuennan vaatimusten päivittäminen ABB:n toimintaohjeeseen sekä kaapeleiden massan jakaminen useammalla vaiherenkaalle.</p> <p>Projektiryhmien yhteistyön ja kytkentärenkaiston valmistustavan kuvauksen perusteella suunniteltiin kytkentärenkaiston uusi valmistustapa. Parannuksia mekaaniseen kestävyys-teen tuovat kaapeloinnin uudistaminen, kaikkien vaiherenkaiden sijoittaminen aksiaaliseen renkaistoon ja kytkentärenkaiston ulkoisen tuennan määrittämisen tarkentaminen.</p>	
Avainsanat	generaattori, staattori, kytkentärenkaisto, aksiaalinen renkaisto, radiaalinen renkaisto, vaiherengas

Author Title Number of Pages Date	Niko Mikael Helin Mechanical Durability Improvement of a Stator's Connection Ring 47 pages 9 April 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructors	Pasi Viitaharju ABB, Production Support Team Leader Arja Ristola Metropolia University of Applied Sciences, Technology Manager
<p>This thesis is a part of a development project that ABB started. The development project targets to improve the mechanical durability of a stator's connection ring. Generators are used in power plants and they are located on a platform along with a dieselmotor. Dieselmotors cause powerful shaking, which reflects into the generator via the platform. Generators have broken down because of the shaking.</p> <p>This thesis focuses on the function and the structure of the generator. The goal is to explain how the development project was done, the manufacturing process of the connection ring with its strengths, weaknesses and possibilities and to remodel the building process of the connection ring.</p> <p>Because of durability problems the customers had had, an investigation was carried out. After that a project group was founded. The project group focused on analyzing risks. The group named the risks and evaluated the probability and severeness of the risks. A depiction of the manufacturing process is given in this thesis. Another project group remodeled the connection ring and the manufacturing process.</p> <p>Strengths in the manufacturing process were the insulation of connectors and phase rings and inner and outer assist. Weaknesses in the manufacturing process were the production of a 90 degree angle between the radial and the axial ring and the length and the weight of the cables. Possibilities in the manufacturing process were the update of pretensions of outer assist of the axial ring and dividing the mass of the cables to several phase rings.</p> <p>Co-operation of the project groups and the depiction of the manufacturing process led to remodeling of the connection ring and the manufacturing process. The reforming of the cable-process, replacing of all six phase rings to the axial ring and specifying definitions in the outer assist of the connection ring brought improvements to the mechanical durability.</p>	
Keywords	generator, stator, connection ring, axial ring, radial ring, phase ring



Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

Sisällys

1	Johdanto	1
2	ABB yrityksenä ja kehittämisprojektin toteutus	2
2.1	ABB yrityksenä	2
2.2	Kehittämisprojektin toteutus	3
2.2.1	Kehittämisprojektin työmenetelmät ja esiselvitys	3
2.2.2	Kehittämisprojektin käynnistäminen	4
3	Generaattori	5
3.1	Generaattorin rakenne	5
3.2	Generaattorin toiminta	7
4	Staattorin rakenne	8
4.1	Levysydän	8
4.2	Vyyhdet	8
4.3	Kytkenärenkaisto	10
4.4	Käämit	12



5	Kytkentärenkaiston nykyisen valmistustavan kuvaus	12
5.1	Valmistusdokumentti ja siihen perehtyminen	12
5.2	Väliyhdistäjien valmistaminen	13
5.3	Kytkentärenkaiston ulkoinen tuenta	19
5.3.1	Aksiaalisen renkaiston ulkoinen tuenta	20
5.3.2	Radiaalisen renkaiston ulkoinen tuenta	22
5.4	Vaiherenkaiden valmistaminen	22
5.4.1	Vaiherenkaan valmistus- ja kokoamisprosessi	22
5.4.2	Vaiherenkaiden mitoitus ja valmistusjärjestys	28
5.5	Kytkentärenkaiston sisäinen tuenta	30
5.6	Vaiherenkaiden kaapelointi	35
6	Kehittämiprojektin tulokset	37
6.1	Kytkentärenkaiston nykyisen valmistusprosessin vahvuuksien, haasteiden ja mahdollisuuksien yhteenveto	37
6.2	Riskianalyysi	38
6.3	Kytkentärenkaiston ideointi ja rakenne	38
6.4	Kytkentärenkaiston uuden valmistustavan kuvaus	39
6.5	Kehitetyn kytkentärenkaiston vahvuudet	41
6.5.1	Kytkentärenkaiston valmistuksen vahvuudet	41
6.5.2	Kytkentärenkaiston mekaanisen kestävyyskehitys	43
6.6	Tulosten ja kehittämiprojektin arviointi	44
7	Yhteenveto	44
	Lähteet	46



1 Johdanto

Tämä insinööri työ on osa ABB:ssä (Asea Brown Boveri) toteutettavaa generaattorin staattorin kytkentärenkaiston mekaanisen kestävyyskehittämisen projektia. Viimeisten vuosien aikana on asiakkailta ilmennyt ongelmia generaattorin kestävyys- ja takuuajana sekä sen ulkopuolella. Ongelmat ovat paikallistuneet staattorin kytkentärenkaiston mekaaniseen kestävyyskehykseen. Lisäksi ABB on tarkentanut sähkökoneiden valmistamiselle enimmäisajat, minkä vuoksi staattorin valmistamisen työvaiheet on tarpeen arvioida uudelleen.

Generaattorin tehtävä on muuttaa liike-energia sähköksi. Energianlähteet ABB:n valmistamissa generaattoreissa ovat kaasua ja diesel sekä tuuli- ja vesivoima. Näistä vaihtoehdoista diesel on asiakkaalle kokonaistaloudellisesti edullinen, koska dieselin saatavuus on kohtuullisesti turvattu eikä se ole vesi- ja tuulivoiman tavoin sidoksissa luonnon olosuhteisiin. Tässä työssä käsitellään dieselgeneraattoria.

Dieselgeneraattorin vahvuutena on sen nopea toimittaminen ja sähköntuottaminen loppuasiakkaalle. Nopean sähköntuottamisen perustana on teräksinen yhteiskäyttöalusta, jonka päällä on sekä dieselmoottori että generaattori. Dieselmoottorin käyttö aiheuttaa voimakasta värinää, joka johtuu yhteiskäyttöalustan kautta generaattoriin. Voimakas värinä ja generaattorin kova käyttö ovat johtaneet kytkentärenkaiston mekaanisiin kestävyysongelmiin.

Generaattorin ongelmista esimerkiksi pienet eristevauriot voivat olla korjattavissa paikalla, mutta johdinkuparin katkeamisesta syntyvä vaurio on tekijä, joka johtaa uuden generaattorin valmistukseen. Uuden generaattorin toimitus kestää kuukausia, eli asiakkaan tuotantokatkos on huomattava. Uuden keskikokoisen tahtigeneraattorin hinta ilman kuljetuskustannuksia on noin 500 000 US dollaria, mistä voi arvioida ABB:lle aiheutuvan takuukustannuksen.

Tämä insinööri työ on osa yllä mainittua kehittämissuoritelua, jonka tavoitteena on selvittää kytkentärenkaiston kestävyysongelmien syyt ja parantaa kytkentärenkaiston kestävyys- ja takuuajaa. Tutkimuskysymykset ovat: Millä tavoin kehittämissuoritelu kokonaisuudessaan toteutetaan? Minkälainen on nykyinen kytkentärenkaiston valmistustapa? Mitkä ovat

valmistustavan vahvuudet, haasteet ja kehittämismahdollisuudet? Millä tavoin kytkentärenkaiston valmistusta parannetaan?

2 ABB yrityksenä ja kehittämisprojektin toteutus

2.1 ABB yrityksenä

ABB on yksi maailman johtavista energia- ja automaatiojärjestelmien sekä palveluiden tuottajista, jolla on toimipisteitä yli sadassa maassa ja henkilökuntaa noin 145 000 (ABB in brief 2013). ABB on muodostunut vuonna 1988 ruotsalaisen ASEA:n ja sveitsiläisen BBC:n (Brown Boveri & Cie) yritysfuusiossa. Suomessa vuonna 1889 perustettu sähkötekniinen yritys Oy Strömberg Ab fuusioitiin 1987 ASEA:aan. ABB:llä on Suomessa noin 7 000 työntekijää. Toimintaa on useilla paikkakunnilla, joista merkittävimmät ovat Helsingin Pitäjänmäki ja Vaasa.

Yrityksen yksi päätuotteista koostuu sähköenergian tuottamiseen ja siirtämiseen tarvittavista järjestelmistä, joista Pitäjänmäen vastuualueeseen kuuluvat: moottorit, generaattorit, taajuusmuuttajat, energianhallinta-, sähköistys-, ja instrumentointiratkaisut, tehdastietojärjestelmät ja kunnossapitopalvelut. Toimitusjohtaja Joe Hoganin (2012) mukaan päätavoitteet vuosiksi 2011 - 2015 ovat mm. kilpailukyvyn parantaminen, kustannustehokkuus ja kehittyvien markkinoiden kasvun hyödyntäminen. Liikevaihto konsernissa oli yli 39 miljardia US dollaria ja Suomessa 2,4 miljardia euroa. Suomen osuus yhtymän liikevaihdosta on noin 8 prosenttia, ja Suomella on merkittävä osuus koko yhtymän tuotekehityksessä, jonka osuus on yli 15 prosenttia liikevaihdosta (Raunio 2013).

ABB:n Pitäjänmäen yksikkö toimittaa asiakkailleen räätälöityinä massatuotteina noin sata dieselgeneraattoria vuosittain. ABB on merkittävä dieselgeneraattorien toimittaja. Laatupoikkeamiin on aina syytä tarttua aktiivisesti ja pyrkiä etsimään kehittämiskohteita johtavan aseman säilyttämiseksi ja asiakkaille koituvan haitan minimoimiseksi. Tyypillinen loppuasiakas on voimalaitos, jolla on tuotantolaitoksessaan useita generaattoreita, suuremmissa tuotantolaitoksissa jopa kymmeniä. Asiakkaan tuotantokapasiteetista riippuu haitan suuruus, joka asiakkaalle aiheutuu yksittäisen generaattorin tuotantokatkoksesta.

Tämä kehittämisprojekti ja sen osana tehty insinööri työ kohdistuu ABB:n päätuotealueeseen: sähköenergian tuottamiseen ja siirtämiseen tarvittaviin järjestelmiin. Kehittämisprojekti kokonaisuudessaan tukee strategiaa saavuttaa kasvua kehittyviltä markkinoilta, joissa tarvitaan nopeita ratkaisuja kasvavaan sähkönkulutukseen.

2.2 Kehittämisprojektin toteutus

2.2.1 Kehittämisprojektin työmenetelmät ja esiselvitys

Projektitoiminnalle on tyypillistä, että sille asetetaan täsmälliset tavoitteet, määritellään eri toimijoiden vastuut ja se on kestoaltaan rajallinen. Kehittämisprojekti keskittyy tuotteen tai toimintatavan parantamiseen organisaatiossa. Kehittämisprojekti voidaan toteuttaa kokonaan yrityksen sisäisenä toimintana oman henkilöstön työpanoksen avulla, hyödyntämällä ulkopuolista asiantuntemista tai ostamalla kehittämisprojektin joku osakokonaisuus ulkoiselta toimijalta. Kehittämisprojektissa projektin tehtävät ja menetelmät voivat täsmentyä kehittämistyön edetessä. (Heikkinen ym. 2007; Projektijohtamisen sanasto 2013; Insinööriyöohjeet 2012.)

Tämän ABB:ssä toteutettavan kehittämisprojektin työmenetelmät ovat esiselvitys, laadunhallinta, riskianalyysi, projektiryhmien toiminta, kytkentärenkaiston nykyisen valmistustavan kuvaaminen vahvuuksineen, haasteineen ja mahdollisuuksineen sekä kytkentärenkaiston uuden valmistustavan kuvaus. Kehittämisprojektissa on tilattu myös VTT:ltä tutkimus kytkentärenkaiston mekaanisten kestävyysongelmien analysoimiseksi. Tulokset eivät ole käytettävissä tässä insinööriyössä.

Riskien arviointi yhtenä laadunhallinnan menetelmänä koostuu yleensä useasta osatekijästä, joita ovat mm. taloudellisuus, tuloksellisuus, työmenetelmät ja työturvallisuus. Hyvä riskianalyysi koostuu tarkasteltavan kohteen rajaamisesta, useasta toisiaan täydentävästä arviointimenetelmästä, eri asiantuntijoiden yhteistyöstä ja yhteisestä näkemyksestä. Riskien tunnistaminen ja hallinta voidaan tehdä yleisellä tasolla toiminnan ja tuotteen laadun varmistamiseksi. Tyypillisesti riskianalyysin tavoitteena on vaarojen ja haittojen tunnistaminen, riskien suuruuden arviointi sekä riskien torjunta ja vähentäminen. (Riskianalyysit 2013.)

ABB:ssä tehtävä tuotetestaus on niin kattava, että mahdollisuus asiakkaalle toimitettavan tuotteen virheellisyydestä on pieni. Laatupoikkeamat ja reklamaatiot generaattorien vikaantumisesta tulivat asiakkailta laatuosastolle, jonka vastuuseen kuuluu seurata reklamaatioita ja käynnistää tarvittaessa ongelmien selvittämiseen liittyviä toimia.

Laatuosasto käynnisti reklamaatioiden perusteella ongelmien laajuuden ja mahdollisten syiden selvittämisen. Aluksi selvitettiin eri asiakkaille toimitettujen generaattorien vikaantumisen syitä tekemällä kohdevierailuja. Vikoja todettiin olleen lyhyellä aikavälillä useita. Generaattoreissa ilmenneet viat paikallistuivat staattorin kytkentärenkaistoon. Generaattorit olivat lajimerkiltään keskenään samat (Viitaharju 2012).

Vikaantuneiden generaattoreiden lajimerkki on AMG 1600SS14 L, missä A tarkoittaa ABB:n valmistamaa vaihtovirtakonetta, M tarkoittaa rungollista vaihtovirtakonetta, G tarkoittaa generaattoria, 1600 tarkoittaa koneen standardoitua runkokokoa, joka on akselin keskipisteen korkeus millimetreinä jalkojen alareunasta, kun koneen jalat ovat alhaalla, ensimmäinen S tarkoittaa rungopituustunnusta, toinen S tarkoittaa staattori-levypaketin pituuden tunnusta, 14 tarkoittaa napalukua ja L tarkoittaa IC/IP yhdistelmää. IC/IP yhdistelmä tarkoittaa sähkökoneen jäähdytystapaa. (Tahtikoneiden lajimerkit 2010.)

Ongelmien alustavan paikantamisen jälkeen tuotannon tukitiimi liittyi ongelmien selvittämiseen. Tuotannon tukitiimi koostuu eristys- ja materiaalitekniikan, laboratorio- ja tuotantotoiminnan asiantuntijoista. Informaatio ongelmista saatettiin tiedoksi myös tuotannon kehitysosastolle ja suunnitteluosastolle sekä mekaaniseen että sähköiseen suunnitteluun.

2.2.2 Kehittämiprojektin käynnistäminen

Kehittämiprojekti käynnistettiin vuoden 2012 alussa perustamalla riskien analysointiin erikoistunut projektiryhmä, jossa oli asiantuntijoita laatuosastolta, tuotannon tukitiimistä, tuotannon kehitysosastolta sekä sähkö- ja mekaniikkasuunnittelun osastoilta.

Riskejä analysoivan projektiryhmän riskien arviointi keskittyi kolmeen tekijään, jotka ovat staattorin valmistuksessa käytettävät työkalut, materiaalit sekä työvoima. Alihankkijoilta ostettavien eristemateriaalien, johdinkuparien ja teräksisten sähkölevyjen laadunvaihtelu ei ole ollut suurta. Näissä materiaaleissa mahdollisesti olevien

laatupoikkeamien tulee ilmetä tuotantoprosessin alkuvaiheessa staattoriin komponentteja valmistavassa Staattorin levypaketin ja vyyhden valmistusosastoilla.

Riskejä analysoivan projektiryhmän jäsenet nimesivät yhteistyössä staattorin kytkentärenkaiston valmistuksessa olevat mahdolliset riskit. Riskien todennäköisyyden arvioinnissa käytettiin ABB:n käyttämää PFMEA (*process failure mode and effects analysis*) -menetelmää. Valmistusteknisiä riskejä arvioitiin pisteillä 1 - 10, jossa pistemäärä 10 kuvaa suurinta mahdollista riskiä. Riskejä arvioitiin eri osa-alueilla, joita ovat mm. mahdollisen vahingon suuruus, toistuvuus sekä ilmeneminen ABB:n tuotannon aikana ja ilmeneminen tuotteen elinkaaren aikana. Pisteytys syntyi jokaiselle osa-alueelle projektiryhmän yhteisen arvioinnin tuloksena. (PFMEA 2012.)

Staattori valmistetaan kokonaisuudessaan käsityönä ilman laitekoonpanoa. Työkalut ovat työntekijän harkinnan mukaisesti käytettävissä. Työkalujen virheettömyys ja tarkoituksenmukaisuus tarkistetaan viikoittain. Työkalujen tulee olla niille määritellyillä paikoilla. Näin ollen staattorin valmistuksessa merkittävää variaatiota aiheutuu vain työntekijöiden toiminnasta.

Riskejä analysoivan projektiryhmän selvitysten tuloksena kytkentärenkaiston valmistus ja eroavaisuudet työmenetelmissä nousivat eristyisselvitystä vaativiksi tarkastelun kohteiksi. Tätä varten insinööriyössä kuvataan kytkentärenkaiston nykyinen valmistustapa. Lisäksi perustettiin toinen, uuden kytkentärenkaiston ideointiin ja suunnitteluun keskittyvä projektiryhmä, jonka jäsenistä moni toimi myös riskejä analysoivassa projektiryhmässä. Ryhmän tehtävänä oli nykyisen valmistustavan vahvuuksien, haasteiden ja mahdollisuuksien perusteella luoda malli kytkentärenkaiston uudeksi valmistustavaksi.

3 Generaattori

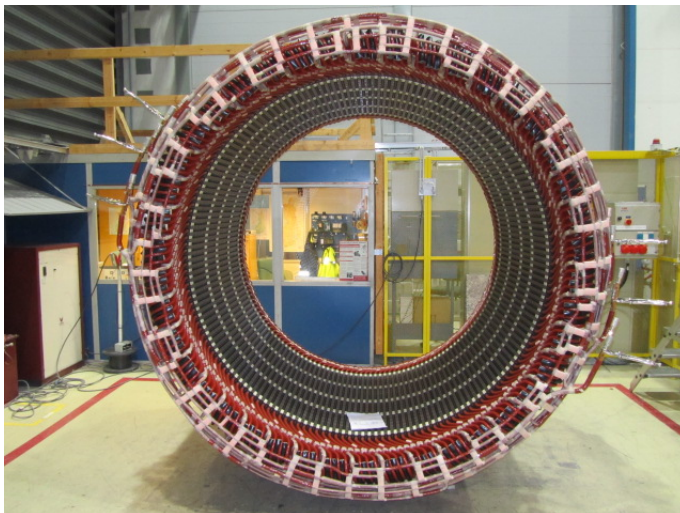
3.1 Generaattorin rakenne

Generaattori on sähkötekniinen laite, jonka tehtävänä on muuttaa mekaaninen energia sähköenergiaksi. Kuvassa 1 (ks. seur. s.) on koteloitu tahtigeneraattori. Sen sisällä on runkoon hitsattu staattori kytkentärenkaistoinen sekä staattorin sisällä oleva roottori. Roottoriin kiinnitetty akseli näkyy kuvassa oikealla. Voimalaitoksessa akseliin kiinnitetään dieselmoottori.



Kuva 1. Tahtigeneraattori

Staattorissa käytetään joko yksikerros- tai kaksikerroslimikäämitystä. Kuvassa 2 näkyy staattorin N-päässä oleva johdinkuparista valmistettava kytkentärenkaisto. N-pää tarkoittaa sähkökoneen päätä, josta sitä ei käytetä. D-pää on sähkökoneen pää, johon dieselmoottoriin kiinnitetään. N-pää saa nimensä englanninkielisestä *non-drive endistä* ja D-pää saa nimensä *drive endistä*.



Kuva 2. Staattorin N-päässä oleva kytkentärenkaisto

Tahtikoneen roottorin rakenne voi olla joko avonaparakenteinen tai umpinaparakenteinen. Avonaparakenteista roottoria käytetään generaattorissa, jonka pyörimisnopeus on pieni ja vastaavasti umpinapaista roottoria käytetään generaattoreissa, joissa on suuri pyörimisnopeus. Kuvassa 3 (ks. seur. s.) on avonapainen roottori.

Työssä tarkasteltavan generaattorin staattori on avonaparakenteinen, koska ko. generaattori on kooltaan suuri, ja pyörimisnopeus on alhainen. Pyörimisnopeus voidaan laskea seuraavan kaavan avulla:

$$n = \frac{f}{p} = \frac{60 \times f / \text{Hz}}{p} = r / \text{min}$$

jossa n on generaattorin pyörimisnopeus, p on generaattorin napapariluku ja f on generaattorin kehittämä taajuus. (Aura & Tonteri 2009: 344 - 355.)



Kuva 3. Avonapainen roottori, jossa on akseli

3.2 Generaattorin toiminta

Sähkövoimalaitosten voimanlähteinä käytetään yleisimmin kaas-, vesi- ja höyryturbiineja sekä dieselmootoreita. Varavoimalaitoksissa on tyypillisesti käytössä dieselgeneraattoreita. Turbiineilla ja dieselmootoreilla kehitetty energia muunnetaan pyöriväksi liikkeeksi, joka ohjataan akselin kautta generaattorin roottoriin.

Generaattori voi olla epätahti- tai tahtikone. Koneet eroavat toisistaan sekä koneiden toimintaperiaatteen että roottorin rakenteen mukaan. Tässä työssä keskitytään tahtigeneraattoriin. Tahtigeneraattorissa roottori pyörii samalla nopeudella staattorin synnyttämän pyörivän magneettikentän kanssa.

Magnetisoitu roottorin napa synnyttää pyöriessään magneettikentän vyyhtien johdinkupariin. Jännite indusoituu jokaiseen vyyhdin johdinkuparin kierrokseen. Jännitteen suuruus riippuu vyyhdissä olevista johdinkuparikierroksista ja sarjaan kytkettyjen vyyhtien lukumäärästä. Kun generaattorin on tyhjäkäynnillä vaihesiirtoa ei ole, jolloin roottorin ja staattorin magneettinavat ovat keskenään samassa kohdassa.

Kuormitusilanteessa generaattorin roottorin napa pyörii staattorin synnyttämän magneettikentän edellä. Roottorin ja staattorin magneettinapojen välistä kulmaa kutsutaan napakulmaksi. Kuvatussa tilanteessa roottori tekee työtä, josta syntyy virtaa vyyhteihin ja sitä kautta tehoa sähköverkkoon. (Shibutani 2001.)

4 Staattorin rakenne

4.1 Levysydän

Levysydän muodostaa ontton lieriön. Levysydämen rautaosa muodostuu sähkölevyn segmenteistä. Segmentti koostuu staattorihampaista ja staattoriselästä. Levysydämen hampaiden välille muodostuu uria, joihin vyyhdet asennetaan. Vyyhdet ovat tässä generaattorityypissä pehmeitä, jolloin ne kyllästetään koviksi yhdessä levysydämen kanssa. Vyyhtejä voidaan asentaa myös kovaksi kyllästettyinä. (Shibutani 2001.)

Levysydän valmistetaan rautaisista segmenttilevyistä, joiden välillä on sähköinen eristys. Segmenttilevyjä ladotaan 42 mm:n korkuisiksi osasydämiksi. Osasydämien välillä on 7 mm korkea ilmasola, jonka kautta jäähdytysilma vie lämpöä ulos staattorista. Levysydämen pituus vaihtelee generaattorin tehon mukaan. Levysydämeen on hitsattu tukipalkkeja, jotka pitävät levysydämen muodon lieriönä. Levysydämen päädyissä on puristusrenkaat, jotka on hitsattu kiinni tukipalkkeihin. Puristusrenkas tukee ladottuja sähkölevyjä.

4.2 Vyyhdet

Vyyhtien tehtävä on synnyttää sähkötehoa. Vyyhdet muodostavat staattorissa magneettinapoja, joihin indusoituu jännite pyörivästä roottorista. Vyyhti on johdinkuparista ja sitä päällystävistä eristeistä valmistettu staattorin komponentti.

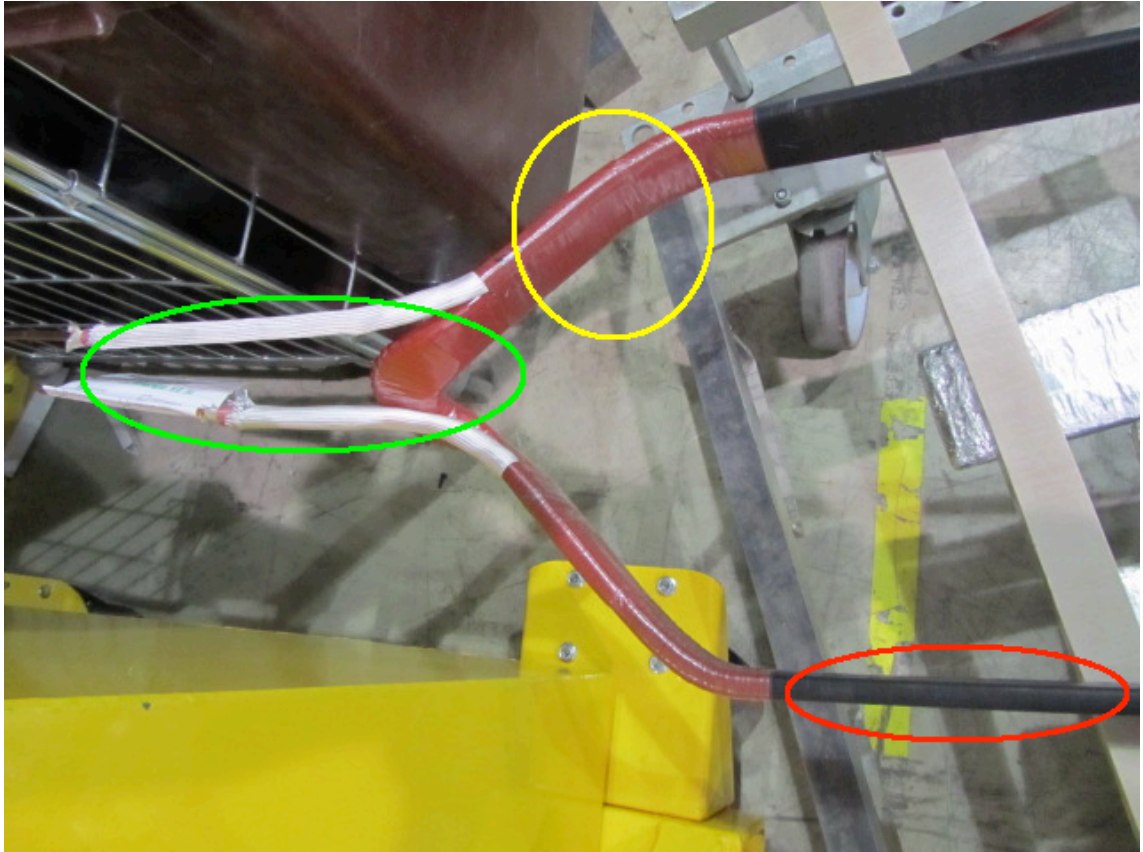
Vyyhden johdinkupari on suorakulmaiseen muotoon profiloitua kuparia ja se on päällystetty johdineristeellä. Vyyhti saa muotonsa levityskoneessa, joka levittää ovaalinmuotoiset spiraaliksi kelatut aihiot oikeaan muotoonsa. Vyyhti on pinnoitettu eristenauhalla, ja eristeen päällä on staattorin uran alueella sähköisesti johtavaa grafiittinauhaa. Vyyhden päiden alueella on mekaanisesti suojaavaa pintanauhaa kuvan 4 osoittamalla tavalla.



Kuva 4. Vyyhti, jossa musta nauha on grafiittinauhaa ja punaruskea nauha on pintanauhaa

Vyyhti muodostuu vyyhden sivun suorasta osasta, vyyhden lenkistä ja vyyhden päästä. Vyyhden sivun suora osa on päällystetty mustalla grafiittinauhalla, vyyhden lenkki on vyyhden sivun suoran osan jatkeena ja vyyhden pää yhdistää sekä pohja- että pintasivun kuvan 5 (ks. seur. s.) mukaan. Vyyhden päässä on valkoisella nailonsukalla suojatut vyyhden ulosottojohtimet. Vyyhden sivun suoralla osalla eristettä päällystävän grafiittinauhan tarkoituksena on pienentää potentiaaliero vyyhden sivun suoralla osalla. Vyyhden sivun suora osa asennetaan levysydämen hampaiden väliseen uraan. Vyyhden lenkin ja pään eristettä päällystävän punaruskean pintanauhan tarkoituksena on suojata eristettä mekaanisilta iskuilta ja viilloilta. Vyyhden lenkki ja pää ovat levysydämen ulkopuolella.

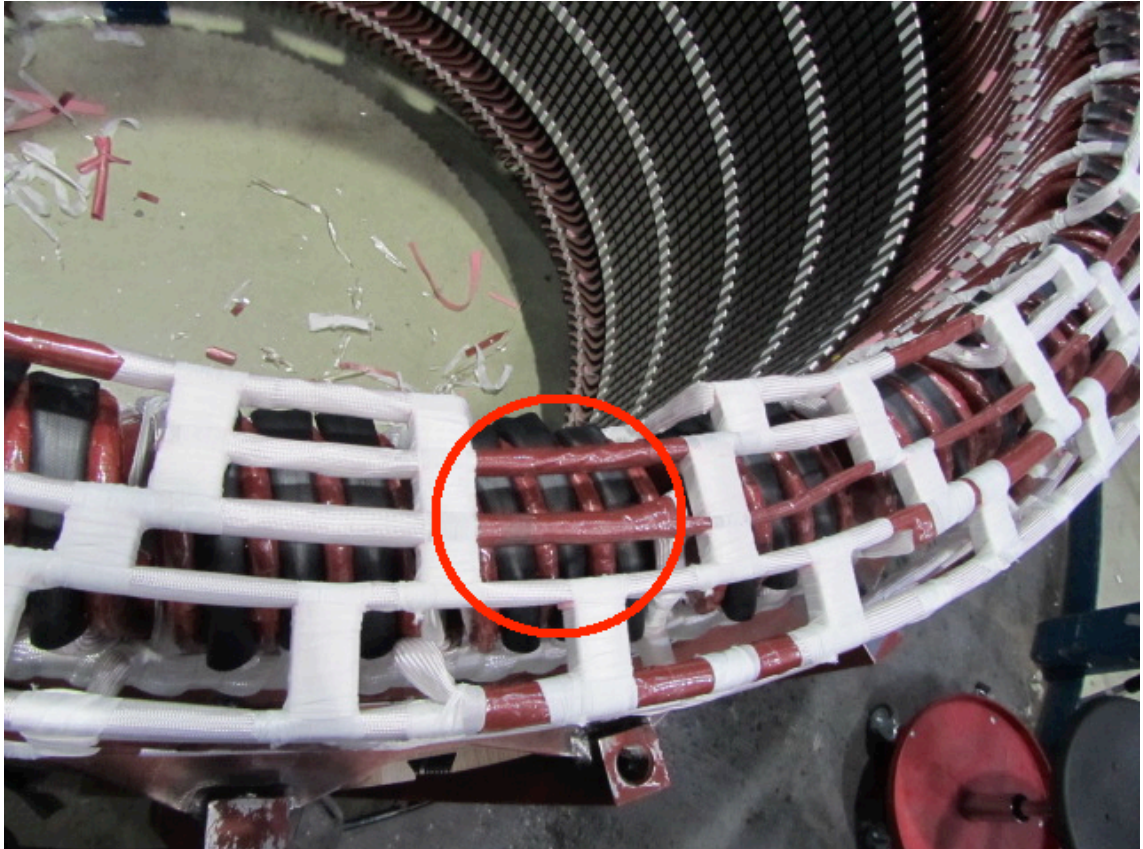
Vyyhti sopii muodoltaan kaksikerroslimikäämitykseen, minkä vuoksi vyyhdissä on pohja- ja pintasivu. Pohjasivu on nimensä mukaisesti asennettuna pintasivun alle staattorin sisältä katsoen eli pohjalle. Vyyhdissä on kaksi eristettyä vyyhden ulosottojohdinta, jotka tulevat sekä vyyhden pinta- että pohjasivusta.



Kuva 5. Vyyhden sivun suora osa punaisessa ympyrässä, vyyhden lenkki keltaisessa ympyrässä ja vyyhden pää, sekä ulosottojohtimet vihreässä ympyrässä

4.3 Kytkenärenkaisto

Staattorin kytkentärenkaisto muodostuu kuudesta vaiherenkaasta ja väliyhdistäjistä. Väliyhdistäjät toimivat johtimina, jotka yhdistävät kaksi saman vaiheen vyyhtiryhmää toisiinsa. Vyyhtiryhmät tehdään huppuliitoksilla, jolloin liitoksesta syntyy neljän vyyhdin sarjakytkentä. Neljästä sarjaan kytketystä vyyhdestä koostuva vyyhtiryhmä muodostaa väliyhdistäjän avulla kaksi rinnan kytkettyä vyyhtiryhmää. Myös toisessa vyyhtiryhmässä on neljä vyyhtiä. Väliyhdistäjän avulla kahdesta vyyhtiryhmästä saadaan suurempi teho kuin yhdestä vyyhtiryhmästä. Kuvassa 6 (ks. seur. s.) on kytkentärenkaisto ja huppuliitoksia.



Kuva 6. Staattorin kytkentärenkaisto, jonka alla on yhden vyyhtiryhmän huppuliitokset punaisen ympyrän sisällä. Huppuliitosten eristyksen päällä on musta kumisukka

Yhteen liitettyjen vyyhtiryhmien molemmissa päissä on ulosotot, eli väliyhdistäjällä liitetyillä vyyhtiryhmillä on kaksi vyyhden ulosottojohtinta. Toinen vyyhden ulosottojohtimista on käämin ykköspää ja toinen vastaavasti kakkospää. Vaiherenkaita valmistettaessa käämin eri päät tehdään erillisiksi vaiherenkiksi, jonka vuoksi kolmivaiheiseen generaattoriin valmistetaan kuusi vaiherengasta.

Vaiherengas muodostuu useasta rinnanhaarasta. Rinnanhaara tarkoittaa vaiherenkaassa yhtä sarjaan kytkettyä vyyhtiryhmää. Vaiherenkaassa voi olla seitsemän rinnanhaaraa. Rinnanhaarojen lukumäärästä voi päätellä generaattorin napaluvun, joka on staattorissa ja roottorissa sama.

Kytkentärenkaisto valmistetaan aksiaali- ja radiaalirenkaistoon. Aksiaalilla tarkoitetaan vyyhden pään yläpuolella olevaa tilaa ja radiaalilla tarkoitetaan vyyhden pääsivulla olevaa tilaa. Aksiaalinen ja radiaalinen renkaisto muodostavat keskenään 90°:een kulman. Vaiherenkaat jaetaan tasaisesti kummallekin renkaistolle niin, että

aksiaalisella renkaistolla on kaksi vaiherengasta ja kaksi rengasta väliyhdistäjiä, ja radiaalisella renkaistolla on neljä vaiherengasta.

Vaiherenkaiden ulosotot sijaitsevat staattorin sivuilla molemmin puolin niin, että kummallakin puolella on kolme vaiherenkaiden ulosottoa. Vaiherenkaiden ulosottoihin kiinnitetään kaapelit, jotka toimivat sähköenergian siirtäjinä staattorissa.

4.4 Käämit

Staattorissa on kolme käämiä, joiden päät merkitään U1, V1 ja W1 sekä U2, V2 ja W2. Käämin kakkospäät (U2, V2 ja W2) kytketään tähteen ja käämin ykköspäät (U1, V1 ja W1) kytketään sähköverkkoon. Tähteen kytkeminen voidaan tehdä koneen molemmille puolille. Pääliitäntäkotelon sijainti määrää tähteen kytkettävän pään puolen. Pääliitäntäkotelon sijainti on staattorin D - päästä katsottuna joko oikealla tai vasemmalla. Loppuasiakas määrää pääliitäntäkotelon puolen, joka on tyypillisesti oikealla. (Viitaharju 2013.)

5 Kytkentärenkaiston nykyisen valmistustavan kuvaus

Tässä luvussa kuvataan staattorin kytkentärenkaiston valmistusprosessin eri vaiheet ja staattorinvalmistajan eli käämijän suorittamat työvaiheet ja valmistuskriteerit. Kunkin työvaiheen kuvauksen yhteydessä on kirjattu menetelmässä ilmenevät vahvuudet (v), haasteet (h) sekä kehittämismahdollisuudet (m).

5.1 Valmistusdokumentti ja siihen perehtyminen

Staattorin valmistusprosessi on ryhmätyötä siten, että kaksi staattorinvalmistajaa työskentelee yhdessä työvuorossa saman staattorin parissa. Kolmivuorotyössä kytkentärenkaiston valmistaminen vie aikaa keskimäärin kaksi työvuoroa eli noin 32 henkilötyötuntia. Tällöin kytkentärenkaiston valmistukseen osallistuu kaksi tai kolme työparia. (ABB:n työn tutkimus 2013.)

Kytkentärenkaiston valmistus aloitetaan perehtymällä valmistusdokumenttiin. Kaikkien staattorinvalmistajien odotetaan tutustuvan sähkö- ja mekaniikkasuunnitteluosastoilla

luotuun valmistusdokumenttiin. Paperinen valmistusdokumentti on nähtävillä kunkin työpisteen ilmoitustaululla. Kytkenkärenkaisto valmistetaan yhdessä työpisteessä, mutta koko staattorin valmistusprosessi edellyttää työpisteen vaihtamista (Helin 2010).

Valmistusdokumenttiin on kirjattu kunkin kytkenkärenkaiston valmistukseen liittyvät päätekijät mm. generaattorin pääjännite, kuparijohtimien poikkipinta-ala, kytkenkärenkaistolle korkeussuunnassa tarvittava tila ja generaattorin käyttöympäristö. Dokumentti sisältää myös valmistusta määrääviä materiaalivalintoja sekä kytkenkärenkaiston tila-, massa- ja dimensiomäärytyksiä. (ABB:n staattorin valmistusdokumentti 2013.)

Valmistusdokumentti sisältää myös kytkenkäkaavion, jonka perusteella kytkenkärenkaisto valmistetaan. Kytkenkäkaaviosta ilmenee vyyhden ulosottojohdinten sekä vaiherenkaiden ulosottojen sijainnit renkaistossa, mitkä merkitään kytkenkäkaavion mukaan. Vyyhden ulosottojohdinten vaihemerkinnät (W2, U1, V2, V1, W1 ja U2) tehdään vyyhden päähän ja vaiherenkaiden ulosottojen sijainnit merkitään puristusrenkaaseen.

Vaiherenkaiden ulosottojen sijainnit on tiedettävä, jotta kaapelointi voidaan tehdä. Valmistusdokumentin perusteella levysydämen urat on numeroitu prosessin aikaisemmassa vaiheessa levysydämen puristusrenkaaseen.

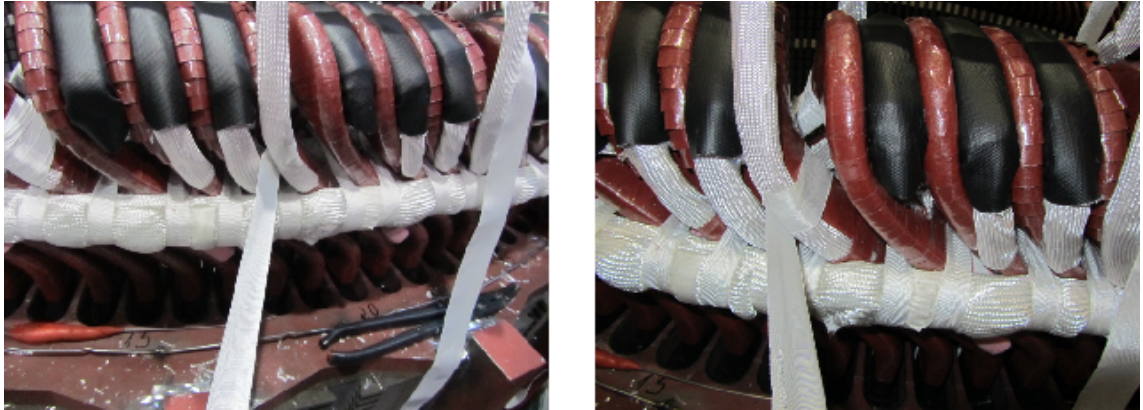
Valmistusdokumentin ja siihen perehtymisessä esiintyvät vahvuudet (v), haasteet (h) ja kehittämismahdollisuudet (m) ovat seuraavat:

- valmistusdokumentissa on riittävä informaatio (v)
- valmistusdokumenttiin perehtyminen on staattorinvalmistajan omalla vastuulla (h)
- valmistusdokumenttiin voidaan lisätä esimerkiksi taulukko, johon prosessin aloittavat staattorinvalmistajat voivat kuitata perehtyneensä dokumenttiin (m).

5.2 Väliyhdistäjien valmistaminen

Tässä generaattorimallissa kaikki väliyhdistäjien vyyhden ulosottojohtimet tulevat vyyhden pintasivusta. Väliyhdistäjät yhdistävät kaksi saman vaiheen vyyhtiryhmää sarjaan keskenään. Väliyhdistäjien teko alkaa tukemisella, jolloin jokainen vyyhden ulosottojohdin sidotaan polyesterinauhalla vyyhden päähän. Käytännössä sitominen tarkoittaa

polyesterinauhan pyörittämistä koko vyyhden sivun sekä vyyhden ulosottojohtimen ympärille niin tiiviisti, että se tukeutuu tiukasti kiinni vyyhden päähän kuvan 7 osoittamalla tavalla.



Kuva 7. Vyyhden ulosottojohtimen sitominen vyyhden päähän

Polyesterinauha päätetään solmulla vyyhden ulosottojohtimeen kuvan 8 mukaisesti. Tämä työvaihe tukee sekä yksittäistä vyyhden ulosottojohtinta että kytkentärenkaistoa kokonaisuudessaan sen ollessa valmis.



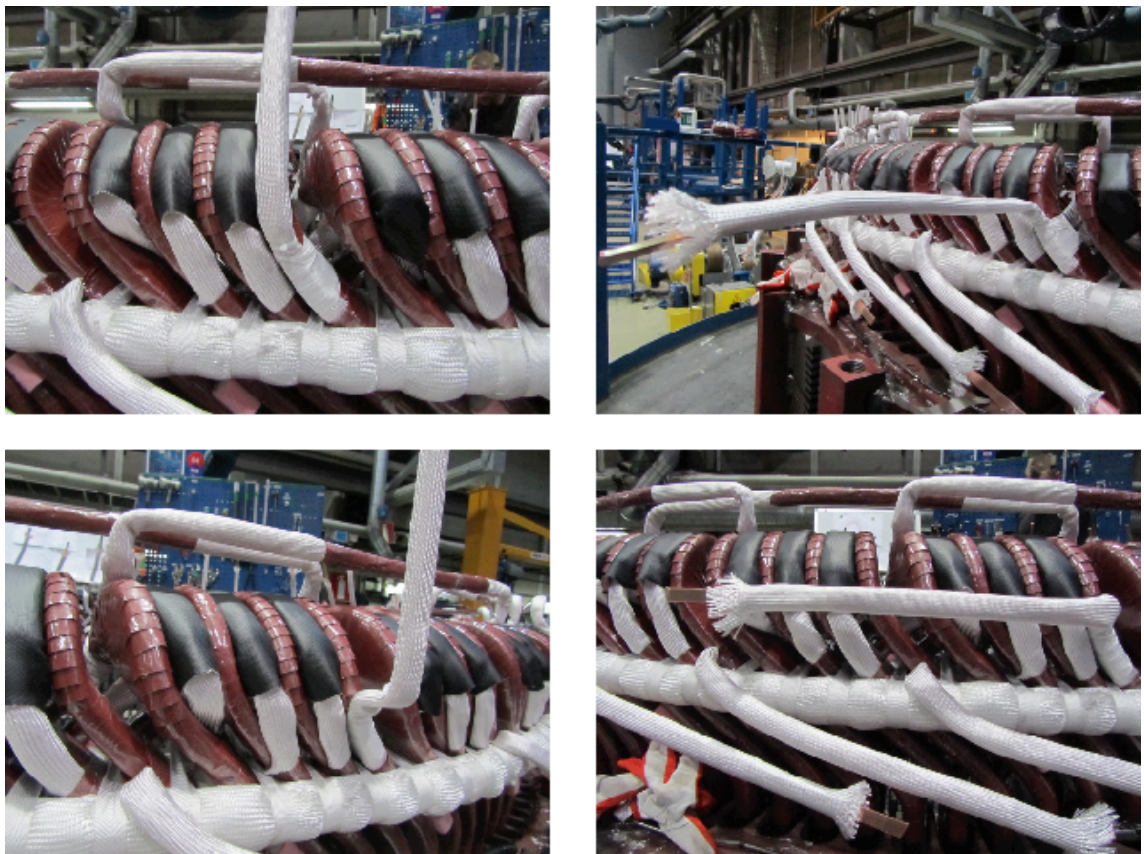
Kuva 8. Polyesterinauhalla tuettu vyyhden ulosottojohdin

Ensin valitaan väliyhdistäjäparit ensimmäisen kierroksen valmistamista varten. Ns. yhdellä kierroksella tarkoitetaan samalla tasolla olevaa vaiherengasta, joka kiertää staattorin joko radiaalisen tai aksiaalisen renkaiston puolella. Valitut väliyhdistäjät nostetaan pystyyn niin, että voidaan visuaalisesti tarkastaa vyyhden ulosottojohtimien olevan valmistusdokumentin mukaisia. Visuaalisen tarkastuksen jälkeen voidaan aloittaa vyyhden ulosottojohtimien taivuttaminen.

Taivuttamisessa on tarkoitus kääntää vyyhden ulosottojohdin vyyhtien päiden ylle poikkittaiseen tasoon. Tätä tasoa kutsutaan aksiaaliseksi renkaistoksi.

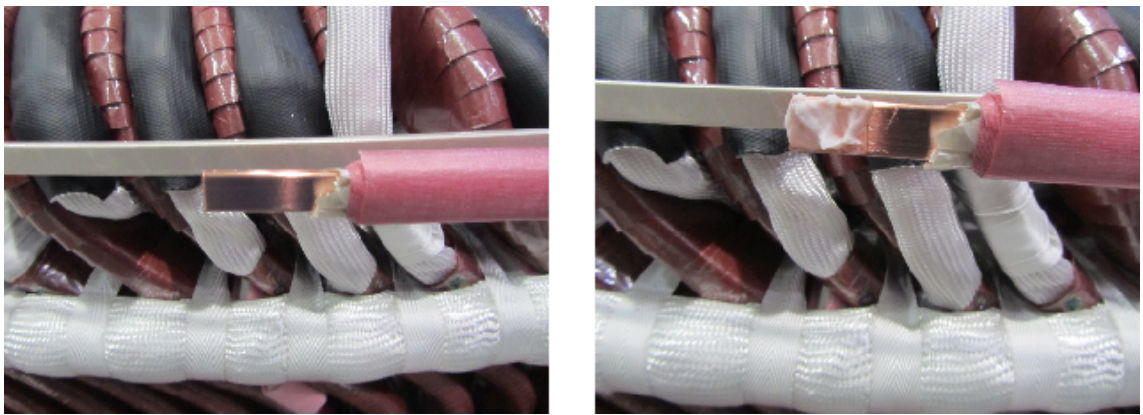
Taivuttamisen tekemiseen (kuva 9) on monia eri tapoja, jotka vaihtelevat suurimmaksi osaksi johdinkuparin paksuudesta johtuen. Mikäli kupari on poikkipinta-alaltaan pientä esimerkiksi alle 50 mm^2 , kupari voidaan taivuttaa joko lattapihtien tai siirtoleukapihtien avulla. Jos kupari on poikkipinta-alaltaan suurta esimerkiksi yli 50 mm^2 , voidaan taivuttamisessa käyttää apuvälineenä alumiinista putkea, jolloin saadaan pihtejä enemmän vipuvartta taivuttamiseen.

Väliyhdistäjien taivuttamisessa on tärkeää saada riittävä korkeus vyyhden päihin, sillä väliyhdistäjien ensimmäinen kierros määrää koko aksiaalisen renkaiston korkeuden ja ilmaeristysvälit. Ilmaeristysvälit tarkoittavat tässä tapauksessa kytkenrenkaiston etäisyyttä vyyhden päihin. Vaiherenkaat pyritään valmistamaan samankorkuisiksi väliyhdistäjien kanssa, mikä helpottaa renkaiston sisäistä tukemista (ks. 5.5).



Kuva 9. Vyyhden ulosottojohtimen taivuttaminen

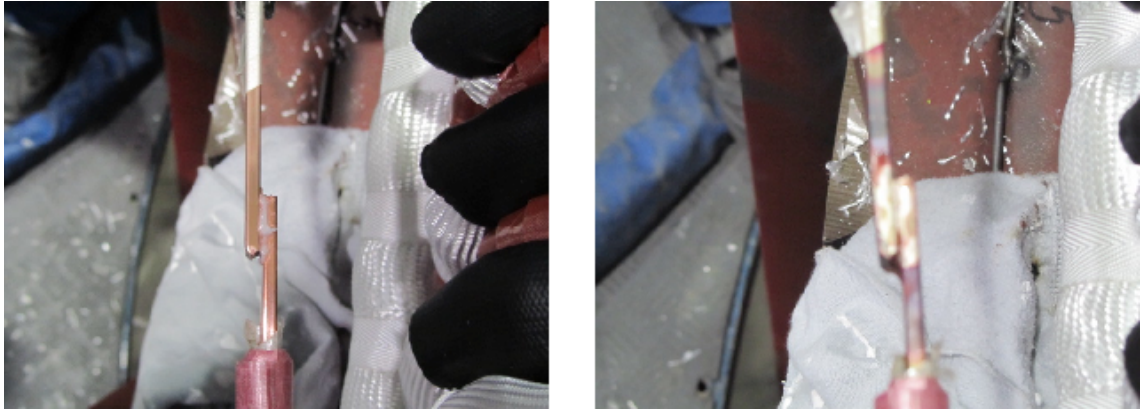
Väliyhdistäjään kytkettävät vyyhden ulosottojohtimet käännetään toisiaan kohti. Sama menettely tehdään muillekin ensimmäisen kierroksen väliyhdistäjäpareille. Vyyhden ulosottojohtimien johdinkupareita lyhennetään sen verran, että väliyhdistäjäparin johdinkuparit limittävät toisensa noin 10 mm:n pituudelta. Näin väliyhdistäjät ovat valmiita juottamista varten. Ennen juottamista johdinkupareiden väliin laitetaan juotospastaa (kuva 10). Juotospasta antaa juottamisessa käytettävälle hopealle mahdollisuuden levitä kauttaaltaan johdinkupareiden limitysalueelle. Mikäli juotospastaa ei käytetä johdinkupareiden välissä, johdinten välille ei synny kuumajuotosta. Kun juotospasta on laitettu kaikkien juotettavien väliyhdistäjien kuparijohtimien väliin, juottaminen voidaan aloittaa.



Kuva 10. Johdinkupariin laitettu juotospasta

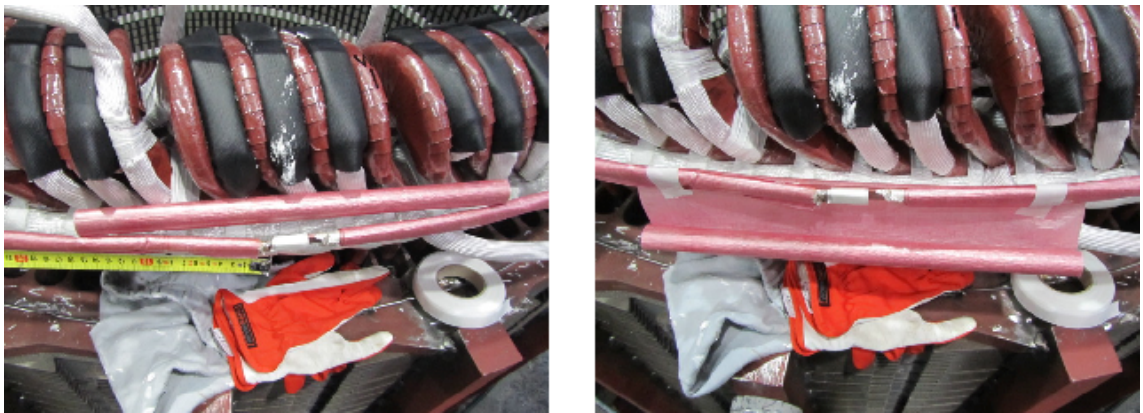
Juottamisessa käytetään suuritehoista induktiokuumentinta, joka kuumentaa johdinkupareita. Kupareiden hehkuessa punaisina voidaan hopealankaa juottaa kuumiin kuparijohtimiin. Kun riittävä määrä hopeaa on juotettu liitoskohtaan, kuumennin voidaan sulkea puristaen edelleen kuumentimella tiukasti liitoskohtaan.

Mikäli induktiokuumentimen irrottaa heti liitoskohdasta, on mahdollista aiheuttaa kylmäjuotos. Juotos tarkistetaan visuaalisesti heti juottamisen jälkeen, ja jos juotos näyttää epäilyttävältä, voidaan juotoskohtaa käänellä pihdeillä. Jos epäilyttävä juotos on kylmäjuotos, pihdeillä käntely irrottaa kuparijohtimet toisistaan. Kuvassa 11 (ks. seur. s.) on havainnollistettu juotoskohta ennen ja jälkeen juottamisen.



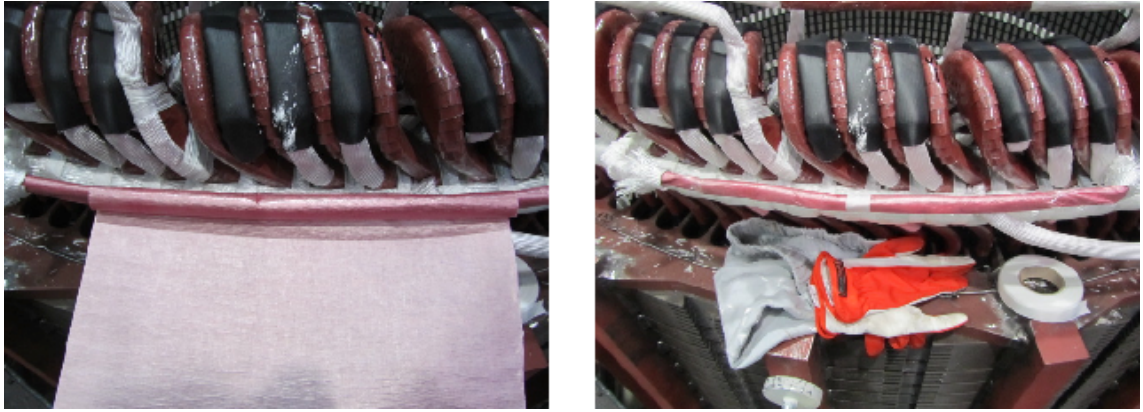
Kuva 11. Johdinkupareiden juotoskohta ennen juottamista ja sen jälkeen

Kun juotokset on todettu hyväiksi ja kestäviksi, jäähtyneisiin juotoskohtiin laitetaan suojaavaa teippiä. Teipillä suojataan juotoskohdassa olevat terävät reunat, jottei juotoksen päälle pyörítettävä eriste rikkoudu. Eristeen on limityttävä riittävän pitkä matka vyyhden ulosottojohtimessa olevan eristeen kanssa kuvan 12 mukaisesti. Eristeen limitysmatkan vaatimukset vaihtelevat jännitteen mukaan. (Käämityksinä kyllästettävien vaihtovirtakoneiden staattorikäämintäohje 2012: 37.)



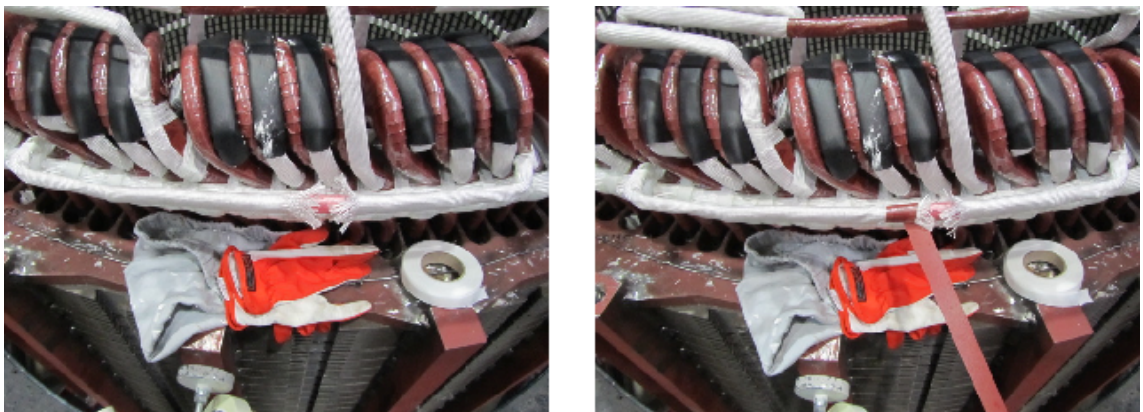
Kuva 12. Eristeen limittäminen vyyhden ulosottojohtimen eristeen päälle, ja sen kiinnittäminen

Seuraavaksi eristetään juotoskohdat eristepaperilla kuvan 13 (ks. seur. s.) mukaan. Eristettä on oltava riittävän monta kierrosta. Eristeen kierrosmäärät määräytyvät jännitteen mukaan. Lopuksi eriste lukitaan teipillä, jotta eriste ei purkaudu.



Kuva 13. Juotoskohdan eristäminen ja eristeen lukitseminen

Lopuksi eriste on vielä suojattava, jotta se ei vaurioidu prosessin myöhemmässä vaiheessa. Eristeen suojauksessa voidaan käyttää vyyhden ulosottojohtimen päällä olevaa nailonsukkaa sekä pintanauhaa kuvan 14 mukaisesti.



Kuva 14. Eristeen suojaaminen nailonsukalla ja pintanauhalla

Väliyhdistäjä on näin valmis, ja se voidaan sijoittaa lopulliseen paikkaansa ja muotoonsa mukaillen lieriönmuotoista levysydäntä. Toinen väliyhdistäjäkierrös valmistetaan kuten ensimmäinen väliyhdistäjäkierrös, ja se sijoitetaan heti ensimmäisen väliyhdistäjäkierröksen viereen kuvan 15 (ks. seur. s.) mukaisesti jättäen eristettyjen johtimien väliin noin 20 mm:n välinen etäisyys. Etäisyyden on oltava riittävä, jotta vaiherenkaiden välinen ilmaeristysväli on kriteerien mukainen (käämityksinä kyllästettävien vaihtovirtakoneiden staattorikäymintäohje: 22).



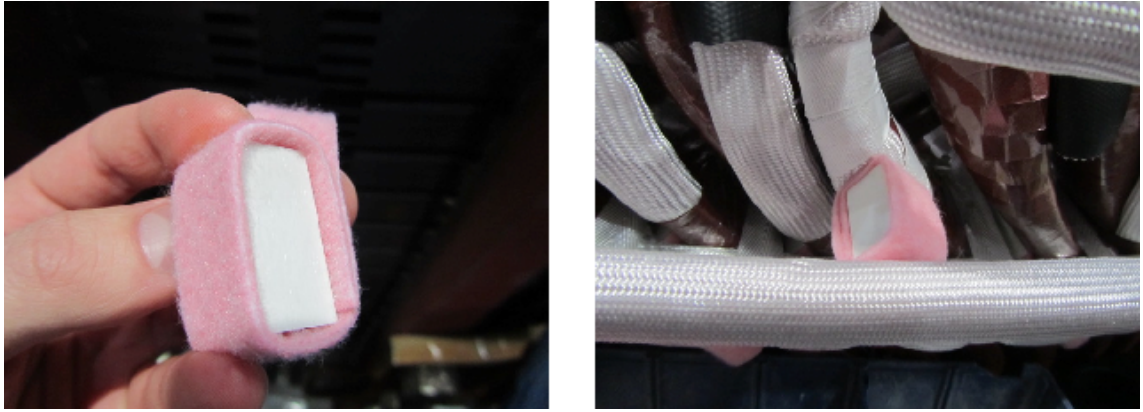
Kuva 15. Väliyhdistäjiä kahdessa ns. kierroksessa aksiaalisessa renkaistossa

Väliyhdistäjien valmistamisen vahvuudet (v), haasteet (h) ja kehittämismahdollisuudet (m) ovat seuraavat:

- prosessin lyhytkestoisuus (v)
- eristysmenetelmät (v)
- vyyhden ulosottojohtimen taivuttaminen (h)
- ensimmäisen tason väliyhdistäjien korkeuden määrittäminen (h)
- vyyhden ulosottojohtimen taivuttamisen kehittäminen (m).

5.3 Kytkentärenkaiston ulkoinen tuenta

Ulkoinen tuenta tarkoittaa tukipalojen lisäämistä kytkentärenkaiston ja vyyhden pään väliin kuvan 16 (ks. seur. s.) mukaan. Laminaatista valmistettuja tukipaloja on erikokoisia. Ulkoinen tuenta tukevoittaa sekä aksiaalista että radiaalista renkaistoa mahdollisessa tärinässä. Kytkentärenkaistoon on lisättävä tukipaloja, mikäli tukipisteiden välinen etäisyys on yli 200 mm. Tukipisteellä tarkoitetaan vyyhden ulosottojohtimen taivuttamiskohtaa.



Kuva 16. Huovalla päällystetty tukipala sekä sen sijoittaminen vaiherenkaan ja vyyhden pään väliin

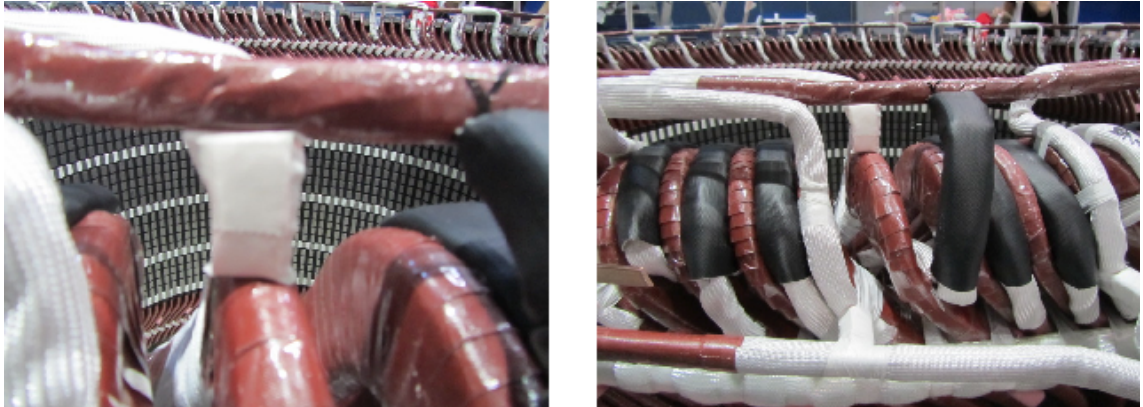
Tukipala muodostaa tukipisteen kytkentärenkaiston ja vyyhden pään välille kuten myös vyyhden ulosottojohtimen taivuttamiskohta. Tukipisteitä on oltava enintään 200 mm:n välein kaikkialla kytkentärenkaistossa, paitsi kaapelin tukialueella. Kaapelin tukialueella tarkoitetaan aluetta kytkentärenkaistossa, joka on kaapeleiden läpivientikohdan ja siitä kauimmaisen vaiherenkaan ulosoton välissä. Kaapelin tukialue on samanmittainen molemmilla puolilla kytkentärenkaistoa.

Kaapelin tukialueella ulosottojohtimen taivuttamiskohtaa ei lasketa tukipisteeksi. Lisätukipala on ulosottojohtimen taivuttamiskohdasta huolimatta lisättävä aksiaaliselle puolelle joka toiseen vyyhtiryhmään ja radiaaliselle puolelle jokaiseen vyyhtiryhmään. Palan sijoituskohdan saa staattorinvalmistaja itse valita näiden vaatimusten mukaisesti, mutta palojen on oltava systemaattisesti samoissa kohdissa kauttaaltaan kaapelin tukialueella, jotta tukipalojen välinen etäisyys toisistaan ei muodostu liian suureksi.

5.3.1 Aksiaalisen renkaiston ulkoinen tuenta

Sekä aksiaalisen että radiaalisen renkaiston tuenta voidaan periaatteessa tehdä samanaikaisesti. Työ kannattaa kuitenkin tehdä molempiin renkaistoihin erikseen, koska se on prosessin kannalta nopeampaa. Tuenta aksiaaliseen renkaistoon on loogisinta tehdä toisen kierroksen väliyhdistäjiin, koska silloin tukipala muodostaa kohtisuoran linjan vyyhden päähän kuvan 17 (ks. seur. s.) osoittamalla tavalla. Tukipalaksi valitaan laminaattipala, joka on alle 50 mm pitkä. Palan ympärille pyöritetään huopaa, ja se sijoitetaan sellaisenaan staattorinvalmistajan valitsemaan paikkaan. Huovan tarkoitus on

sekä suojata eristeitä teräviltä laminaattipalan kulmilta että tehostaa staattorin kyllästyprosessin vaikutusta tuennan kohdalta.



Kuva 17. Tukipala väliyhdistäjän ja vyyhden pään välissä

Tukemiseen käytetään polyesterinauhaa, jonka avulla vyyhden pään ja väliyhdistäjän väliin jäävä pala kääritään tiukaksi paketiksi. Polyesterinauhaa pyöritetään ensin pitkittäin väliyhdistäjän ja vyyhden pään ympäri, jotta pala jää tiukasti kiinni niiden väliin. Kun nauhaa on pyöritetty pitkittäin riittävän monta kertaa, ja sidos on tiukka, kierretään nauhaa poikittain laminaattipalan ympärille, jotta pala ja huopa eivät näy. Polyesterinauha päätetään solmulla väliyhdistäjään ja ylimääräinen nauha leikataan pois. Kuvassa 18 on havainnollistettu tukipalan sidontaa.



Kuva 18. Tukipalan sidontaa polyesterinauhalla ensin pitkittäin väliyhdistäjän ja vyyhden pään ympäri, sen jälkeen laminaattipalan ympärille poikittain

5.3.2 Radiaalisen renkaiston ulkoinen tuenta

Radiaalinen renkaisto tuetaan aksiaalisen renkaan tavoin, ja se tehdään kahden valmistetun vaiherenkaan jälkeen, koska silloin se on käytännöllisintä tehdä. KytKentärenkaistoa ei ole vielä valmistettu loppuun, jolloin on enemmän tilaa tehdä tuenta. Kahden valmistetun vaiherenkaan jälkeen kytKentärenkaisto kiertää kauttaaltaan staattorin ympäri, jolloin tukipala voidaan lisätä vaadittuun paikkaan. (ks. 5.4.2).

KytKentärenkaiston ulkoisen tuennan vahvuudet (v), haasteet (h) ja kehittämismahdollisuudet (m) ovat seuraavat:

- ulkoinen tuenta tukevoittaa molempia renkaistoja (v)
- ABB:n toimintaohjeessa on määritelty radiaalisen renkaiston ulkoisen tuennan vaatimukset tarkasti (v)
- staattorinvalmistaja saa itse päättää paikan tukipaloille vyyhtiryhmän ja vaiherenkaiden välille (h)
- aksiaalisen renkaiston ulkoisen tuennan vaatimusten päivittäminen ABB:n toimintaohjeeseen (m).

5.4 Vaiherenkaiden valmistaminen

Vaiherenkaiden valmistaminen aloitetaan tässä generaattorimallissa radiaalisella renkaistolla. Radiaaliseen renkaistoon valmistetaan kaiken kaikkiaan neljä vaiherengasta, jotka tehdään järjestyksessä alhaalta ylöspäin. Viimeiset kaksi vaiherengasta tehdään aksiaaliseen renkaistoon väliyhdistäjien viereen. Väliyhdistäjien jälkeen aksiaaliseen renkaistoon ei vielä valmisteta vaiherenkaita, vaan ne tehdään vaiherenkaiden valmistusprosessin lopussa. Valmistaminen aloitetaan vaiherenkaasta W2.

5.4.1 Vaiherenkaan valmistus- ja kokoamisprosessi

Kaikkien vaiherenkaiden kupariset vyyhden ulosottojohtimet tulevat vyyhden pohjasivusta ja niiden merkinnät ovat vyyhden päässä (ks. 5.1). Ennen kuin itse vaiherengasta aletaan valmistaa on kaikki pohjasta tulevat vyyhden ulosottojohtimet tuettava polyesterinauhalla vyyhdenpään kiinni. Sidonta toteutetaan täysin samalla menetelmällä kuin väliyhdistäjien teossakin (ks. 5.2). Erona on kuitenkin se, että sidonnan korkeus vaihtelee, ja tuettavana on vyyhden ulosottojohdin sekä vyyhden pohjasivu.

Sidonnan korkeuden vaihtelemisen syynä on vaiherenkaiden tuentavälien etäisyys (ks. 5.5), joka määrää vyyhden ulosottojohtimelle sidonnan vähimmäiskorkeuden. Aksiaali-renkaistoon valmistettavien vaiherenkaiden tuentavälien etäisyyksien vaatimukset eivät esimerkiksi täyty, jos sidonta jätetään kokonaan tekemättä.

Kun kaikki vyyhden ulosottojohtimet on tuettu polyesterinauhalla vyyhden päähän, aloitetaan vaiherenkaiden ulosottojohtimien taivuttaminen. Ensin päätetään ensimmäisen vaiherenkaan korkeus. Korkeus määrää pitkälti sen, muodostaako aksiaali- ja radiaali-renkaisto vaadittavan 90°:een kulman kaikkien vaiherenkaiden ollessa valmiina. Korkeus valitaan suurpiirteisesti siten, että kaikki saman vaiherenkaan vyyhden ulosottojohtimet taivutetaan samaan korkeuteen. Taivuttaminen tapahtuu samalla tavalla kuin väliyhdistäjien teossakin (ks. 5.2).

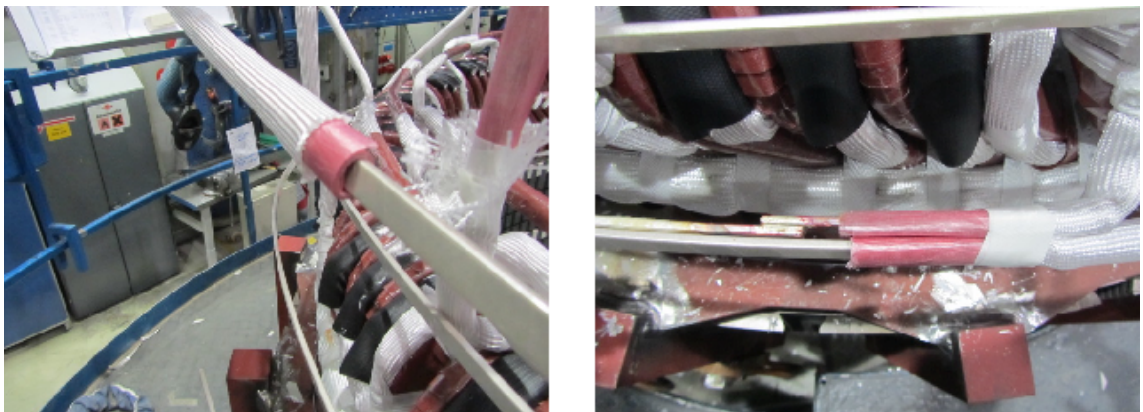
Taivuttamisessa on syytä kiinnittää huomiota korkeuden lisäksi vyyhden ulosottojohtimen etäisyyteen vyyhden päistä, koska ensimmäinen vaiherengas määrää radiaalisen renkaiston lopullisen etäisyyden vyyhden päihin. Ilmaeristysvälien on myös toteuduttava vyyhden pään ja molempien renkaistojen välillä, niin kuin väliyhdistäjien teossakin (ks. 5.2). Kun kaikki vyyhden ulosottojohtimet on taivutettu, ja ne ovat sopivalla korkeudella, niistä voidaan leikata ylimääräiset johdinkuparit pois. Johdinkuparit voidaan jättää myös lyhentämättä, mutta silloin eristettä joudutaan käyttämään enemmän. Johdinkuparien ollessa mitoiltaan sopivat, mitataan vaiherenkaan valmistukseen tarvittavat kuparijatkeet.

Kuparijatkeet mitataan vyyhden ulosottojohtimelta vaiherenkaan ulostuloon asti, ja lisätään siihen noin puoli metriä ylimääräistä puristusliitosten eristämistä varten (ks. 5.6). Ennen kuparinjatkeiden leikkaamista on vielä varmistettava valmistusdokumentista generaattorissa käytettävä johdinkuparin poikkipinta-ala. Kuparijatkeet valitaan siten, että jatkeet ovat poikkipinta-alaltaan samankokoista tai suurempia kuin vyyhdeissä käytetty kupari. Kun halutut kuparijatkeet on leikattu, ne sijoitetaan väliaikaisesti puristusrenkaalle juottamista varten.

Juottaminen sujuu täysin samoin menetelmin kuin väliyhdistäjien juottaminen (ks. 5.2). Kun kaikki kuparijatkeet on juotettu, ne laitetaan puristusrenkaalle nojaamaan, jottei muotokuparin profiili vahingoittuisi. Muutaman minuutin jäähtymisen jälkeen juotoskohditiin liimataan lasiteippiä, joka suojaa eristettä juotoskohdan mahdollisilta teräviltä kulmilta. Mikäli eristekierroksissa on vaurioita, se voi aiheuttaa koestuksessa läpilyönnin.

Seuraavaksi aloitetaan juotetun vaiherenkaan kokoonpano, jossa juotetut kuparijatkeet eri rinnanhaaroista kootaan yhteen, ja eristetään eristepaperilla. Työpisteellä on määrämittäisiä eristeputkia ja nomexista valmistettua eristenauhaa. Eristeputket ovat metrin mittaisia ja niiden eristekierrokset määräytyvät jänniteluokan mukaisesti. Nomexnauhat valitaan kytkennässä olevan johdinkuparin leveyden mukaisesti niin, että nomexnauhan on oltava vähintään kaksi millimetriä johdinkuparia leveämpi.

Vaiherenkaan eristäminen aloitetaan pisimmästä kuparijatkeesta, jonka päälle pujoteetaan määrämittäinen eristeputki. Eristeputki valitaan mahdollisimman ohueksi, jottei eristeen ja kuparijohtimen väliin jäisi turhaa ilmaa. Eristeputken sijainti määräytyy seuraavan rinnanhaaran mukaan. Eristeputki teipataan lasiteipillä seuraavaan taivutettuun ulosottojohtimeen niin, että johtimet tulevat rinnakkain, ja että eristeiden päättymiskohta on sama kuvan 19 mukaisesti. Eristeiden ollessa samassa tasossa eri rinnanhaaroissa, voidaan olla varmoja siitä, että eristeiden limitysmatkat ovat riittävät.

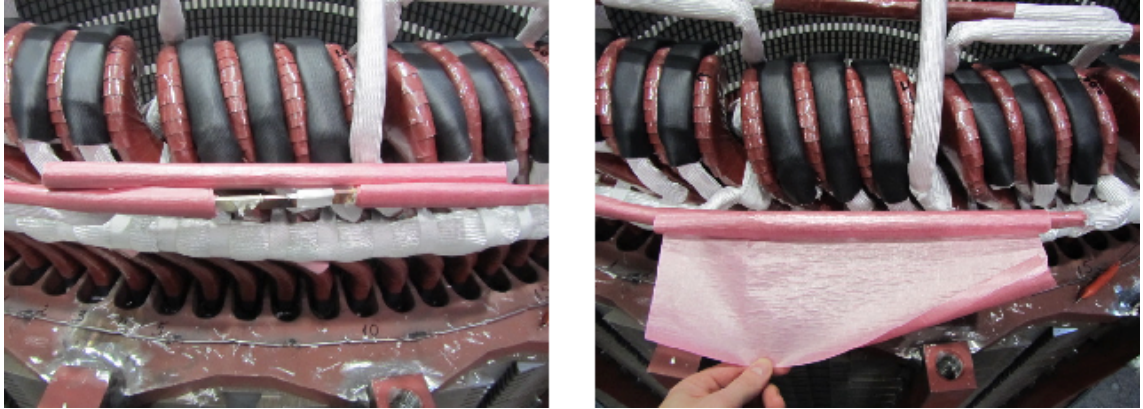


Kuva 19. Eristeputken lisääminen kuparijatkeen päälle ja sen kiinnittäminen teipillä

Kun eristeputki on oikeassa paikassa, voidaan tulevan vaiherenkaan kaarevuus ja etäisyys vyyhden päistä lukita. Eristeputken pysyessä paikalleen teipattuna, kuparijohdin voi silti liikkua eristeen sisällä. Kuparijohdin lukitaan esimerkiksi lasiteipillä niin, että molempien rinnanhaarojen johdinkuparit teipataan yhteen, mikä määrää vaiherenkaan kaarevuuden ja etäisyyden vyyhden päistä.

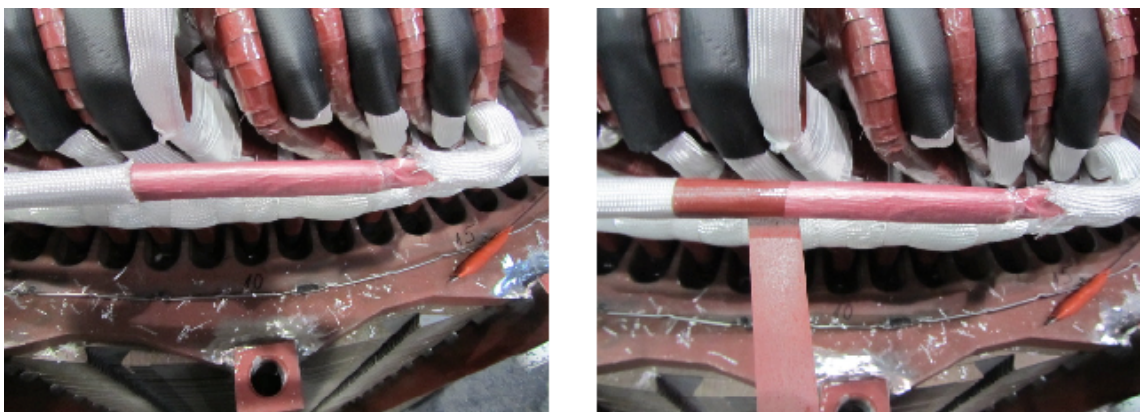
Seuraavaksi voidaan eristää paljaaksi jäänyt kuparijohdin ensimmäisestä rinnanhaarasta kuvan 20 (ks. seur. s.) mukaisesti. Eristettäessä on kiinnitettävä huomiota eristeen kierrosmäärään ja sen limitysmatkaan. Molemmat muuttuvat jännitteen mukaan. Tarvittava määrä eristettä leikataan saksilla määrämittäisistä eristeputkista. Eristeen

päältä poistetaan sitä suojaava nailonsukka ja rullalle pyöritetty putki avataan. Eriste kiinnitetään eristettävän kohdan päälle teipillä. Eriste pyöritetään niin, että jänniteluokan mukaiset kierrosmäärät ja limitysmatkat täyttyvät. Eriste lukitaan teipillä, jotta pyöritetty eriste ei avaudu.



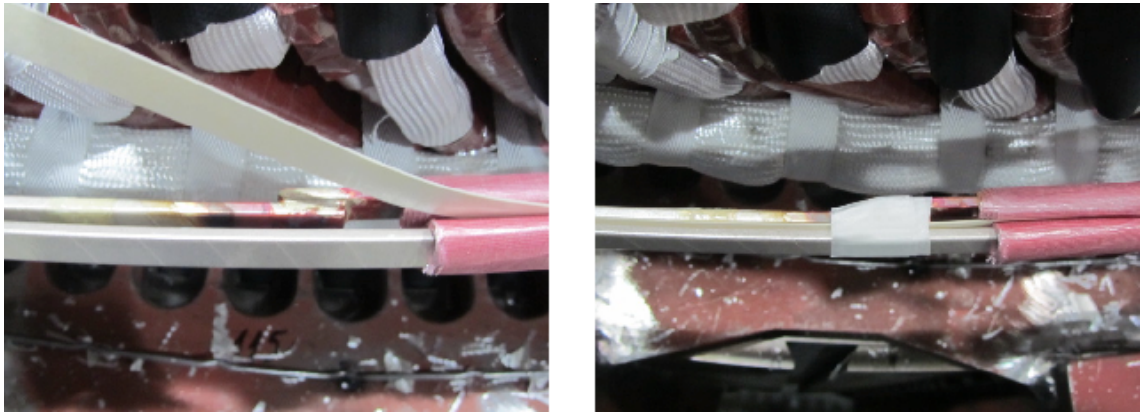
Kuva 20. Ensimmäisen rinnanhaaran eristäminen

Viimeiseksi on vielä suojattava eriste, jotta se ei vahingoittuisi prosessin myöhemmissä vaiheissa. Suojamateriaaliksi käy sekä pintanauha että eristeputken päällä oleva nailonsukka (kuva 21). Eristeen suojaus toteutetaan siis samalla tavalla kuin välyhdistäjissäkin (ks. 5.2). Eristeen ja sitä suojaavan pintanauhan laittamisessa on huomioitava sen tiukkuus. Eriste ja pintanauha on pyöritettävä tiukasti, jotta kytkennän sisäisessä tuennassa (ks. 5.5) vaiherenkaiden ilmaeristysvälit eivät umpeudu. Liiallista voimankäyttöä on luonnollisesti vältettävä, jottei eriste repeä tai vaurioidu juotoskohdasta.



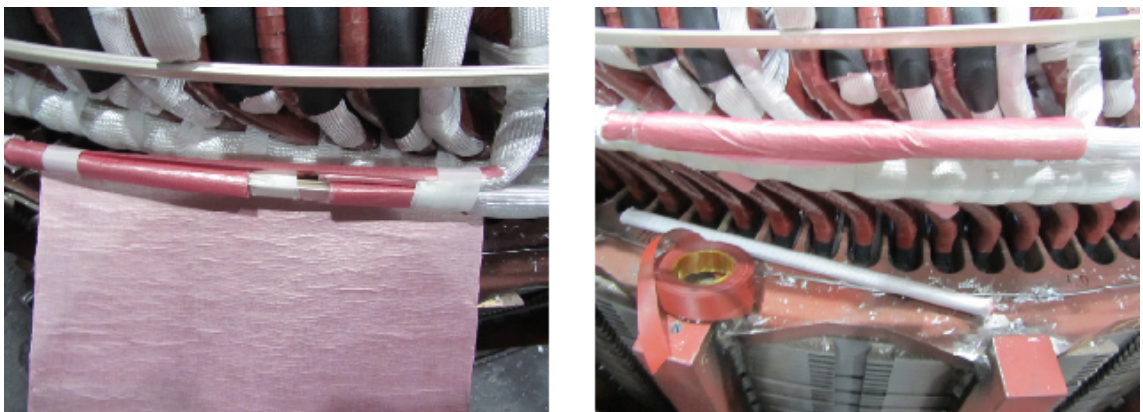
Kuva 21. Eristeen suojaus nailonsukalla ja pintanauhalla

Juotoskohdan ja sen rinnalla kulkevan kuparijohtimen väliin on laitettava liuska nomexnauhaa kuvan 22 mukaisesti. Nomexnauha toimii johdineristeenä kohdassa, josta kuparijohtimien johdineriste on purettu juottamista varten. Nomexnauhat ovat metrin mittaisia suikaleita, josta leikataan tarvittavan mittainen pala. Nomexnauha taitetaan kakinkerroin ja sen terävät kulmat pyöristetään saksin leikkaamalla, jottei sen päälle pyöritettävä eriste vaurioitu.



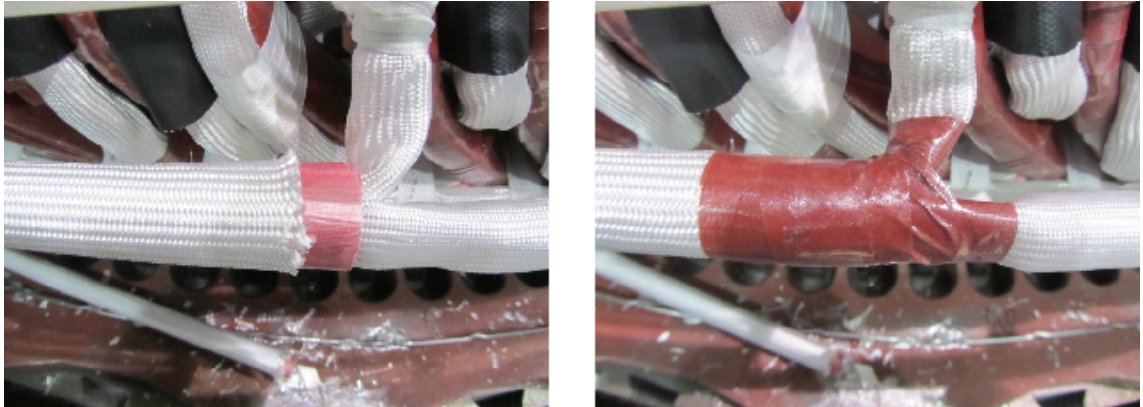
Kuva 22. Kahden rinnanhaaran eristettävä kohta, jossa kuparijohtimien välissä on nomexnauha

Kahden rinnanhaaran ollessa nyt kiinnitettynä toisiinsa ja yhden juotoskohdan eristettynä voidaan kolmaskin rinnanhaara liittää eristettäväksi. Liittäminen toteutetaan täysin samalla tavalla kuin aiemmin kuvattu rinnanhaara, mutta nyt valittavan eristeputken on oltava halkaisijaltaan suurempi kuin aiemmin kuvatun rinnanhaaran, sillä samaan putkeen pujotetaan kaksi kuparijohdinta. Eristämiseen liittyvät menetelmät (kuva 23) toteutetaan samalla tavalla kuin aiemmin kuvattu rinnanhaara.



Kuva 23. Kahden rinnanhaaran eristäminen

Eriste on vielä suojattava kuvan 24 mukaan. Eriste voidaan suojata sekä nailonsukalla että pintanauhalla.



Kuva 24. Eristeen suojaus nailonsukalla ja pintanauhalla

Kaikkien rinnanhaarojen on oltava eristetty toisistaan, jotta lopputarkastuksessa voidaan mitata vaiheresistanssi jokaisesta vyyhtiryhmästä erikseen. Kaikkien kolmen rinnanhaaran ollessa samassa paketissa, on vielä eristettävä viimeinen osuus vaiherenkaasta. Eristeputki valitaan riittävän leveäksi, sillä kaikki kolme kuparijohdinta tulevat samaan putkeen. Juotoskohdan eristäminen toteutetaan täysin samalla tavalla kuin edellisessäkin kohdassa.

Näin on toinen puoli yhdestä vaiherenkaasta saatu valmiiksi. Staattorin kytkentärenkaiston toinen puoli valmistetaan samalla tavalla kuin edellä on selostettu. Vaiherenkaan ns. puolikkaat kohtaavat määrätysässä paikassa, joka selviää valmistusdokumentista. Valmiista vaiherenkaasta puuttuu enää vain vaiherenkaan ulosottojen taivuttaminen, joka voidaan tehdä välittömästi, mutta sen voi jättää myöhemmäksikin.

Mikäli vaiherenkaan ulosotot taivutetaan välittömästi, se helpottaa kunkin vaiherenkaan hahmottamista ja antaa työntekijälle enemmän tilaa rakentaa muita vaiherenkaita. Jos taas vaiherenkaiden ulosottojen taivuttaminen jää myöhemmin tehtäväksi, ulosoton paikka saadaan kerralla aseteltua valmistusdokumentin mukaiseen sijaintiin. Renkai-
toa valmistettaessa yksittäiset vaiherenkaat voivat hieman liikkua, ja näin ollen taivutetut vaiheiden ulosotot eivät välttämättä lopulta ole oikeassa paikassa. Näin on vaiherengas W2 tehty valmiiksi, ja muut valmistetaan vastaavalla tavalla.

Vaiherenkaan valmistamisen vahvuudet (v), haasteet (h) ja kehittämismahdollisuudet (m) ovat seuraavat:

- vaiherenkaan eristysmenetelmät (v)
- vyyhden ulosottojohtimen taivuttaminen (h)
- vyyhden ulosottojohtimen taivuttamisen kehittäminen (m).

5.4.2 Vaiherenkaiden mitoitus ja valmistusjärjestys

Valmiissa kytkentärenkaistossa on kuusi vaiherengasta, joista neljä valmistetaan radiaaliselle renkaistolle ja loput kaksi vaihetta valmistetaan aksiaaliselle renkaistolle. Prosessi etenee valmistamalla ensin radiaalinen renkaisto loppuun asti. Vaiherenkaiden valmistusjärjestys on W2, U1, V2, V1, W1 ja U2. Vaiherenkaat valmistetaan samoin menetelmin kuin ensimmäiseksi valmistettu vaihe W2.

Valmiin vaiherenkaan W2:n yläpuolelle valmistetaan vaiherengas U1. Vyyhden ulosottojohtimien taivuttamisessa on syytä huomioida jälleen taivutuksen korkeus. Taivuttaminen on tärkeä osa jokaisen erillisen vaiherenkaan valmistamista. Generaattorin jänniteluokasta riippuen on huomioitava vaiherenkaiden väliset ilmaeristysvälit. Ilmaeristysvälien tulee kasvaa, kun jännite kasvaa. Kun taivuttamisen kannalta hyväksi todettu korkeus on valittu, vyyhden ulosottojohdin taivutetaan ja toteutetaan vaiherenkaan valmistuksen kaikki muut työvaiheet. Ainoa ero edellisen vaiheen W2 valmistukseen on sen loppusijoituspaikka, joka on radiaalisessa renkaistossa vaiherenkaan W2 yläpuolella.

Vaiherenkaan U1 ulosotto sijoitetaan toiselle puolelle staattoria kuin vaiheen W2. Näin saadaan enemmän tilaa radiaaliseen tilaan kaapeleille tehtäviä puristusliitoksia varten (ks. 5.5). Vaiherenkaat valmistetaan aina ns. puolta vaihtaen, jolloin kummankin puolen vaiherenkaiden ulosottojen väliset etäisyydet korkeussuunnassa ovat riittävät. Etäisyyksien mitoituksessa on huomioitava puristusliitoksien päälle tuleva eristys, joka on paksu. Kahden valmiin vaiherenkaan jälkeen tehdään ulkoinen tuenta radiaaliseen renkaistoon kuvan 25 (ks. seur. s.) mukaisesti. Ulkoinen tuenta tehdään samalla tavalla kuin aksiaaliseen renkaistoon (ks. 5.2.2).



Kuva 25. Radiaalisen renkaiston ulkoinen tuenta polyesterinauhalla

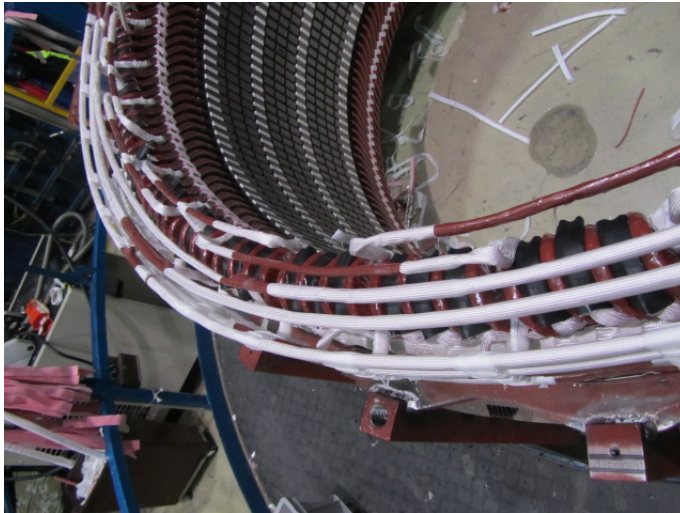
Ulkaisen tuennan jälkeen valmistetaan seuraavat vaiherengaat järjestyksessä V2 ja V1. Nämä kaksi vaiherengasta ovat viimeiset radiaaliselle renkaistolle tulevat vaiherengaat. Niiden valmistamisessa on kiinnitettävä huomiota vyyhden ulosottojohtimien taivutus-ten korkeuksiin. Vaiherenkaiden valmistuttua, on nähtävissä kuinka hyvin tavoitteena oleva 90°:een kulma on muodostunut radiaalisen ja aksiaalisen renkaiston väliin. Valmiina olevat neljä vaiherengasta radiaalisella renkaistolla sekä kaksi kierrosta väliyhdistäjiä aksiaalisella renkaistolla antavat riittävän kuvan kytkennän lopullisesta muodosta ja ulkonäöstä.

Renkaistojen välistä 90°:een kulmaa voi arvioida silmämääräisesti. Vaiherengaan V1 (radiaalisen renkaiston ylin vaihe) olisi oltava samassa tasossa ensimmäisenä tehtyjen väliyhdistäjien kanssa. Loput kaksi vaiherengasta valmistetaan väliyhdistäjien ja vaiherengaan V1 väliin jäävään tilaan. Tekojärjestyksessä seuraavana vuorossa olisi vaiherengas U2, joka sijoitetaan aksiaaliseen tilaan heti vaiherengaan V1 viereen, sen sisäpuolelle. Väliyhdistäjien ja vaiherengaan U2 väliin jää työnteon kannalta hyvin pieni tila yhden vaiherengaan valmistusta varten. Tämän välttämiseksi on tyypillistä, että vaiherengas W1 tehdään ensin.

Vaiherengas W1 sijoitetaan heti väliyhdistäjien perään, jolloin myös vaiherengaan U2 valmistamiselle jää enemmän tilaa, ja prosessi nopeutuu. Näin on kaikki kuusi vaiherengasta ja väliyhdistäjät valmistettu, jotka on havainnollistettu kuvassa 26 (ks. seur. s.). Tämän jälkeen tuetaan kytkentärenkaisto, jota sanotaan sisäiseksi tuennaksi.

Vaiherenkaiden mitoituksen vahvuudet (v), haasteet (h) ja kehittämismahdollisuudet (m) ovat seuraavat:

- vaiherenkaiden väliset ilmaeristysvälit ovat aina riittävät (v)
- toteuttaa 90°:een kulma renkaistojen välille (h)
- välttää suurpiirteinen korkeuden valinta radiaalisen renkaiston vaiherenkaille (m).



Kuva 26. Aksiaalisen ja radiaalisen renkaiston kaikki vaiherenkaat valmistettuna

5.5 Kytkenärenkaiston sisäinen tuenta

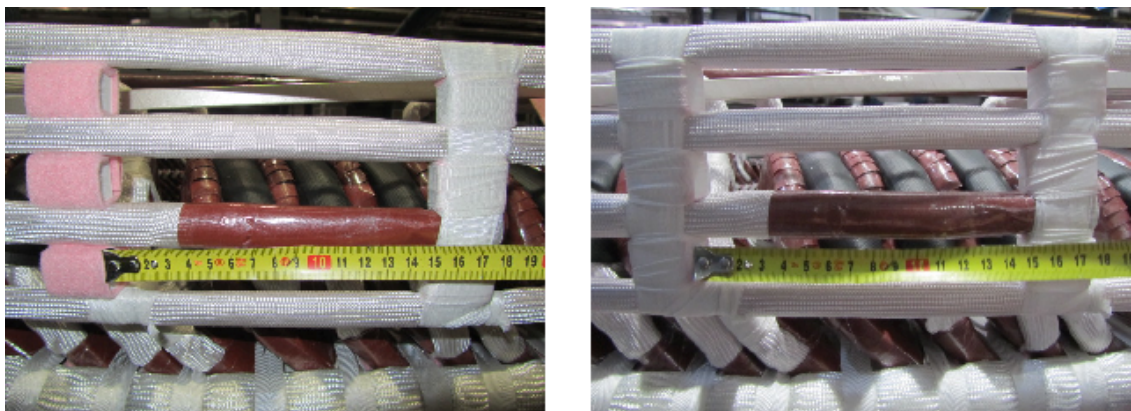
Sisäinen tuenta voidaan aloittaa, kun kaikki vaiherenkaat on valmistettu. Sisäinen tuenta poikkeaa ulkoisesta tuennasta (ks. 5.3) tuentakohteiden perusteella. Ulkoisessa tuennassa tukipala asetettiin vaiherenkaan ja vyyhdenpään väliin, mutta sisäisessä tuennassa tukipala asetetaan kahden tai useamman vaiherenkaan väliin.

Sisäisellä tuennalla on kaksi tärkeää merkitystä kytkennärenkaiston kannalta. Se tukee vaiherenkaita toisiinsa, jolloin kytkennästä tulee mekaanisesti kestävä ja tukipalat vaiherenkaiden välissä pitävät niiden väliset ilmaeristysvälit riittävinä. Ilmaeristysväli määräytyy generaattorin jänniteluokan mukaan, ja sen on toteuduttava kaikkialla kytkennässä. Etäisyyksien on oltava riittävät, jotta ei synny läpilyöntiä vaiheiden välille.

Sisäisen tuennan valmistuksessa on kaksi vaatimusta, joiden tulee täytyä. Kriteereistä toinen määräytyy kytkennässä käytetyn kuparijohtimen poikki-pinta-alan mukaisesti.

Mikäli kuparijohtimen poikkipinta-ala on suurempi kuin 30 mm^2 , on tuennan välien oltava enintään 150 mm. Mikäli kuparijohtimen poikkipinta-ala on taas alle 30 mm^2 , on tuennan välien oltava enintään 100 mm. (Käämityksinä kyllästettävien vaihtovirtakoneiden staattorikäymintäohje 2012: 40.)

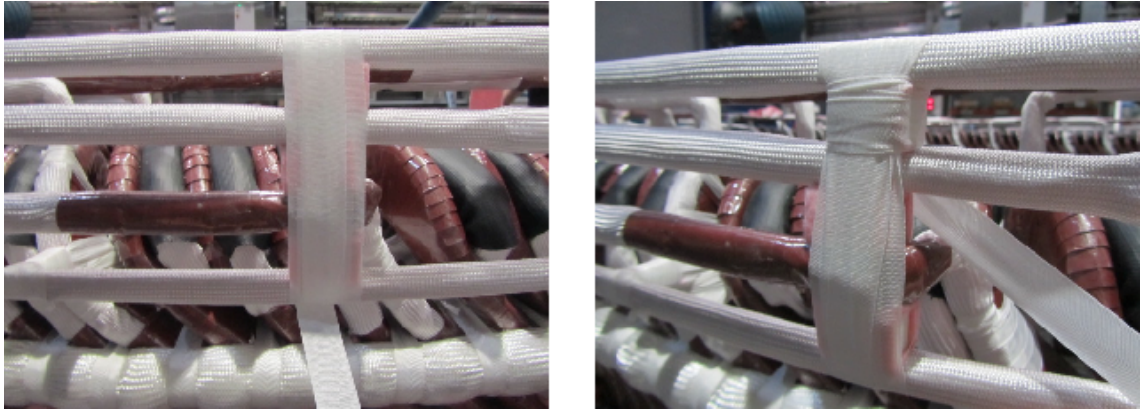
Tuennan väli tarkoittaa vaiherenkaiden välissä olevien tukipalojen välistä etäisyyttä toisiinsa. Esimerkiksi valmiissa kytkentärenkaistossa sisäisessä tuennassa tukipalojen välinen etäisyys ei saa olla missään paikassa suurempi kuin 150 mm kuvan 27 osoittamalla tavalla. Tämä kriteeri koskee generaattoria, jonka staattorin kytkentärenkaiston johdinkupari on poikkipinta-alaltaan suurempaa kuin 30 mm^2 .



Kuva 27. Tukipalojen etäisyydet toisistaan

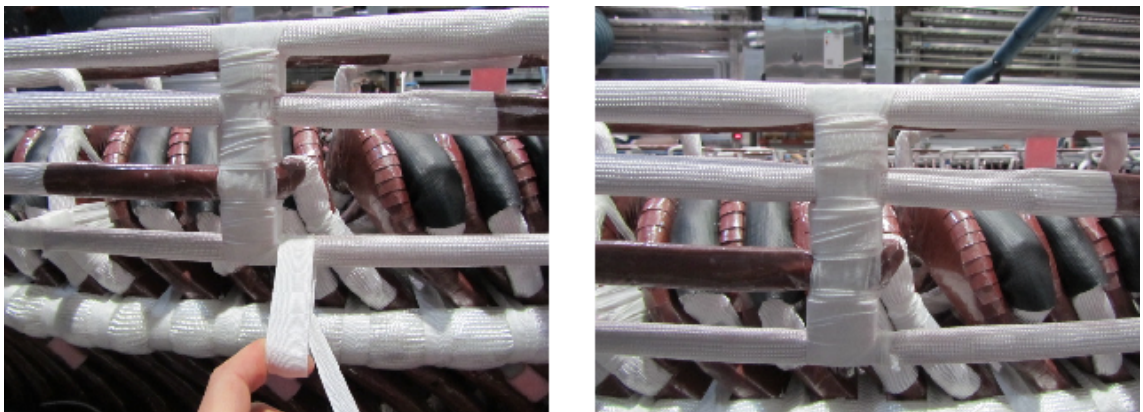
Sisäinen tuenta aloitetaan laminaattipalojen valinnalla. Palojen on oltava riittävän suuria, sillä pala määrää vaiherenkaiden välisen ilmaeristysvälin. Tukipalan ympärille pyöritetään huopaa kuten ulkoisessa tuennassakin, ja pala asetetaan paikoilleen. Tukipaloista voidaan muodostaa suoria rivejä niin, että kaikkien radiaalisen renkaiston vaiherenkaiden väliin asetetaan huovalla päällystetty pala. Kun sopivan kokoiset palat on asetettu paikoilleen, voidaan aloittaa sidonta.

Polyesterinauha pyöritetään tukipalojen ympärille samalla tavalla kuin ulkoisessa tuennassakin (ks. 5.3.1), eli ensin palojen ja vaiherenkaiden ympäri pitkittäin sen jälkeen palojen ympäri poikittain kuvan 28 (ks. seur. s.) mukaisesti.



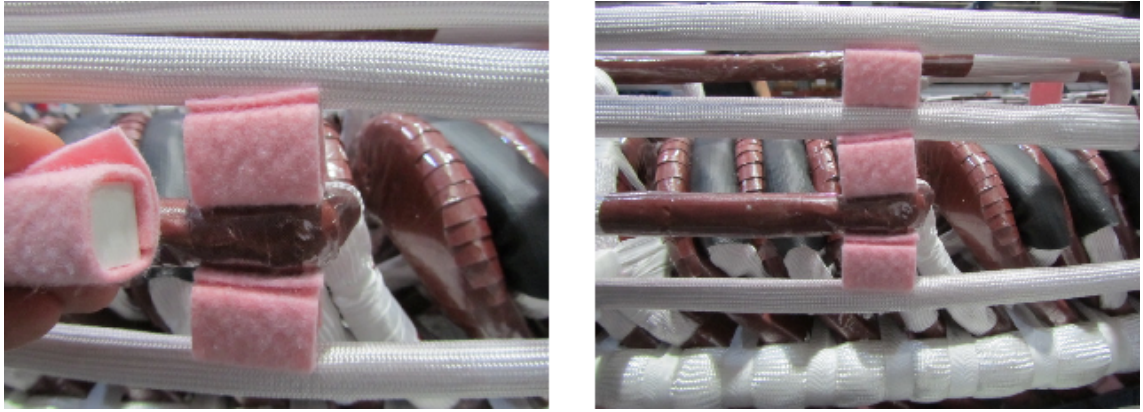
Kuva 28. Polyesterinauhalla sitominen ensin pitittäin vaiherenkaiden ympäri, sen jälkeen laminaattipalojen ympärille poikittain

Nauha voidaan päättää solmulla mihin tahansa vaiherenkaaseen staattorinvalmistajan valitsemalla solmulla (kuva 29). Tukipalojen paikan valinnan määrittävät sekä edellisen tukipalan etäisyys että vaiherenkaan alkupiste. Vaiherenkaan alkupisteellä tarkoitetaan kohtaa, josta vyyhden ulosottojohdin on taivutettu.



Kuva 29. Polyesterinauhan päättäminen solmuun

Vaiherenkaan alkupisteeseen eli vyyhden ulosottojohtimen taivuttamiskohtaan on laitettava tukipala molemmin puolin mahdollisimman lähelle kuvan 30 (ks. seur. s.) mukaisesti. Jos vyyhden ulosottojohtimen taivuttamisesta syntynyt taivuttamiskulma on liian leveä ja jää ilman vaadittavaa tukipalan asettamista, kulma voi muodostua ongelmaksi riittävien ilmaeristysvälien suhteen.



Kuva 30. Tukipalojen sijoittaminen vyyhden ulosottojohtimen taivuttamiskulmaan

Tuennan valmistaminen aloitetaan vaiherenkaiden ulosottojen puolivälistä. Ensin tuetaan kauttaaltaan radiaalinen renkaisto erikseen ja sitten aksiaalinen. Tuennassa edetään staattorin molemmin puolin vaiherenkaiden ulosottojen puolivälistä niitä kohti. Vaiherenkaat muotoutuvat tukipaloja asetettaessa paikoilleen ja näin vaiherenkaiden ulosottojen sijainti saattaa muuttua.

Vaiherenkaiden ulosottojen taivuttaminen kuormittaa johdinkupareita ja toistuva taivuttaminen heikentää kuparin kestävyysominaisuuksia. Tämän takia on hyvä jättää vaiherenkaita tehdessä ulosottojen taivuttaminen tekemättä (ks. 5.4.1). Kun vaiherenkaiden ulosotot taivutetaan vasta sisäistä tuentaa tehdessä, saadaan vaiherenkaan ulosotolle paras mahdollinen sijainti.

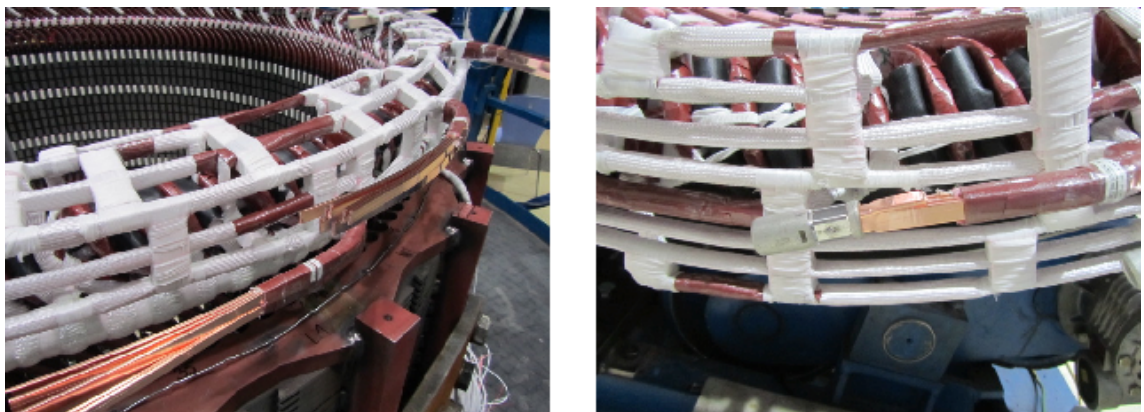
Vaiherenkaiden ulosottojen taivuttaminen on tehtävä ennen aksiaalisen renkaiston sisäistä tuentaa, jotta tukipalat voidaan laittaa täsmällisesti vaiherenkaiden ulosottojen taivuttamiskohtiin. Kaikkien kuuden vaiherenkaan ulosotot taivutetaan kohti uraa numero yksi, joka on toiselta nimeltään ”kello 12”. Kellonaikoihin vertaaminen perustuu kytkentäkaavion ulkonäköön ja muotoon. Kytkentäkaaviossa staattorin kytkentä muodostaa täydellisen ympyrän, jossa urien numerointi aloitetaan aina kello 12:sta kohdalta lähtien. Kaapeleiden ulosvientikohdat staattorista päälliitänäkoteloon sijaitsevat kohdissa kello 11 ja 01.

Sisäiseen tuentaan liittyy vielä aksiaalisen renkaiston tuenta, jossa on oltava tarkkana vyyhden ulosottojohtimen taivuttamisesta syntyvien taivuttamiskulmien kanssa. Taivuttamiskulmia on huomattavasti enemmän aksiaalisessa renkaistossa kuin radiaalisessa

renkaistossa, koska väliyhdistäjät muodostavat kaksi taivuttamiskulmaa ja niiden muodostama vaiherengas on lyhyt.

Kun radiaalirenkaisto on kauttaaltaan tuettu, voidaan vaiherenkaiden ulosotot tehdä valmiiksi. Valmiiksi taivutettujen ulosottojen eristeet lyhennetään noin 120 mm pitkiksi ja johdinkuparien päältä kuoritaan johdineriste pois. Vaiherenkaan ulosoton eristeen päälle pyöritetään pintanauhaa eristeen suojaksi, vaiherenkaat merkitään kytkentäkaavion mukaisesti ja johdinkuparit lyhennetään yhtä pitkiksi keskenään.

Näin on staattorin kytkentärenkaisto sekä renkaiston tuenta valmis ja staattorinvalmistajan työprosessi on loppunut. Ennen kuin staattori voidaan siirtää seuraavaan prosessiin eli tyhjökylästyksen, tarkastajan on hyväksyttävä staattori kauttaaltaan ja tehtävä vaiherenkaiden ulosottoihin puristusliitokset (kuva 31).



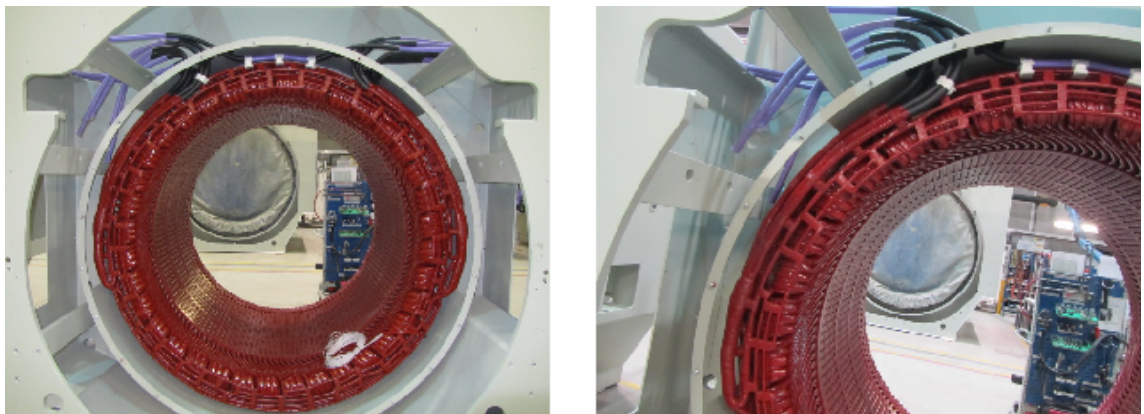
Kuva 31. Vaiherenkaiden ulosotot ja puristusliitokset

Kytkenärenkaiston sisäisen tuennan vahvuudet (v), haasteet (h) ja kehittämismahdollisuudet (m) ovat seuraavat:

- sisäisessä tuennassa käytetyissä materiaaleissa ja menetelmissä ei ole havaittu ongelmia (v)
- ei ole tarkkaa määritystä sidontanarun pitkittäisten ja poikittaisten kierrosten lukumäärälle (h)
- vaiherenkaan ulosoton taivuttaminen (h)
- laatia ohjeistus sidontanarun pitkittäisten ja poikittaisten kierrosten lukumäärästä (m).

5.6 Vaiherenkaiden kaapelointi

Kyllästysprosessin jälkeen kaapeloidaan vaiherenkaat. Kaapeleiden avulla siirretään sähköenergiaa kytkentärenkaiston kautta staattoriin ja sieltä pois. Kaapelin johdinmateriaali on säikeistä alumiinia ja sitä päällystää eriste. Kaapelin toinen pää liitetään vaiherenkaan ulosotossa olevaan puristusliitokseen (ks. 5.5) ja toinen pää viedään staattorista läpi liitäntäkoteloon kuvan 32 mukaisesti. Staattori kyllästetään puristusliitokseen. Kyllästysprosessissa käytettävä hartsi on tehokas sähkötekninen eriste.



Kuva 32. Kaapeleiden läpiviennit liitäntäkoteloihin

Kaapelointi aloitetaan puristusliitosten puhdistamisella. Puristusliitoksissa käytettävät lieriönmuotoiset päittäisliittimet puhdistetaan niiden sisäpuolelta eristävästä hartsiesta puhdistusharjalla, jotta kaapelin ja alumiinisen päittäisliittimen välille syntyy sähköisesti johtava liitos. Puristusliitokset tehdään suuritehoisella hydraulisella leukapuristimella. Yhteen puristusliitokseen kiinnitetään kaksi alumiinista kaapelia.

Puristusliitoksiin kiinnitetyt kaapelit eristetään vulkanisoituvalla eristekumilla. Eristekumin on limityttävä vaiherenkaan ulosottojen ja kaapelin eristeen päälle sekä eristeen on muodostettava vaadittu määrä kierroksia. Eristämisessä limitysten ja eristeen kierrosten lukumäärien kriteerit ovat samat kuin kytkentärenkaiston eristämisessä, jotka vaihtelevat generaattorin jännitteen mukaan. Vulkanisoituvan eristekumin päälle pyöritetään sidontanaru. Sidontanaru suojaa eristettä mekaanisesti ja se parantaa prosessin myöhemmässä vaiheessa tehtävää ilmakeivahartsausta. (Hänninen 2013.)

Puristusliitosten eristämisen jälkeen kaapelit tuetaan kytkentärenkaistoon. Tuennassa käytetään laminaatista valmistettuja tukipaloja. Huovalla päällystetyt tukipalat

asetetaan kaapeleiden ja kytkentärenkaiston väliin kuvan 33 mukaisesti. Tukipala kiinnitetään samoin menetelmin kuin kytkentärenkaiston sisäisessä tuennassa (ks. 5.5), mutta sidontaan käytettävä nauha on kapeaa ja mekaanisesti kestävämpää kuin polyesterinauha. Tukipaloja on laitettava 200 mm:n välein vaiherenkaan ulosotosta lähtien, mutta eristeen alla olevan puristusliitoksen kohdalle ei saa laittaa tukipalaa. (Pääliitäntäkaapeleiden päittäisliitinten puristusliitokset ja pääliitännän eristäminen 2010: 13.)



Kuva 33. Kaapeleiden eristys sekä niiden tuenta kytkentärenkaistoon

Seuraavaksi polyesterinauhalla päällystetty eristyskohta ja tukipalat ilmakeivahartsataan. Ilmakeivahartsin tarkoitus on kovettaa puristusliitoksen eristyskohta ja tukipalat, jotta ne kestäisivät mekaanisesti paremmin. Ilmakeivahartsin kuivuu vähintään 2 tuntia, jonka aikana staattorin puristusrenkaan on oltava suojattuna roiskeilta kuvan 34 (ks. seur. s.) osoittamalla tavalla. Kuivumisen jälkeen kaapeleiden päät tuetaan nippusiteillä väliaikaisesti kytkentärenkaistoon generaattorin loppukokoonpanoa varten.

Vaiherenkaiden kaapeloinnissa esiintyvät vahvuudet (v), haasteet (h) ja kehittämismahdollisuudet (m) ovat seuraavat:

- kaapeleiden tuennan etäisyyksien vaatimukset (v)
- kaapeleiden pituus ja niiden suuri massa (h)
- kaapeleiden massan kohdistuminen kytkentärenkaistoon (h)
- kaapeleiden massan jakaminen useammalla vaiherenkalle (m).



Kuva 34. Ilmakuivahartsatut kaapelit sekä puristusrenkaan suojaus

6 Kehittämiprojektin tulokset

6.1 Kytkentärenkaiston nykyisen valmistusprosessin vahvuuksien, haasteiden ja mahdollisuuksien yhteenveto

Valmistusvaiheiden yksittäisiä haasteita ja kehittämismahdollisuuksia tulee arvioida suhteessa koko valmistusprosessiin, koska yksittäisen tekijän muuttamisella voi olla vaikutusta valmistuksen muihin työvaiheisiin tai valmistusprosessin keston. Tärkeimmät ja suurinta huomiota vaativat vahvuudet (v), haasteet (h) ja kehittämismahdollisuudet (m) ovat seuraavat.

- väliyhdistäjien ja vaiherenkaiden eristysmenetelmät (v)
- renkaiston sisäinen tuenta ja ulkoinen tuenta (v)
- vaiherenkaan valmistusmenetelmät (v)
- kaapeleiden tuennan etäisyyksien vaatimukset (v)
- vyyhden ulosottojohtimen taivuttaminen (h)
- vaiherenkaan ulosoton taivuttaminen (h)
- toteuttaa 90°:een kulma renkaistojen välille (h)
- kaapeleiden pituus ja niiden suuri massa (h)
- kaapeleiden massan kohdistuminen kytkentärenkaistoon (h)
- vyyhden ulosottojohtimen taivuttamisen kehittäminen (m)

- aksiaalisen renkaiston ulkoisen tuennan vaatimusten päivittäminen ABB:n toimintaohjeeseen (m)
- välttää suurpiirteinen korkeuden valinta radiaalisen renkaiston vaiherenkaille (m)
- kaapeleiden massan jakaminen useammalla vaiherenkalle (m).

6.2 Riskianalyysi

ABB:n käyttämässä PFMEA - menetelmässä analysoitiin työntekijän tekemiä toimenpiteitä. KytKentärenkaiston valmistusvaiheet nimettiin, ja jokainen niistä analysoitiin erikseen. Suurimmaksi riskitekijäksi arvioitiin johdinkuparin taivuttamisesta syntyviä vaurioita.

Johdinkuparia taivutetaan väliyhdistäjiä ja vaiherenkaita sekä vaiherenkaiden ulosottoja valmistettaessa. Johdinkuparia taivutettaessa sen kestävyysominaisuudet heikkenevät. Johdinkuparin taivuttamiseen liittyy usein työvaiheen toistuvuus. Vyyhden ulosottojohtimen tai vaiherenkaan ulosoton johdinkuparia taivutetaan mahdollisesti useaan kertaan, jotta saadaan oikea taivutuskulma tai etäisyys vyyhden päihin. Taivuttamisen takia tapahtuva johdinkuparin heikkeneminen on lähes mahdoton havaita ennen tuotteen toimittamista asiakkaalle, sillä taivuttamiskulmaa peittää johdinkuparin päällä oleva eriste.

Vyyhden ulosottojohtimen taivuttamisessa suositaan 90°:een taivutuksia, koska jyrkkinen taivutusten myötä kytKentärenkaiston sisäinen tuenta helpottuu. Jyrkät taivutuskulmat heikentävät johdinkuparia kaarevia taivutuksia enemmän. Vaiherenkaiden ulosotoissa tehtävä johdinkuparin taivutus on hyvin haastava tekijä mekaanista kestävyyttä tarkasteltaessa, sillä vaiherenkaiden ulosottoihin kohdistuu suuret massat niihin kiinnitetyistä kaapeleista.

6.3 KytKentärenkaiston ideointi ja rakenne

KytKentärenkaiston kehittämiseen keskittyvä projektiryhmä sai tehtäväkseen suunnitella vaihtoehtoja kytKentärenkaiston uudistukseen. Projektiryhmä kokoontui viisi kertaa. Projektiryhmän tavoitteena oli saada valmis ehdotus prototyypiksi.

KytKentärenkaiston kehittämiseen sekä riskien analysointiin keskittyvät projektiryhmät toimivat samanaikaisesti toisiaan täydentäen. Laatuosaston raportoimien laatu-
poikkeamien pohjalta analysoitiin kytKentärenkaiston ongelmat, ideoitii kehityskelpoisia kytKentärenkaiston valmistusmalleja ja lopulta valittiin vaihtoehdoista paras kytKentärenkaiston malli kehitettäväksi.

Molemmat projektiryhmät olivat yksimielisiä laatuongelman vakavuudesta ja sen aiheuttajasta. Laatuosaston laatimien raporttien mukaan vika oli helposti paikannettavissa ja sama ongelma toistui lähes jokaisessa ongelmatapauksessa. Nykyinen kytKentärenkaisto aksiaali- radiaalirenkaistosta todettiin mekaanisesti liian heikoksi, joten renkaisto oli uudistettava. Projektiryhmän loi kaksi varteenotettavaa vaihtoehtoa uudelle kytKentärenkaiston rakenteelle, joko vain radiaalinen renkaisto tai vain aksiaalinen renkaisto. Näiden kahden vaihtoehdon analysoinnin perusteella paremmaksi osoittautui aksiaalinen renkaisto, josta kehitettiin malli prototyyppiä varten.

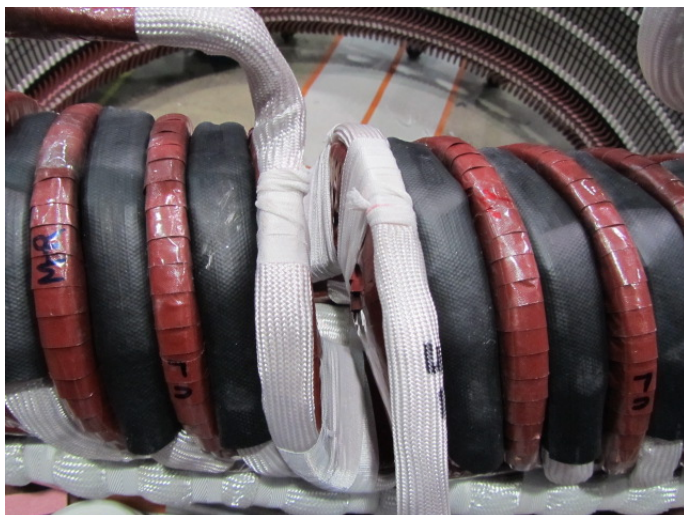
Uusi aksiaalisen renkaiston malli lähestyy kytKentää, jota käytetään moottoreissa. Moottoreissa oleva aksiaalinen kytKentärenkaisto on osoittautunut mekaanisesti kestäväksi ja sen perusteella päätettiin, että ko. kytKentärenkaistoa käytetään myös generaattoreissa. Ulkonäöltään kytKentärenkaisto muuttuu niin, että kaikki kuusi vaiherengasta valmistetaan vyyhtien yläpuolelle aksiaaliseen tilaan ja väliyhdistäjät niiden alapuolelle radiaaliseen tilaan. Vaiherenkaiden ulosottojen paikat vaihdetaan niin, että kaapelointiprosessi nopeutuu.

6.4 KytKentärenkaiston uuden valmistustavan kuvaus

Tässä luvussa kuvataan kehitetyn kytKentärenkaiston valmistusprosessi. Luvussa 6.1 käsiteltyjä kehittämismahdollisuuksia ehdotetaan käytettäväksi uutta kytKentärenkaistoa valmistettaessa. Prosessin hyväksi todettuja työmenetelmiä ei kuvata uudelleen, sillä vaiherenkaiden merkintään, kuparijohtimien juottamiseen, eristämiseen, eristeen suo-
jaukseen, vaiherenkaiden kokoonpanoon ja sisäiseen tuentaan liittyvät työmenetelmät pysyvät ennallaan.

Prosessi alkaa vyyhden ulosottojohtimien tukemisella vyyhden päähän. Työmenetelmät eivät muutu nykyisestä toimintamallista, mutta tukeminen ohjeistetaan uudelleen. Nykyisessä kytKentärenkaistossa vyyhden ulosottojohtimien tukemiseen on riittänyt lyhyt

sidontamatka vyyhden ulosottojohtimen nousukohdasta, sillä väliyhdistäjien ulosottojohtimet tulevat vyyhden pintasivusta, läheltä niiden lopullista valmistuspaikkaa ja vaiherenkaiden ulosottojohtimet vastaavasti pohjasivusta. Kehitettyyn kytkentärenkaistoon väliyhdistäjien ja vaiherenkaiden valmistusjärjestys muuttuu, joten ulosottojohtimien tuenta on tehtävä pidemmälle etäisyydelle vyyhden ulosottojohtimen nousukohdasta kuvan 35 havainnollistamalla tavalla. Vyyhden ulosottojohtimien tuentaetäisyys sen nousukohdasta määräytyy vaiherenkaiden valmistusjärjestyksen mukaisesti.



Kuva 35. Ulosottojohtimien tuenta. Vyyhden pintasivusta tuleva ulosottojohtin on väliyhdistäjä ja pohjasivusta tuleva johdin on vaiherengas

Vaiherenkaiden valmistusjärjestys pysyy samana nykyiseen valmistusprosessiin nähden, mutta vaiherenkaat valmistetaan ensimmäiseksi aksiaaliseen renkaistoon. Vaiherenkaiden valmistusjärjestys on W2, U1, V2, V1, U2, W1. Vaiherenkaiden valmistukseen liittyvät työmenetelmät eivät muutu, vaan ne tehdään nykyisen menetelmän mukaisesti. Vaiherenkaiden ulosottojen paikat muutetaan siten, että kaapeleiden tuentamatka kytkentärenkaistoon on mahdollisimman lyhyt. Vaiherenkaiden ulosotoista W2, U1, U2 ja W1 siirretään lähemmäksi kaapeleiden läpivientikohtaa ja vaiherenkaiden V2 ja V1 ulosotot nostetaan kytkentäkaavion kohtaan kello 12. Kummankin puolen vaiherenkaiden ulosottoihin kiinnitettävät kaapelit lähestyvät siis kaapeleiden ulosvientikohtaa molemmista suunnista, ei yhdensuuntaisesti.

Väliyhdistäjät valmistetaan viimeiseksi tehdyn vaiherenkaan W1 alle radiaaliseen tilaan. Valmistusprosessin työmenetelmät pysyvät nykyisen mallin mukaisina ja väliyhdistäjät asetetaan kahteen tasoon allekkain.

KytKentärenkaiston ulkoisen tuennan työmenetelmät eivät muutu nykyisestä valmistustavasta, mutta kriteereitä tarkennetaan vaiherenkaiden ulosottojen ja kaapeleiden siirryttyä radiaalisesta renkaistosta aksiaaliseen. Nykyisen kriteerin mukaan yksi laminaattipala on asetettava aksiaalisessa renkaistossa joka toista vyyhtiryhmää kohden renkaiston ja vyyhdenpään väliin. Kehitetystä mallissa ulkoista tuentaa uudistetaan niin, että yksi tukipala on asetettava yhtä vyyhtiryhmää kohden. Tukipalat on asetettava hajautetusti eri vaiherenkaisiin, jotta kytKentärenkaiston sisäisimmät vaiherenkaat W2, U1, V2 ja V1 on tuettu vyyhden päähän.

Kaapelointiprosessissa uudistetaan kaapeleiden tuenta kytKentärenkaistoon. Vaiherenkaiden ulosottojen paikan muuttaminen renkaistossa ei muuta kaapelointiprosessissa tehtäviä työvaiheita tai niiden järjestystä (ks 5.6). Vaiherenkaiden ulosottojen paikan muuttaminen lyhentää kaapeleiden mittaa ja niiden tuentaa kytKentärenkaistoon.

Kaapeleiden tuenta kytKentärenkaistoon tehdään kehitetyssä valmistustavassa lasikuituisten tukiputkien avulla. Tukiputket korvaavat laminaattipalan. Tukiputken halkaisija on 30 mm, joka riittää pitämään ilmaeristysvälit vaatimuksien mukaisina. Tukiputkia asetetaan 200 mm:n välein aksiaaliselle renkaistolle kaapelin tukialueelle ja ne sidotaan kytKentärenkaistoon kiinni polyesterinauhalla. KytKentärenkaistoon sidottujen tukiputkien päälle asetetaan kaapelit, jotka tuetaan tukiputkiin polyesterinauhalla.

6.5 Kehitetyn kytKentärenkaiston vahvuudet

Uuden mallin mukaisen kytKentärenkaiston on tarkoitus kehittää toimintaa monella osalla alueella. Mekaanisen kestävyuden parantamisen ohella on tarkasteltu toimintaa tuotannossa, jossa generaattori valmistetaan. KytKentärenkaiston valmistuksen tulee olla nopeampaa ja systemaattisempaa. Kokonaisprojektin tavoitteena oli kehittää mekaanisesti aiempaa kestävämpi staattorin kytKentärenkaisto, joka on myös aiempaa nopeampi valmistaa.

6.5.1 KytKentärenkaiston valmistuksen vahvuudet

Aksiaalisen kytKentärenkaiston valmistus sisältää monia kehitysaskelia, jotka on havaittavissa tuotannossa. Tässä vaiheessa projektia voi olla haastavaa arvioida tuotannollista kehitystä kokonaisuudessaan, mutta yksittäisiä parannuksia voi nostaa esille.

Yksittäisten parannusten tavoitteena on kehittää valmistusprosessi aiempaa yhtenäisemmäksi ja kokonaisuudessaan nopeammaksi.

Uuden valmistusprosessin vahvuuksia tuotannossa ovat seuraavat:

- sisäinen tuenta
- ulkoinen tuenta
- tuotannossa valmistettävien kytkentärenkaistojen samanlaisuus
- vaiherenkaiden mitoitusongelmien poistuminen.

Sisäisen tuennan kehitys ilmenee aksiaalisen renkaiston yhtenäisessä kytkennän tuennassa. Väliyhdistäjien ollessa ns. vaiherenkaiden alla tukemassa vaiherenkaiden muodostamaa aksiaalista renkaistoa, on aiempaa helpompaa muodostaa tukipalarivejä. Väliyhdistäjät muodostavat johdinkuparia taivutettaessa kulman, joka on tukemisen kannalta kriittinen. Vaiherenkaatkin muodostavat taivuttamiskulman, mutta vain kaksi yhtä vaiherengasta kohden. Aksiaaliseen renkaistoon syntyy vähemmän haastavia taivuttamiskulmia, joten kytkennän tuenta helpottuu.

Ulkaisen tuennan vaatimukset muuttuvat aksiaalisen renkaiston vuoksi. Tarvittaessa ulkoisen tuennan vaatimuksia voidaan muokata entistä tarkemmiksi. Tästä huolimatta ulkoisen tuennan prosessi nopeutuu. Uudessa renkaistossa ei käytännössä ole radiaalista renkaistoa, joten sitä ei tarvitse tukea ulkoisesti.

Tuotannossa valmistettävien kytkentärenkaistojen yhtäläisyys paranee systemaattisen valmistusprosessin myötä. Vaiherenkaiden valmistuksen aloitus aksiaalisesta renkaistosta ja systemaattinen prosessin eteneminen vähentää staattorinvalmistajista johtuvia mitoituseroja ja valmistustapoja. Kytkentärenkaistojen aiempaa parempi yhtäläisyys helpottaa tarkastajien työtä ja mahdollisia vian paikannuksia sekä ABB:n tuotantotiloissa että asiakkaan käytössä.

Vaiherenkaiden mitoitusongelmien poistumisella tarkoitetaan nykyistä, haastavaa mitoitusmäärittelyä joka johtuu epäsystemaattisesta valmistusprosessista. Mitoituksessa on tarkkailtava ensimmäisten väliyhdistäjien asettelun lisäksi ensimmäisen vaiherenkaan sijoittamista.

Uuden valmistustavan mukaan on tarkkailtava vain ensimmäisen vaiherenkaan sijoitumista, jonka jälkeen kytkentärenkaisto muotoutuu järjestelmällisesti ensimmäisestä vaiherenkaasta pois päin.

6.5.2 Kytkenärenkaiston mekaanisen kestävyiden kehitys

Kytkenärenkaiston valmistuksen vahvuuksien lisäksi sen mekaanisen kestävyiden kehitys on tärkeää. Mekaaninen kestävyys ei suoraan riipu tuotannollisista vahvuuksista. Kumpaakin osa-aluetta on tarkasteltu omina kokonaisuuksinaan. Renkaiston mekaanista kestävyttä kehitettäessä tärkeitä tekijöitä ovat seuraavat:

- kytkentärenkaiston muuttaminen aksiaaliseksi renkaistoksi
- kaapeloinnin kehittäminen
- ulkoinen tuenta
- huollettavuus.

Kytkenärenkaiston muuttaminen aksiaaliseksi renkaistoksi parantaa huomattavasti renkaiston mekaanista kestävyttä. Nykyisessä valmistustavassa radiaalinen renkaisto ja siihen tuetut kaapelit liikkuvat värinässä vinottain, mikä altisti vaiherenkaiden ulosottojen rikkoutumiseen. Uudessa valmistustavassa aksiaaliseen renkaistoon tuetut kaapelit ja vaiherenkaiden ulosotot liikkuvat värinässä kohtisuoraan kytkentärenkaiston suuntaisesti, mikä vähentää riskiä ulosoton rikkoutumiselle.

Kaapeloinnin uudistaminen oli tärkeä osa kytkentärenkaiston kehitystä, sillä kaapeloinnin nykyinen menetelmä on osoittautunut kriittiseksi koskien kytkentärenkaiston mekaanista kestävyttä. Kaapeloinnin kehittämisessä uudistettiin tärkeät tekijät, joita ovat kaapeleiden liiallisesta pituudesta syntynyt massa ja massan tasainen jakautuminen kytkentärenkaistolle. Kaapeleiden tuentamatkaa kytkentärenkaistoon lyhennettiin siirtämällä vaiherenkaiden ulosottoa lähemmäksi kaapeleiden läpivientikohtaa ja kaapeleiden massa jaettiin tasaisesti aksiaaliseen renkaistolle tukiputkien avulla. Nämä kaksi uudistusta tuovat merkittävän parannuksen mekaaniseen kestävyteen.

Ulkosen tuennan vaatimusten uudistaminen parantaa kytkentärenkaiston kestävyttä kaapelin tukialueella. Kaapeleiden massa on jaettu tasaisesti kytkentärenkaistoon,

joten parannettaessa renkaiston kestävyttä, parannetaan myös kaapeloinnin ja vaiherenkaiden ulosottojen kestävyttä.

Staattorin huollettavuus paranee vaiherenkaiden ulosottojen sijaintia muuttamalla. Kuluvia osia on tasaisin väliajoin huollettava ja joskus uusittava. Kaapelit ovat kuluvia osia ja niiden käyttöikä on noin 10 vuotta. Vaiherenkaiden ulosottojen siirtäminen radiaalisesta renkaistosta aksiaaliseen renkaistoon helpottaa huoltohenkilöstön työtä, koska kaapeleita ei tarvitse vaihtaa ahtaissa tiloissa ja niitä on helppo käsitellä.

6.6 Tulosten ja kehittämisprojektin arviointi

Kehittämisprojektin työmenetelmät olivat luotettavia ja hyvin organisoituja. Esiselvityksen, laadunhallinnan ja riskianalyysin laadukas toteuttaminen oli tärkeä tekijä kehittämisprojektin alkuvaiheessa. Kehittämisprojektia edeltävästä kytkentärenkaiston valmistustavasta esille nostetut vahvuudet, haasteet ja kehittämismahdollisuudet helpottivat uuden mallin mukaisen kytkentärenkaiston valmistustavan suunnittelua.

Kehittämisprojektin onnistumista on haasteellista arvioida ennen kuin tehdään prototyyppi uuden valmistustavan mukaisesta staattorista. Yksittäisiä työmenetelmiä parantamalla, valmistukseen liittyviä vaatimuksia tarkentamalla ja kytkentärenkaiston rakennetta muuttamalla voidaan kuitenkin saavuttaa merkittävä parannus kytkentärenkaiston mekaaniseen kestävyteen.

7 Yhteenveto

Kehittämisprojektissa suunniteltiin kytkentärenkaiston uusi valmistustapa. Kytkentärenkaiston uudessa valmistustavassa merkittäviä parannuksia mekaaniseen kestävyteen toivat kaapeloinnin uudistaminen, kaikkien vaiherenkaiden sijoittaminen aksiaaliseen renkaistoon ja kytkentärenkaiston ulkoisen tuennan määrityksien tarkentaminen.

Kehittämisprojektissa uudistettu kytkentärenkaiston uusi valmistustapa voidaan ottaa suoraan tuotantoon käytettäväksi. Valmistuksen kuvausta voidaan muokata tarpeiden mukaan. Toimintaohje tulee päivittää uutta valmistustapaa vastaavaksi.

Uuden valmistustavan käyttöönotto edellyttää henkilöstön koulutusta, jotta työntekijät omaksuvat muutokset ja osaavat toimia uudistuksen mukaisesti. Uutta valmistustapaa on arvioitava jatkuvasti alkuvaiheessa, jotta voidaan varmistua, että valmistusprosessi on saatu lyhenemään. Kokemuksia jakamalla tuotannon työntekijöiden ja toimihenkilöiden tulee tehdä yhteistyötä, jotta työmenetelmiä voidaan kehittää edelleen.

Laadunvalvonta tulee olla erityisen tarkkaa uudistetun valmistustavan käyttöönotossa. KytKentärenkaiston valmistuksen laatu paranee ajan myötä ja yksittäisiä työmenetelmiä voidaan muokata kokemusten mukaan. Tästä huolimatta jo ensimmäisten uudella valmistustavalla valmistettujen staattoreiden tulee kestää asiakkaan käytössä aiempaa paremmin.

Jatkotutkimuksen kohteena on kehittää vyyhden ulosottojohtimen ja vaiherenkaan ulosoton taivuttamista. Taivutukset pitää saada yhtenäisiksi esimerkiksi tietyn työkalun tai apuvälineenä käytettävän muotin avulla. Taivutusten toistuvuutta on vähennettävä, jotta onnistunut ja oikeaan paikkaan tehty taivutus syntyy aina yhdellä kerralla.

Kehittämiprojektin onnistuminen voidaan varmistaa esimerkiksi teettämällä uusi tutkimus VTT:llä. Uuden valmistustavan mukaista prototyyppiä voidaan verrata nykyisen valmistustavan kytkentärenkaistoon. Käytännössä kehittämiprojektin onnistuminen voidaan havaita, jos staattorin kytkentärenkaisto kestää aiempaa paremmin asiakkaan käytössä.

Lähteet

ABB in brief. Verkkodokumentti. <<http://new.abb.com/about/abb-in-brief>>. Luettu 25.2.2013.

ABB:n staattorin valmistusdokumentti. 2013.

ABB:n työn tutkimus. 2013.

Aura, Lauri & Tonteri, Antti, J. 2009. Teoreettinen sähkötekniikka ja sähkökoneiden perusteet. Helsinki: WSOYpro Oy.

Heikkinen, Hannu L. T. & Rovio, Esa & Syrjälä, Leena (toim.). 2007. Toiminnasta tietoon: Toimintatutkimuksen menetelmät ja lähestymistavat. 2. tarkistettu painos. Helsinki: Kansanvalistusseura.

Helin, Mikael. 2010. Staattorin käämintä. Sähkötekniikan projekti. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Hogan, Joe. 2013. ABB Q4 and FY 2012 results. Verkkodokumentti. <[http://www02.abb.com/global/abbzh/abbzh259.nsf/0/ec00d5a095001213c1257b0f00332370/\\$file/ABB+Q4+and+full+year+2012+presentation.pdf](http://www02.abb.com/global/abbzh/abbzh259.nsf/0/ec00d5a095001213c1257b0f00332370/$file/ABB+Q4+and+full+year+2012+presentation.pdf)>. Luettu 25.2.2013.

Hänninen, Jere. 2013. Staattorinvalmistaja. ABB Oy, Helsinki. Keskustelu 26.3.2013.

Insinööriyöohjeet. 2012. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Käämityksinä kyllästettävien vaihtovirtakoneiden staattorikäämintäohje. 2012. ABB Oy. Toimintaohje.

Projektijohtamisen sanasto. 2012. Verkkodokumentti. Suomen Projekti-Instituutti Oy. <<http://www.projekti-instituutti.fi/sanasto>>. Luettu 26.2.2013.

PFMEA. 2012. ABB Oy. Riskianalyysi - menetelmä. Riskejä analysoivan projektiryhmän keskustelu 31.5.2012.

Pääliitäntäkaapeleiden päittäisliitinten puristusliitokset ja pääliitännän eristäminen. 2010. ABB Oy. Toimintaohje.

Raunio, Helena. 2013. ABB ei pelkää aivovuotoa. Suomalaiset vastaavat monista maailmanlaajuisista kehityshankkeista. Tekniikka & Talous, 22.2.2013, s. 3.

Riskianalyysit. 2013. Verkkodokumentti. <<http://www.vtt.fi/proj/riskianalyysit/index.jsp>>. Luettu 27.2.2013.

Shibutani, John. 2001. Synchronous Generator - Operation Principle. ABB Oy. Koulutusmateriaali.

Shibutani, John. 2001. Tahtikoneen toimintaperiaate. ABB Oy. Koulutusmateriaali.

Tahtikoneiden lajimerkit. 2010. ABB Oy. Toimintaohje.

Viitaharju, Pasi. 2012. Tuotannontukitiimin esimies, ABB Oy, Helsinki. Keskustelu 8.10.2012.

Viitaharju, Pasi. 2013. Tuotannontukitiimin esimies, ABB Oy, Helsinki. Keskustelu 18.3.2013.

