

Matti Vänskä

Käyttäjäriippumaton vyyhden paksuuden mittausmenetelmä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Tuotantotalous

Insinöörityö

17.5.2013

Tekijä Otsikko	Matti Vänskä Käyttäjäriippumaton vyyhden paksuuden mittaamenetelmä
Sivumäärä Aika	58 sivua + 7 liitettä 17.5.2013
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	tuotantotalous
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaajat	tuotannonkehityspäällikkö Pasi Poutanen koulutusvastaava Arto Ekström
<p>Opinnäytetyössä kehitetään ABB Oy Motors and Generators Induktiokoneet tulosyksikön osana vyyhdenvalmistustyötä tehtävää vyyhden paksuuden mittaamenetelmää. Nykyinen vyyhden paksuuden mittaamenetelmä antaa käyttäjälle mahdollisuuden mittaustulosten tulkinnalle. Mittaamenetelmä on hankala koostuen mittalaitteen asetuksista, kahdesta eri mittaussivusta sekä vyyhtien jänniteluokittain vaihtuvista toleranssialueista.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia nykyistä mittaamenetelmää ja sen vaikutuksia, sekä kehittää uusi käyttäjäriippumaton, yksiselitteinen tapa mitata luotettavasti vyyhden paksuutta.</p> <p>Opinnäytetyössä kehitettiin eristyskoneeseen liitetty vyyhdenpaksuudenmittauslaite, joka työntekijän käynnistyksestä suorittaa automaattisen mittauksen ja esittää yksiselitteisen tuloksen näyttölaitteella. Vyyhdenpaksuudenmittauslaite suunniteltiin tutkimuksen perusteella vastaamaan käyttökohteen vaatimuksia.</p> <p>Opinnäytetyötä voidaan pitää onnistuneena ja tavoitteet täyttävänä. Uusi vyyhdenpaksuudenmittauslaite on suuri edistysaskel vyyhdenvalmistuksessa, ja se tullaan laajentamaan osaksi myös muiden ABB:n tulosyksiköiden vyyhdenvalmistustyötä.</p> <p>Vyyhden paksuuden mittaaminen on laadullisesti ja tuotannollisesti kriittinen vaihe vyyhdenvalmistuksessa. Impulssina vyyhden paksuuden mittaamenetelmän kehittämiseksi ovat olleet nykyisestä vyyhtien mittaustavasta johtuneet hukka työ- ja materiaalikulut sekä asiakkaalle luvattun induktiomootorin toimitusajan viivästyminen. Nämä laadulliset ja tuotannolliset epäkohdat saadaan korjattua kehitetyllä vyyhdenpaksuuden mittauslaitteella.</p>	
Avainsanat	Vyyhdenvalmistus, vyyhden paksuuden mittaaminen, staattorikäämintä, laatu

Author Title	Matti Vänskä Operator independent method to measure coil thickness
Number of Pages Date	58 pages + 7 appendices 17 may 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Industrial Management
Specialisation option	
Instructors	Pasi Poutanen, Production development manager Arto Ekström, Head of degree programme
<p>This thesis was about developing coil thickness measurement method for ABB Motors and Generators, Induction machines profit center. The present coil thickness measurement method gives the user an opportunity to interpret the measuring result. The measurement method is troublesome consisting of two different measuring stages and changing tolerance areas between the voltage category of coils. In this thesis the goal was to examine the present measuring method and its impacts and also develop an operator-independent unambiguous way to reliably measure coil thickness.</p> <p>A new coil thickness measurement device was developed in this project and it was integrated in to an insulation machine which will measure coil thickness automatically after the operator`s start and represents an unambiguous result on the display to the operator. The coil thickness measurement device was designed based on the study of demands.</p> <p>This thesis may be considered successful and fulfilling the goal. The new coil thickness measurement device is a big advance in coil manufacturing and it will be expanded as a part of other ABB profit center`s coil manufacturing tasks.</p> <p>Coil thickness measurement is qualitatively and productionally a critical stage for coil manufacturing. The impulse to start developing the coil thickness measurement method was waste of work, material costs and delay from the promised Induction machine delivery time. These quantitative and productional faults will be fixed with this developed coil thickness measurement device.</p>	
Keywords	coil manufacturing, coil thickness measurement, stator winding, quality

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	ABB Oy	1
3	Dynaamiset sähkömagneettiset kentät	2
4	Kolmivaihemoottori	4
4.1	Induktiomoottori	5
4.2	Valurunkoinen tuuletinjäähdytteinen induktiomoottori	6
4.3	Moduulirakenteinen hitsattu levyrunko induktiomoottori	6
4.4	Roottori	8
4.5	Staattori	8
5	Suurjännitetekniikka	9
6	Tutkimuksen piiriin kuuluvat tuotanto-osastot	11
6.1	Vyyhdenvalmistus	11
6.2	Käämintä	16
7	Tutkimuksen lähtökohtia	16
7.1	Tutkimusongelma	16
7.2	Laatuvaikutukset	17
7.3	Operatiivinen erinomaisuus strategisena aseena	20
7.4	Vyyhden mittaaminen	22
7.5	Tavoitteiden asetanta	24
8	Kehitysprojekti	24
8.1	Käynnistysvaihe	24

8.2	Inhimillinen tekijä teollisuudessa ja järjestelmien suunnittelussa	29
8.3	Käynnistysvaiheen yhteenveto	30
8.4	Rakentamisvaihe	31
8.5	Päättämisvaihe	55
9	Yhteenveto	48
	Lähteet	57

Liitteet

Liite 1. Vyyhdenpaksuuden mittauslaitteen toimintojen määrittely

Liite 2. Yritys oy:n tarjous nro 1

Liite 3. Yritys oy:n tarjous nro 2

Liite 4. Vyyhden paksuuden mittauslaitteen yleiskuvia

Liite 5. Investointipäätös

Liite 6. Tilaus

Liite 7. Käyttöönottosuunnitelma

1 Johdanto

ABB Oy Motors and Generatorsin Induktiokoneet-tulosyksikön käämintä osastolla valmistetaan vyyhdenvalmistuksessa valmistetuista vyyhdeistä staattorikäänitys. Staattorikäänitys valmistetaan asentamalla vyyhdit staattoripaketin uriin ja kytkemällä vyyhtien päät toisiinsa muodostaen kolmivaihekytkennän.

Käämintä osastolla syntyi aika ajoin ongelmia vyyhtien asennuksessa staattoripaketin uraan. Asennuksessa huomattiin vyyhtien olevan liian paksuja uraan nähden ja vaativan suurempaa asennuksessa käytettävää voimaa. Jossain tapauksissa vyyhtejä ei pystytty asentamaan laisinkaan, koska ne eivät mahtuneet uraan. Vyyhtien asentaminen voimalla vahingoitti vyyhtejä, jolloin vyyhtien koestuksessa syntyi läpilyönnejä. Läpilyönnin sattuessa vyyhdin eristys täytyy korjata. Eristyksen korjaaminen voidaan tehdä vain nostamalla vyyhti ylös urasta ja jos vyyhti on liian paksu uraan vyyhdin ylös nostaminen saattaa vahingoittaa vyyhtiä vielä lisää. Nämä ongelmat aiheuttivat hukkatyö- ja materiaalikuluja sekä epävarmuutta luvatusajan pitämisessä.

Induktiokoneet-tulosyksikön tuotannonkehityksessä päätettiin perustaa projekti ongelman juurisyiden tutkimiseksi ja korjaavien toimenpiteiden kehittämiseksi.

Opinnäytetyössä tutkitaan ja kehitetään vyyhdenvalmistus-osaston vyyhden paksuuden mittaamenetelmää. Tavoitteena on kehittää käyttäjäriippumaton vyyhden paksuuden mittaamenetelmä.

Tästä opinnäytetyöstä on poistettu salassa pidettävää materiaalia.

2 ABB Oy

ABB on johtava sähkövoima- ja automaatioteknologiayhtymä, jonka tuotteet, järjestelmät ja palvelut auttavat teollisuuden- ja energiayhtiöasiakkaiden kilpailuetua ympäristömyönteisesti. ABB:n palveluksessa on noin 145 000 henkilöä noin sadassa maassa.

ABB:llä on viisi divisioonaa: Sähkövoimatuotteet, Sähkövoimajärjestelmät, Sähkökäytöt ja kappaletavara-automaatio, Pienjännitetuotteet ja Prosessiautomaatio.

Suomessa ABB:n palveluksessa työskentelee noin 7000 henkilöä, ja se toimii yli 30 paikkakunnalla ja on Suomen suurin teollisuuden kunnossapitäjä. Tehdaskeskittymät sijaitsevat Helsingissä, Vaasassa ja Porvoossa. Liikevaihto on noin 2,3 miljardia euroa, ja tuotekehitykseen käytetään vuosittain noin 160 miljoonaa euroa.

ABB Oy Motors and Generators

Teollisuus kuluttaa kaksi kolmasosaa kaikesta sähköenergiasta, ja kaksi kolmasosaa teollisuuden käyttämästä sähköenergiasta kuluu sähkömoottoreiden pyörittämiseen. Kaikesta maailmalla käytetystä sähköenergiasta sähkömoottorit kuluttavat noin 45 prosenttia.

ABB on edelläkävijä energiatehokkaiden moottoreiden kehittämisessä. Suomen ABB:n Motor and Generators -yksikkö panostaa korkean hyötysuhteen moottoreiden ja generaattoreiden tutkimukseen ja tuotekehitykseen. Yksikkö kehittää ja valmistaa moottoreita ja generaattoreita kaikille teollisuudenaloille ja sovelluksiin maailmanlaajuisesti. ABB on maailman johtava moottorivalmistaja. Helsingin Pitäjänmäellä sijaitsevassa tehtaassa kehitetään ja valmistetaan muun muassa korkeajännitemoottoreita, tuuli- ja dieselgeneraattoreita sekä kestopagneettimoottoreita.

Laaja valikoima korkeajännitteisiä induktimoottoreita sisältää valurunkoiset tuuletin-jäähdytteiset moottorit ja moduulirakenteiset hitsatut levyrunkoiset moottorit eri jäähdytysvaihtoehdoilla. Jokainen moottori on erikseen suunniteltu vastaamaan asennuskohteen vaatimuksia.

3 Dynaamiset sähkömagneettiset kentät

Mitä nopeammin sähkökenttä muuttuu ajan suhteen, sitä voimakkaamman magneettikentän se muodostaa. Toisin sanoen: paikassa, missä magneettikenttä muuttuu ajan mukana, syntyy sähköinen voima (Silvola, 1996: s. 7).

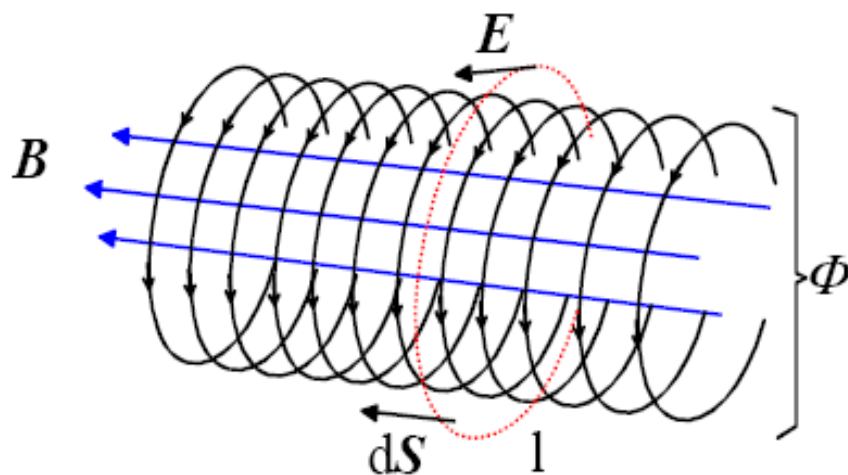
Maxwellin yhtälöt

Sähkömagneettisiin kenttiin vaikuttavat Maxwellin yhtälöinä tunnetut lait, jotka ovat seurausta James Clerk Maxwellin useista kokeellisista löydöksestä ja hänen todellises-

ta panoksestaan matematiikkaan tutkimiseen (Bansal, 2004: s. 7). Sähkömagneetiikan ongelmien ratkaisemiseen tarvitaan Maxwellin yhtälöiden lisäksi väliaine yhtälöitä. Väliaine yhtälöt kertovat materiaasta, siitä aineesta, jossa magneettikentät vaikuttavat ja synnyttävät sähköisiä ja magneettisia polarisaatioita (Silvola, 1996: s. 8).

Faradayn laki

Michael Faraday osoitti ensimmäisenä tutkijana vuonna 1831, että magneettikentän muuttaminen aiheuttaa sähkövirtoja johdinsilmukkaan. Faradayn lakia voidaan tulkita niin, että aina kun magneettivuon tiheys muuttuu, se aiheuttaa ympärilleen kuvan 1 mukaisen sähkökentän pyörteen (Silvola, 1996: s. 8-9). Magneettivuo kuvaa johdinsilmukan läpäisevien magneettikentän kenttäviivojen lukumäärää (Suvanto, 2008: s. 168).



Kuva 1. Muuttuva magneettikenttä synnyttää johdinsilmukan päiden välille jännite-eron (Eristyskoulutus, 2006: s.21).

Lenzin laki

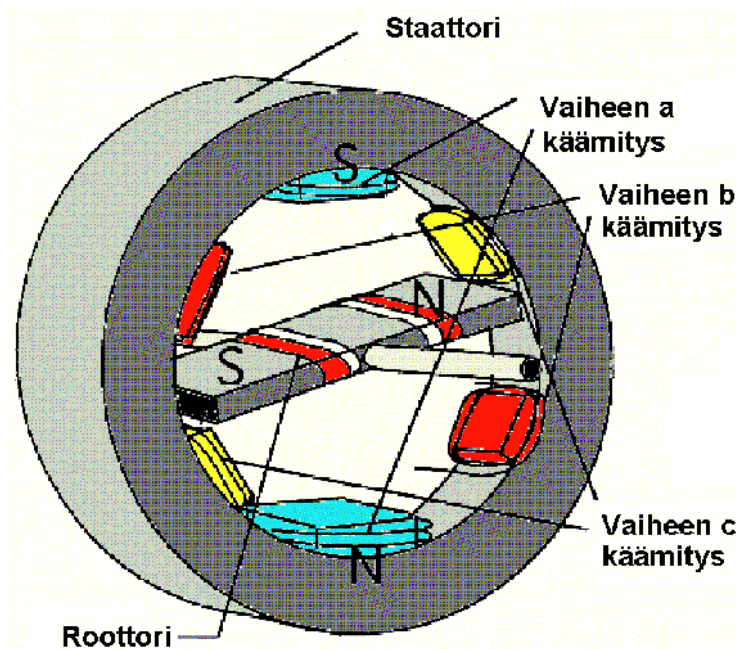
Kun johdinsilmukan läpäisevä magneettivuo kasvaa, silmukkaan indusoituu sähkömotorinen voima vasemman käden kiertosuuntaan magneettivuohon katsottaessa, joka aiheuttaa johtimeen virran, jonka suuruus riippuu johtimen vastuksesta. Tämä virta saa aikaan johtimen ympärille magneettikentän, jonka suunta on päinvastainen kasvavaan magneettivuohon nähden (Silvola, 1996: s. 10). ”Suljettuun metallisilmukkaan indusoi-

tuva virta aiheuttaa magneettikentän, joka pyrkii vastustamaan silmukan läpi kulkevan magneettivuon muutosta” (Silvola, 1996: s. 10).

Tätä virran suunnan määrittelyä kutsutaan keksijänsä mukaan Lenzin laiksi, ja se on yksinkertaisesti tulkittavissa luonnollisena pyrkimyksenä tasapainoon. Lenzin laki johdattaa tasapainoon, sillä syntyvä virta pienentää magneettivuon kasvua.

4 Kolmivaihemoottori

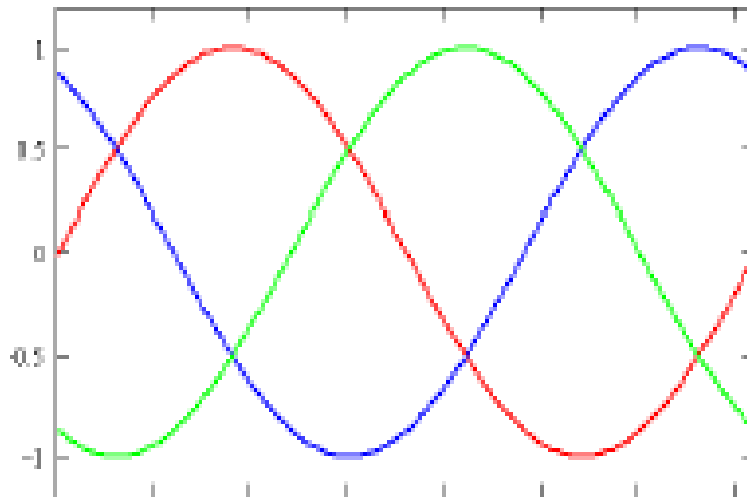
Sähkömoottorin toiminta perustuu kahden magneetin pyrkimykseen hylkiä tai vetää toisiaan puoleensa riippuen siitä, ovatko magneetit saman- vai vastakkaismerkkisiä. Sähkömoottorin pyöriminen perustuu siihen, että vähintään toinen magneeteista on korvattu sähkömagneetilla, jonka napaisuutta voidaan vaihtaa. Napaisuuden vaihtamisen jälkeen toinen magneeteista pyrkii kääntymään veto- ja hylkimisvoimien seurauksena uutta napaisuutta vastaavaan asemaan.



Kuva 2. Sähkömoottorin toimintaperiaate ja kolmivaihemoottorin rakenne (Eristyskoulutus, 2006: s.24).

Kuvan 2 kolmivaihemoottorin pyörimisen saa aikaan kolmivaihevirta. Kolmivaihevirtaa syötetään staattorin vaihekäämeihin, jolloin staattoriin syntyy kolmivaihevirran mukana pyörivä magneettikenttä. Pyörivä magneettikenttä alkaa pyörittämään staattorin sisällä

olevaa roottoria, johon syntyy myös magneettikenttä. Kolmivaihevirta koostuu kuvan 3 kolmesta erillisestä sinimuotoisesta virtakomponentista (L1, L2, L3), jotka ovat 120 asteen vaihesiirrossa keskenään.



Kuva 3. Kolmivaihevirran sinimuotoiset virtakomponentit (Eristyskoulutus, 2006: s.23).

4.1 Induktiomoottori

Faradayn induktiolain mukaan silmukan läpi kulkevan magneettivuon muutos indusoi silmukkaan lähdejännitteen, jonka suuruus riippuu magneettivuon muutoksen nopeudesta ja suunta muutoksen suunnasta. Kun sähköinen johdin siirretään magneettikentän sisään, Lorentzin voima aiheuttaa sähkömotorisen voiman sen varautuneisiin elektroneihin. Tämä johdin indusoi itselleen sähkökentän, joka on vastakkainen sähkövirran tuottamaa magneettikenttää nähden, tätä kutsutaan Lenzin laiksi.

Staattorin pyörivä magneettikenttä aiheuttaa sähkövirtaa, joka indusoituu roottorin häkkikäämitykseen. Tämä sähkövirta roottorissa muodostaa toisen, vastakkaisen magneettikentän vuorovaikuttuen staattorin magneettikentän kanssa tuottaen vääntöä. Roottorin pyörimisnopeus on hitaampi kuin staattorin magneettikentän, ja se on kuorma-riippuvainen. Tästä syystä induktiomoottoreita kutsutaan epätahtimootteiksi.

ABB Oy Motors and Generatorsin Induktiokoneet tulosyksikkön sähkökoneet suunnitellaan ja valmistetaan yksilöllisesti vastaamaan jokaisen asiakkaan ja käyttökohteen tarpeita ja vaatimuksia. Induktiomoottorit pyörivät tasaisesti 500–3000 kierrosta minuutis-

sa ja niiden teho-alue ulottuu 8000 kW:iin saakka. Induktiokoneet voidaan jakaa kahden pääluokkaan niiden runkorakenteensa perusteella.

4.2 Valurunkoinen tuuletinjäähdytteinen induktiomoottori

Valurunkoiset induktiomoottorit edustavat perinteistä tapaa valmistaa sähkömoottoreita. Valurunkoisia ABB mallimerkinnältään kuvan 4 HXR epätahtimoottoreita valmistetaan 560 mm:in akselikorkeuteen asti. Koneen staattoripaketti asennetaan koneistetun sylinterimäisen valurungon sisään, jonka ulkopinnalla on jäähdytysrivoitus.



Kuva 4. Valurunkoinen tuuletinjäähdytteinen induktiomoottori (Eristyskoulutus, 2006: s.6).

Valurunkoiset induktiomoottorit ovat erittäin tehokkaita ja hiljaisia käynti ääneltään. HXR-induktiomoottoreita käytetään laajasti monissa teollisuuden käyttökohteissa, kuten pumpeissa, tuulettimissa, kompressoreissa, kuljettimissa ja sekoittajissa.

4.3 Moduulirakenteinen hitsattu levyrunko induktiomoottori

Pääosa valmistettavista suurista sähkökoneista on levyrunkoisia, ABB mallimerkinnältään AMI-induktiomoottoreita. Levyrunkoisista sähkökoneista käytetään yleisesti nimitystä moduulirakenteinen, sillä levyrunkoisten koneiden rakenne suunnitellaan modu-

laariseksi. Kuvan 5 moduulirunkoisia epätahtikoneita valmistetaan Induktiokoneissa 630 mm akselikorkeuteen saakka.



Kuva 5. Moduulirakenteinen hitsattu levyrunko induktiomoottori (Eristyskoulutus, 2006: s.9).

Modulaariset induktiomoottorit on suunniteltu rankimpiin ja kaikista vaativampiin käyttöihin. Moduulirunkoisia induktiomoottoreita voidaan konfiguroida kaikista laajimmin eri käyttötarkoituksiin ja niiden pyörimisnopeutta voidaan säätää. Moduulirunkoisia induktiomoottoreita käytetään HXR-moottoreiden tapaan lisäksi esimerkiksi murskaimissa ja laivojen keulamoottoreissa.

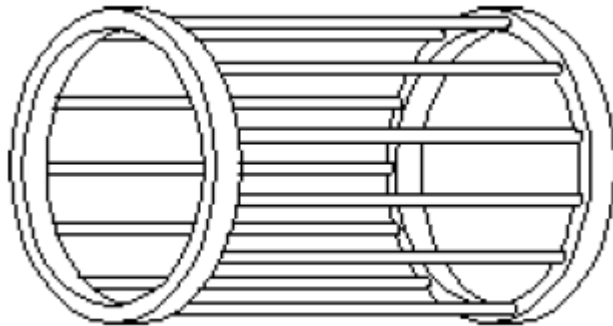
Kuva 6. Moduulirunkoisen induktiomoottorin poikkileikkaus (High voltage modular induction motors, 2012: s.7).

Kuvassa 6 näkyvät induktiomoottorin pääkomponentit. Moottorin runko sekä runkoon kiinnitetty käämitty staattori. Staattorin sisäpuolella laakerointien varassa sijaitsee root-

tori. Moduulirunkoisen induktiomoottorin yläpuolella sijaitsee lämmönvaihdin. Valurunkoisen moottorin jäähdytys toteutetaan jäähdytysrivotuksella.

4.4 Roottori

Roottori on moottorin pyörivä osa. Induktiokoneissa käytetään oikosulkuroottoria, jossa on kuvan 7 häkkikäänitys. Roottorin kääntymis- tai alumiinitangoista. Roottoritankoja ei ole eristetty sähkölevystä valmistetusta roottoripaketista, ja roottori on oikosuljettu molemmista päistä oikosulkurenkailla.

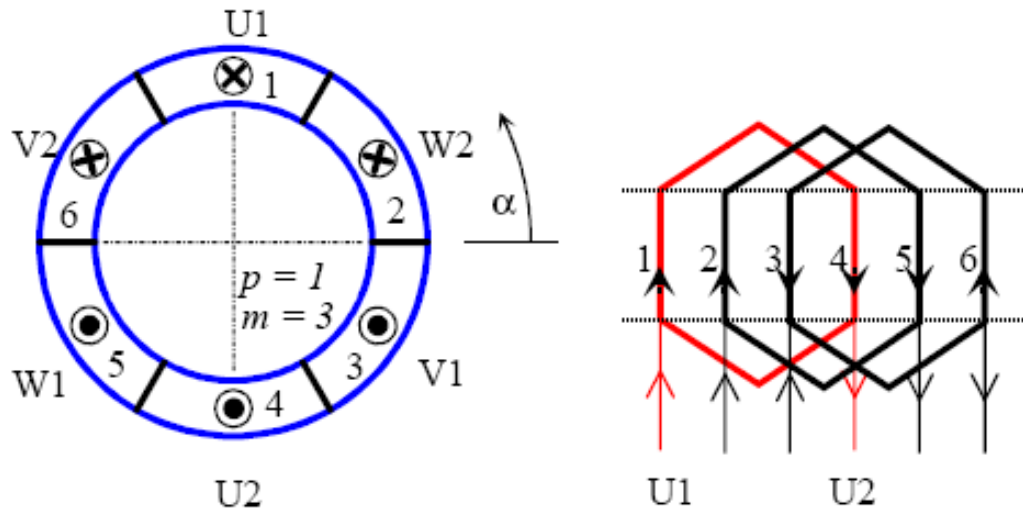


Kuva 7. Oikosulkuroottorin häkkikäänitys (Eristyskoulutus, 2006: s.25).

Staatton pyörivä magneettikenttä indusoi sähkövirran roottoritankoihin, mitkä itsessään muodostavat magneettikentän. Staatton magneettikentän ja roottorin pyörimisnopeuksien välillä on kitkasta johtuvaa eroa, epätahtia. Kitka kasvaa moottorin kuorman kasvaessa.

4.5 Staatton

Staatton on moottorin kiinteä osa. Staattonkääntymisen muodostaa vyyhdit, joiden läpi johdetaan sähkövirtaa. Sähkömagneetoitu kuvan 8 staatton muodostaa pyörivän magneettikentän.



Kuva 8. Staattorikäänityksen periaate (Eristyskoulutus, 2006: s.27).

Korkeajännitteisten induktiomootoreiden vyyhdit valmistetaan suorakaiteen muotoisesta johdineristetyistä muotokuparista. Vyyhdit eristetään kestävämmän virtalähteen tuottama jännite ja muotoillaan sähkölevystä valmistetun staattoripaketin mukaisesti ennen käämitystä. Vyyhdit muodostavat staattorikäänityksen.

5 Suurjännitetekniikka

Suurjännitetekniikka käsittää jännitteistä johdinta ympäröivän eristerakenteen jänniterasituksiin ja jännitekestoisuuteen liittyvät kysymykset. Sähköverkot ja useammat sähköenergiatekniikan laitteet perustuvat olennaisilta osiltaan suurjännitetekniikkaan (Aho, et al. 2003: s. 13).

Sähkömoottoreiden eristysrakenteet pyritään mitoittamaan niin, että ne kestävät valtaosan esiintyvistä jänniterasituksista laitteen käyttöiän ajan ilman pysyviä vaurioita ja aiheuttamatta käyttöhäiriöitä. Ylijännitteiden suuruus on satunnaissuure, joten ei ole käytännössä mahdollista eikä taloudellista mitoittaa eristyksiä niin, ettei yli- tai läpilyöntejä koskaan tapahtuisi. Eristysrakenteiden jännitelujuus mitoitetään suhteessa esiintyvien ylijännitteiden suuruuteen ja lukumäärään niin, että käyttöhäiriöiden ja laitevaurioiden määrä alenee taloudellisesti hyväksyttävälle tasolle (Aho, et al. 2003: s. 323).

Jänniterasituksien lisäksi sähkömoottorin eristykset joutuvat käytössä alttiiksi korkeille lämpötiloille ja värinälle. Sähkömoottorin eristys muuttuu hitaasti, mutta tätä prosessia

pystytään tutkimaan. Aluksi vyyhdin ympärille kiedottu uraeristys sisältää vain vähän ilmatiloja, joissa tapahtuu kohtuullisesti osittaispurkauksia. Käyttölämpötilan ja sen vaihteluiden seurauksena eristys vähitellen turpoaa, jolloin johdineristyksen ja uraeristyksen väliin muodostuu laajempia ilmarakoja. Vähitellen osittaispurkausten lukumäärä kasvaa moninkertaisesti kuluttaen eristystä. Lämpö aiheuttaa myös vähitellen eristeen haurastumista. Ilmarakojen määrän kasvaessa ilmarat kasvavat toisiinsa kiinni aiheuttaen koko vyyhtinipun korkeuden pituisen ilmaraon. Vaikka vyyhden sisään pääsee hitaasti ilmaa tällaisesta raosta, se tuo mukanaan kosteutta ja happea. Osittaispurkauksissa syntyy typpioksideja, joista syntyy kosteuden vaikutuksesta typpihappoa. Typpihappo hajottaa orgaanisia aineita tuhoen johdinten välisiä sideaineita. Kun johtimien välinen liimaus on heikentynyt riittävästi, moottorin sisäiset virtavoimat aiheuttavat värinän ja hankauksen kautta oikosulun. (Aho, et al. 2003: s.182.)

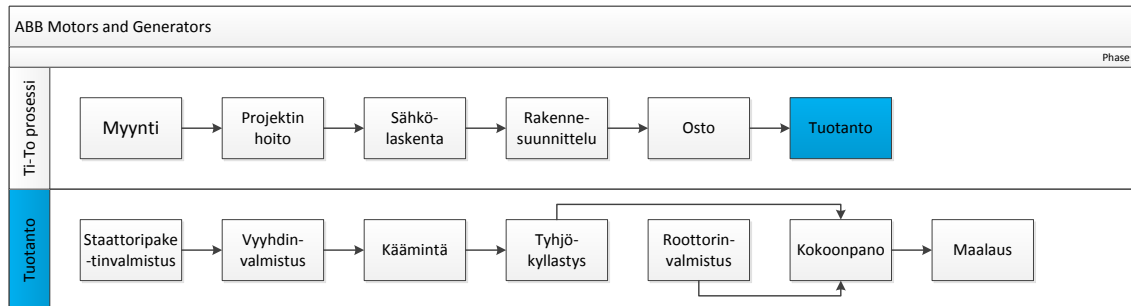
Jos vyyhdissä on liian vähän eristettä se jää väljäksi uraan, uran ja vyyhdin välillä ei näin ollen muodostu riittävää kontaktia. Tämä voi jättää uran ja vyyhdin väliin rakoja, joiden yli vaikuttava suuri jännite aiheuttaa urapurkauksia. Nämä urapurkaukset ovat suurenergisiä osittaispurkauksia, ja ne kuluttavat eristystä. Urapurkausten yhteydessä on todettu vyyhden värinää urassa. Staattorin suuriamplitudinen värinä voi yksinkin kuluttaa vyyhden ja uran välisen eristyksen niin syväälle, että seurauksena on läpilyönti (Aho, et al. 2003: s. 183).

Osittaispurkaus on sähköpurkaus, joka ei oikosulje elektrodiväliä. Osittaispurkauksia syntyy, kun sähkökentän voimakkuus ylittää eristyksen sähkölujuuden. Osittaispurkaukset luokitellaan sisäisiin- eli ontelopurkauksiin, pintapurkauksiin eristeen pinnalla ja koronapurkauksiin johtimen pinnalla. Osittaispurkaukset ovat tavallisesti pieniä, mutta ne voivat vaikuttaa eristyksen elinikään. (Aho, et al. 2003: s. 76.)

Huolimatta mittavasta tutkimustyöstä ja lukuisista teorioista tietämys kiinteissä eristeaineissa esiintyvistä läpilyöntimekanismeista on vajavaista. Läpilyönnin kehittyminen edellyttää, että jonkin termisesti tai sähköisesti aktivoituvan prosessin seurauksena vapaiden elektronien määrä kasvaa niin suureksi, että eriste menettää eristysominaisuutensa. Yleisesti voidaan todeta läpilyönnin aiheutuvan energiasta, jonka eriste saa siihen vaikuttavalta sähkökentältä. Kiinteässä eristeessä läpilyönti johtaa alkuperästä riippumatta eristeen termiseen tuhoutumiseen läpilyöntikohdassa. Kiinteä eriste menettää läpilyönnin seurauksena pysyvästi eristyskykynsä (Aho, et al. 2003: s. 123-124).

6 Tutkimuksen piiriin kuuluvat tuotanto-osastot

Induktiomoottorin tilaus-toimitusprosessiin kuvio 1 kuuluu viisi toimistoprosessia sekä tuotanto, johon kuuluu seitsemän tuotanto-osastoa. Tutkimuksen piiriin kuuluvat vyyhdin valmistus sekä käämintä.

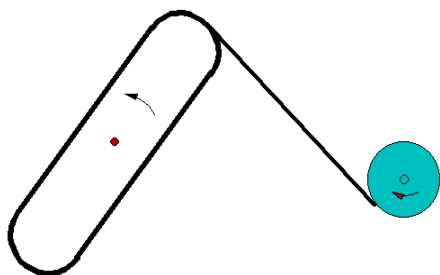


Kuvio 1. ABB Oy Motors and Generators Induktiokoneiden tilaus-toimitusprosessi.

6.1 Vyyhdenvalmistus

Vyyhtiaihion kelaus

Vyyhdenvalmistuksessa valmistetaan vyyhdet staattorikäämitystä varten. Vyyhdenvalmistus alkaa johdineristetyin muotokuparin kelaamisella sähkölaskennan suunnitteleiksi vyyhti aihioiksi. Induktiokoneiden vyyhdenvalmistuksessa käytetään kahta eri vyyhdenvalmistustekniikkaa ja -linjaa, niin kutsutut R- ja T-linjan vyyhdenvalmistus. Riippuen kummalla tekniikalla vyyhdit valmistetaan, määräytyy myös kelattavan aihion muoto.



Kuva 9. R- ja T-linjan vyyhtien kelausmuodot (Vyyhdenvalmistus työohje, 2013: s.8).

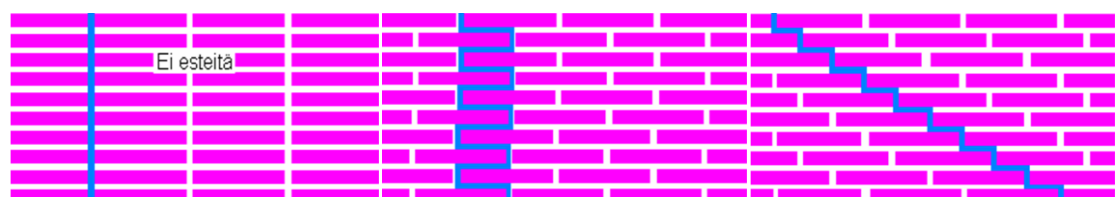
R-linjan vyyhdit valmistetaan järjestyksessä vyyhtiaihion kelaus, eristys, levitys ja koestus. T-linjan vyyhdit vastaavasti vyyhtiaihion kelatus, kelauksen jälkeen levitys, eristys ja koestus. Valmistuslinjan valintaan vaikuttavat valmistettavan vyyhden mitat sekä jänniteluokka. R-linjalla valmistetaan vyyhtejä, joiden kelattu vyyhtinipun korkeus on alle 41 mm ja korkein mahdollinen jännite 11 500 V. T-linjalla voidaan valmistaa kaikkia induktiokoneiden vyyhtejä.

Vyyhden eristys

Vyyhtiaihiot eristetään eristenauhoilla ja eristeaineesta valmistetuilla materiaaleilla vaaditun jänniteluokan mukaisesti. Jänniteluokat jaetaan kahteen ryhmään matalajännitteiset vyyhdit 0–4,2 kV ja korkeajännitteiset vyyhdit 4,3–15,0 kV. Jokainen jänniteluokka vaatii erilaisen vyyhden eristyksen. Jänniteluokat ovat eriteltynä taulukossa 1.

Taulukko 1. Vyyhden eristysjänniteluokat.

Vyyhtiaihiot eristetään limittämällä eristenauhaa vyyhtiaihion johdinnipun ympärille. Limityksen tarkoituksena on tehdä vyyhden erityksestä mahdollisimman kestävä ja ohut. Sähkö pyrkii aina kulkemaan lyhintä reittiä.



Kuva 10. Sähkön kulku läpi limitetyn eristyksen (Eristyskoulutus, 2006: s.61).

Vyyhtien eristys limitetään kolmella eri nousulla. Tarkoituksena on pitää vyyhden eristyspaksuus mahdollisimman pienenä, kuitenkin täyttäen eristyksen jännitevaatimukset.

1/3-nousu tarkoittaa noin 67 %:n limitystä, eli eristenauha kietoutuu itsensä ympäri 67 %:n leveydeltä.



1/2-nousu tarkoittaa 50 %:n limitystä, eli eristenauha kietoutuu puoliksi itsensä ympäri.



1/1-nousu tarkoittaa, että eristenauha ei kietoudu itsensä ympärille.



Vyyhdenvalmistuksen kriittisin eristysalue on vyyhden suoran osan eristäminen. Vyyhden suoraosa asennetaan kääminnäessä staattoripaketin uraan. Eristyksen kiedonnassa on kiinnitettävä erityistä huomiota eristyksen laatuun. Nauhassa ei saa olla ryppyjä, nauhan kiristysvoimien ja limityksen tulee olla tarkkaan säädetty. Eristenauhana käytetään kahta eri kantoaineella olevaa eristenauhaa. Eristenauhan toleranssialueen pienentämisen hintavaikutuksien ja nauhan ominaisuuksien vuoksi eristenauhojen paksuus vaihtelee hieman.

Eristettä tulee kietoa juuri oikea määrä vastaamaan jänniteluokan vaatimuksia, mutta ei kuitenkaan yhtään liikaa, jolloin vyyhdestä tulee liian paksu staattoripaketin uraan nähden.

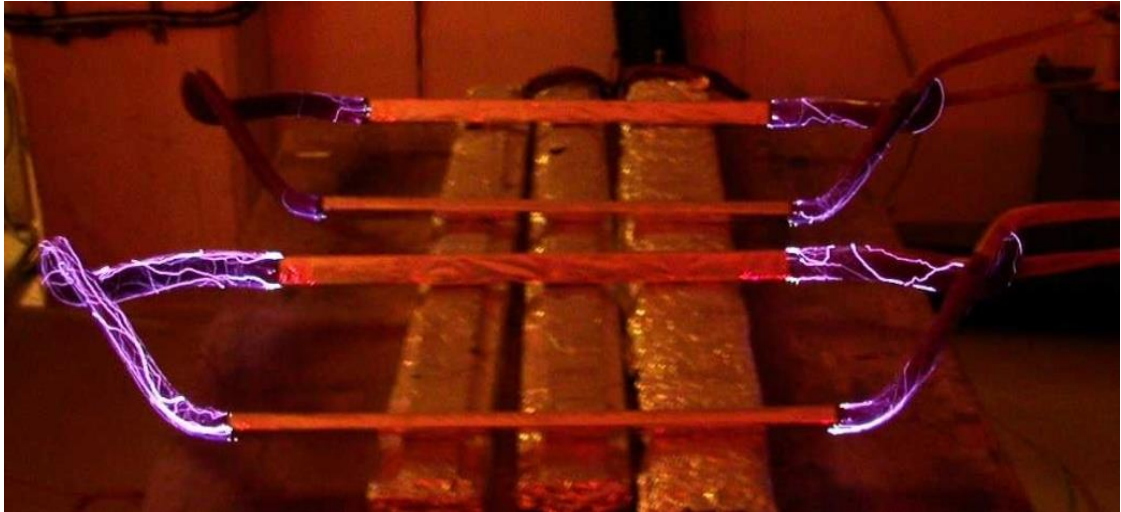
Taulukko 2. Eristenauhan vähimmäismäärät jänniteluokittain vyyhden suoralla osalla.

1)	1)
2)	2)
3)	3)
4)	4)
5)	5)
6)	6)
7)	7)
8)	8)

Kuvassa 11 on poikkileikatun korkeajännitteisen vyyhdin suoraosa.

Kuva 11. Eristetyn vyyhdin poikkileikkaus.

Vyyhden eristäminen aloitetaan vyyhdenpäiden eristämällä, tämä työvaihe tehdään joko käsin tai siihen kehitetyllä vyyhdenpääneristyskoneella riippuen valmistustavasta. Tämän jälkeen vyyhtiin eristetään pääeristys eristyskoneella.



Kuva 12. Koronailmiön vaikutuksia (Eristyskoulutus, 2006: s.57).

Vyyhden levitys

Vyyhden levitys tapahtuu siihen kehitetyllä levityskoneella. Levityksessä vyyhti aihio muotoillaan sähkölaskennan suunnitteleman levityslaskelman mukaisesti niin, että staattorikäänitys ja sen vaatimukset toteutuvat suunnitellusti. R-linjan vyyhdeissä vyyhdit kavennuspuristetaan ennen asennusta levityskoneeseen. T-linjan vyyhdit kelaataan valmiiksi levityskoneeseen sopivaan muotoon.

Vyyhden koestus

Jokaisen vyyhdin kierroseristeet koestetaan. Suurjännitemittauksille ja niiden mittausjärjestelmille asetetaan samat vaatimukset ja tavoitteet kuin muille mittauksille: tarkkuus, kuormittavuus ja sähkömagneettinen yhteensopivuus (Aho, et al. 2003: s. 429). Vyyhdeille tehdään toistoaltokoestus tai 50 Hz:n pistoolikoestus, joissa testataan vyyhden eristysominaisuuksien kunto. Pääeristyksen koestusjännite on paljon suurempi kuin eristyksen mitoitusjännite. Esimerkiksi 4,2–7,2 kV jänniteluokan vyyhdet testataan kierroseristyksen osalta 17 kV:in toistoaltokoestuksella ja pääeristys 19 kV:in (DC) jännitteellä. Mikäli johdineristeessä tai pääeristeessä on vaurioita, niiden on paljastuttava jo vyyhdenvalmistuksen koestuksessa ennen vyyhtien siirtoa seuraavalle tuotanto-osastolle.

6.2 Käämintä

Staattorin käämintä aloitetaan asentamalla eristetyt vyyhdit staattoripaketin uriin. Jokaisessa vyyhdissä on pinta ja pohjapuoli. Vyyhdit on muotoiltu niin, että staattoripaketin jokaiseen uraan tulee kuvan 13 mukaisesti vyyhdin pohjapuoli ja toisen vyyhdin pintapuoli.

Kuva 13. Vyyhtien asennus staattoripaketin uraan.

Kun vyyhdit on asennettu staattoripaketin uriin, käämitty staattori koestetaan. Koestuksessa testataan, että eristykset ovat kunnossa kääminnän jälkeen. Seuraavaksi käämityksen ulosotoista tehdään kuvan 14 kolmivaihekytkentä.

Kuva 14. Staattorin kytkentä.

Lopuksi tarkastaja tarkastaa staattorin ilmaeristysvälit, kytkennät ja tuennat sekä tekee staattorille sähköisiä mittauksia ja koestuksia.

7 Tutkimuksen lähtökohtia

7.1 Tutkimusongelma

ABB Oy Motors and Generatorsin Induktiokoneet-tulosityksikön staattorin kääminnässä on noussut aika ajoin esiin ongelma vyyhtien asennuksessa staattoripaketin uraan. Kääminnän työntekijät ovat huomanneet käämittävien vyyhtien olevan vaikeasti käämitäviä vyyhtien paksuudesta johtuen. Osassa tapauksista vyyhtejä ei ole pystytty asentamaan laisinkaan uraan paksuuden takia.

Vyyhtien asennuksessa uraan on jouduttu käyttämään suurta voimaa, minkä vuoksi vyyhden eristys on vioittunut. Vyyhtien vioittuminen huomataan vyyhtien asennuksen jälkeisessä koestuksessa eristyksen läpilyöntinä. Läpilyönnissä palanut vyyhti joudu-

taan nostamaan staattoripaketin urasta takaisin ylös, jotta eristys voidaan korjata. Tapauksessa, jossa vyyhden eristys on liian paksu eli yli vaadittujen toleranssien, vyyhtiä ei välttämättä saada vaurioitumatta ylös urasta. Vyyhti vääntyy useasta kohdasta, jolloin limitetty eristys hajoaa. Tämä johtaa siihen, että vyyhti joudutaan ottamaan kokonaan pois staattoripaketista ja eristämään uudelleen vyyhdenvalmistuksessa. Kun vyyhti joudutaan ottamaan kokonaan pois staattoripaketista, sen edestä joudutaan nostamaan ylös monta muiden vyyhtien vyyhden pintapuolta. Tapauksessa, jossa vyyhdet ovat liian paksuja myös nämä osittain nostetut vyyhdit saattavat vaurioitua ja aiheuttaa läpilyönnin myöhemmässä koestuksessa, kun staattoriin on asennettu takaisin kaikki vyyhdit. Vyyhden eristyksen korjauksia ei voida laadullisista syistä tehdä kuin kaksi- kolme kertaa tapauskohtaisesti. Tämän jälkeen koko staattorikäänitys joudutaan uusimaan. Tässä tilanteessa staattorin käänitys puretaan ja vyyhdet romutetaan. Käämintä tekee vyyhdenvalmistukselle poikkeman ja vyyhdenvalmistus valmistaa uudet vyyhdit.

Laadun seuranta ja tarkastaminen liitetään valmistustehtävään, jolloin saadaan välitön palaute ja korjaavat toimenpiteet voidaan toteuttaa nopeasti (Haverila, 2005: s. 379). Poikkeavuus laadussa raportoidaan poikkemana. Jatkuva taustaongelmien ratkominen edistää organisaation oppimista ja kehittymistä. Ongelmien taustasyiden selvittäminen ja niiden uudelleen synnyn estäminen varmentaa yrityksen tuotannollista ja laadullista kykyä vastata asiakaslupauksiin.

7.2 Laatuvaikutukset

Yritykselle sisäisesti hyvä laatu merkitsee tuotteiden virheettömyyttä ja alhaisia laatu- kustannuksia. Alhaisten laatu- kustannusten ansiosta yrityksen kustannustehokkuus paranee, mikä vaikuttaa yrityksen katteeseen ja kannattavuuteen positiivisesti.

Markkinoilla hyvä laatu täyttää asiakkaiden tarpeet, vaatimukset, odotukset ja vaikuttaa positiivisesti asiakastyytyväisyyteen. Tyytyväiset asiakkaat ovat uskollisia yritykselle ja lisäävät ostopensa määrää, ja he viestivät myös muille potentiaalisille asiakkaille. Laadun seurauksena yrityksen asema markkinoilla vahvistuu (Lecklin, 2006: s. 24).

Opinnäytetyössä tutkittiin yritykselle aiheutuneita laatu- kustannuksia niiden poikkeamien kautta, jotka viittasivat vyyhden paksuudesta johtuviin ongelmiin. Poikkemista pystyttiin

tutkimaan hukkatyöhön kuluneet työtunnit vyyhdenvalmistuksessa ja kääminnäissä sekä materiaalikustannukset, tässä tapauksessa kuluneen kuparin määrät.

Tuotanto-osaston kustannukset muodostuvat muuttuvista ja kiinteistä kustannuksista. Kustannukset vaihtelevat hieman tuotanto-osastoittain, ja jokaiselle osastolle voidaan laskea tuntiveloitushinta. Suurimmat erot osastokohtaisissa kustannuksissa syntyvät käytössä olevasta laitekannasta ja työn luonteen mukaisesta palkkarakenteesta. Tuotanto-osastoja voidaan näin ollen pitää kustannuspaikkoina. Tuntiveloitushinnan toinen puoli koostuu esimerkiksi seuraavista muuttuvista kustannuksista:

- raaka-aineet, puolivalmisteet, osat
- työsuoritukset
- vuoro- ja ylityökorvaukset
- muuttuvat henkilösivukustannukset
- käyttötarvikkeet
- koneiden kunnossapitokustannukset
- takuukorjaukset
- sähkön kulutusmaksut.

Toinen puoli tuntiveloitushinnasta koostuu kiinteistä kustannuksista, jotka ovat:

- investoinnit
- vuokrat
- lämmitys ja siivous
- ohjaavat työsuoritukset (linjajohto, toimistoprosessit)
- osa suorittavista työsuorituksista (vartiointi, logistiikka)
- kiinteät henkilösivukustannukset

- sähkön perusmaksut
- matkat, suhdetoiminta ja tietoliikenne.

Kokonaiskustannukset muodostuvat, kun yrityksen muuttuvat ja kiinteät kustannukset lasketaan yhteen.

Operatiivisen laskentatoimen keskeisimpiin tehtäviin kuuluu suoritekohtaisten kustannusten selvittäminen. Aikaansaatavien suoritteiden kustannukset on tarpeen selvittää. Selvityksistä syntyy ennakkolaskelmia, joita tarvitaan muun muassa hinnoittelua varten. Pääpaino kustannuslaskennassa on kuitenkin aikaansaattujen suoritteiden kustannusten selvittämisessä. Tuotteista laaditaan jälkilaskemia, joita tarvitaan muun muassa yrityksen tuloksen laskemiseen ja ennakkolaskelmien tarkkuuden seuraamiseen.

Yrityksen kustannusrakenteen selvittämisessä on tarpeen tuntea suoritteiden ja niiden aikaansaamisesta aiheutuneiden kustannusten riippuvuussuhteet. Sen vuoksi kustannuslaskentaan kuuluu yrityksen tuotantoprosessin kuvaaminen ja analysointi, joiden avulla selvitetään, miten tuotantokäytön käyttö riippuu suoritteiden määrästä.

Kustannuslaskennan tietoja käytetään yrityksen toiminnan tarkkailussa, joka asettaa kustannuslaskennalle perusvaatimuksen.

Toiminnan tehokkuuden tarkkailua varten yritys jaetaan vastuualueisiin eli kustannuspaikkoihin. Kustannukset ryhmitellään kustannuspaikoittain. Tällöin puhutaan kustannuspaikkalaskennasta.

Kustannuspaikoittain ryhmiteltyjen kustannuksien vuoksi ongelmista johtuneiden laatu-kustannusten selvittäminen on varsin helppoa, kun tiedetään, kuinka paljon hukkatyötä on milläkin osastolla tehty. Laatu-kustannuksia kertyi noin 120 000 euroa vuodessa.

Induktiomoottorin valmistuksen suurimmat kulut syntyvät materiaali ja henkilöstökuluista. Markkinoiden kova kilpailu, materiaalihintojen jatkuva nousu ja korkeat työvoimakustannukset asettavat yritykselle suuret hinnoittelupoliittiset paineet. Nousevat kustannukset pitäisi saada siirrettyä lopputuotteen hintaan kannattavan tuotannon turvaamiseksi.

Kulurakenteen synnyllä on myös toinen puoli. Miten tehokas ja tuottava prosessi on? Materiaalikuluja voidaan pienentää hankkimalla materiaaleja halvemmän kustannusrakenteen maista, kuitenkin varmistuen hyvä tilaus-toimitusketjun kokonaisuuden hallinta. Materiaalikuluihin tulee laskea koko tilaus-toimitusketjun kulut sekä materiaalin mahdollisten laatuongelmien vaikutukset ja näin arvioida materiaalityöntekijän soveltuvuutta osaksi yrityksen toimintaan. Henkilökuluihin ja työvoimasta saatavaan hyötyyn voi vaikuttaa toimintojen ja menetelmien jatkuvalla kehittämisellä.

7.3 Operatiivinen erinomaisuus strategisena aseena

Operatiivisen erinomaisuuden tavoitteena on maailmanluokan laatu, korkea tuottavuus ja tuotteiden toimitus asiakkaalle ajallaan ja kilpailukykyiseen hintaan. Operatiivinen erinomaisuus on kriittistä yrityksen kilpailukykyyn säilyttämisessä ja sen kehittämisessä. Operatiivinen erinomaisuus vaikuttaa laadun ja tuottavuuteen lisäksi suoraan asiakasyytyväisyyteen. Nykypäivän markkinatilanteessa, jossa teknologiset innovaatiot ja kansainvälinen kilpailu on yleistä, operatiivisen erinomaisuuden tavoittelemisen merkitys yritysten toiminnalle on muuttunut jatkuvasti tärkeämmäksi. Tässä tavoitteessa modernien valmistusmenetelmien ja tekniikoiden kehittäminen ja käyttöönotto on elintärkeää menestyksen kannalta.

Uudella vyyhdin paksuuden mittausselityksellä varmistetaan jokaisen vyyhdin paksuuden olevan juuri oikea. Vyyhti ei ole liian ohut, mikä vaikuttaisi induktiomootorin laatuun ja siten käyttöikänsä alentumiseen. Asiakkaalle luvataan induktiomootorin käyttökohteen mukaan tietty takuu moottorin käyttöikästä. Jos moottorin staattorin eristys vaurioituu virheellisen eristystyön vuoksi, moottorin johtimien ja staattoripaketin välille syntyy oikosulku, mikä rikkoo moottorin. Takuuajana valmistamme uuden moottorin asiakkaalle. Takuuna tehdyn moottorin kulut korvataan itse ja ne ovat suoraan pois yrityksen taseesta ja vaikuttavat näin tuloksentelemiseen. Moottorin vaurioituminen aiheuttaa ongelmia asiakkaan omassa tuotannossa, mikä vaikuttaa negatiivisesti yritykselle elintärkeään asiakas tyytyväisyyteen. Pahimmassa tapauksessa asiakkaan luottamus horjuu ja asiakas käyttää seuraavissa hankkeissaan kilpailevaa moottorivalmistajaa. Myynnillisesti uusien asiakkaiden hankkiminen on erittäin haastavaa, joten vanhoista asiakkaista täytyy pitää hyvää huolta, jotta he tulevat ostamaan uudelleen. Tämä takaa vakaan kannattavan toiminnan.

Vyyhden paksuuden mittaamenetelmä myös varmistaa myös sen, ettei vyyhti ole liian paksu. Liian paksut vyyhdit aiheuttavat laatukustannuksia ja toimitusajan myöhästymisen. Työsuorituksista ja materiaaleista syntyneet kulut tuotannon ongelmatilanteeseen saakka kaksinkertaistuvat. Materiaali- ja työvoimakulut muodostavat merkittävän osan moottorin kustannuksista, ja lisäksi kova kilpailu vaikuttaa moottorista saatavaan katteeseen. Jos materiaali- ja työkulut kaksinkertaistuvat, syö tämä suuren osan moottorin katteesta tai pahimmassa tapauksessa moottorin valmistus voi tuottaa tappiota. Tämä vaikuttaa yrityksen kannattavuuteen.

Asiakkaalle luvatusa toimitusajasta myöhästyminen vaikuttaa vahvasti asiakastyytyväisyyteen. Toimituksen myöhästymisellä on vaikutus myös asiakkaan omaan projektiin aiheuttaen kustannuksia. Jos toimitukset myöhästyvät, eikä toimitusvarmuus ole kunnossa asiakkaat kääntyvät toimittajan puoleen, joka pystyy toimittamaan tilauksen sovitusti ajallaan. Asiakastyytyväisyystutkimuksissa ja oman toimintamme yhtenä tärkeimmistä mittareista on toimitusvarmuus. Toimitusvarmuuden tulee olla sata prosenttia. Toimitusvarmuuden, jossa yksikään moottori ei ole myöhässä, ei ole varaa vyyhden paksuudesta johtuviin ongelmiin. ABB:lle on erittäin tärkeää pitää kiinni asiakkaalle luvatusa toimituspäivämäärästä.

Laatuvaikutuksien lisäksi sähkömoottorin uudestaan valmistettavat vyyhdit täytyy suunnitella normaalin tuotannon jonojärjestyksen sekaan ylimääräisenä työnä. Koska vyyhdeillä on kova kiire ne menevät tuotannon työjonossa ensimmäiseksi jarruttaen muuta tuotantoa. Riippuen tuotanto-osaston hetkellisestä käyttöasteesta voidaan mahdolliset myöhästymät joutua kuromaan kiinni ylitöillä: ylitöistä on maksettava korotettu palkka.

Tämän tyyppisten kehitysprojektien ja operatiivisen erinomaisuuden lisääminen kehittää yritystä ja tekee sen toiminnoista luotettavamman. Kun yrityksen toiminnot kehittyvät ja mahdolliset ongelman aiheuttajat poistetaan prosesseista voidaan myös tuotteiden läpimenoaikoja lyhentää. Lyhyempi läpimenoaika mahdollistaa tuotteiden myynnin myöhäisemmässä vaiheessa kiireellisiin asiakastarpeisiin. Tätä kautta saadaan lisää myyntiä ja tuloksentekokykyä.

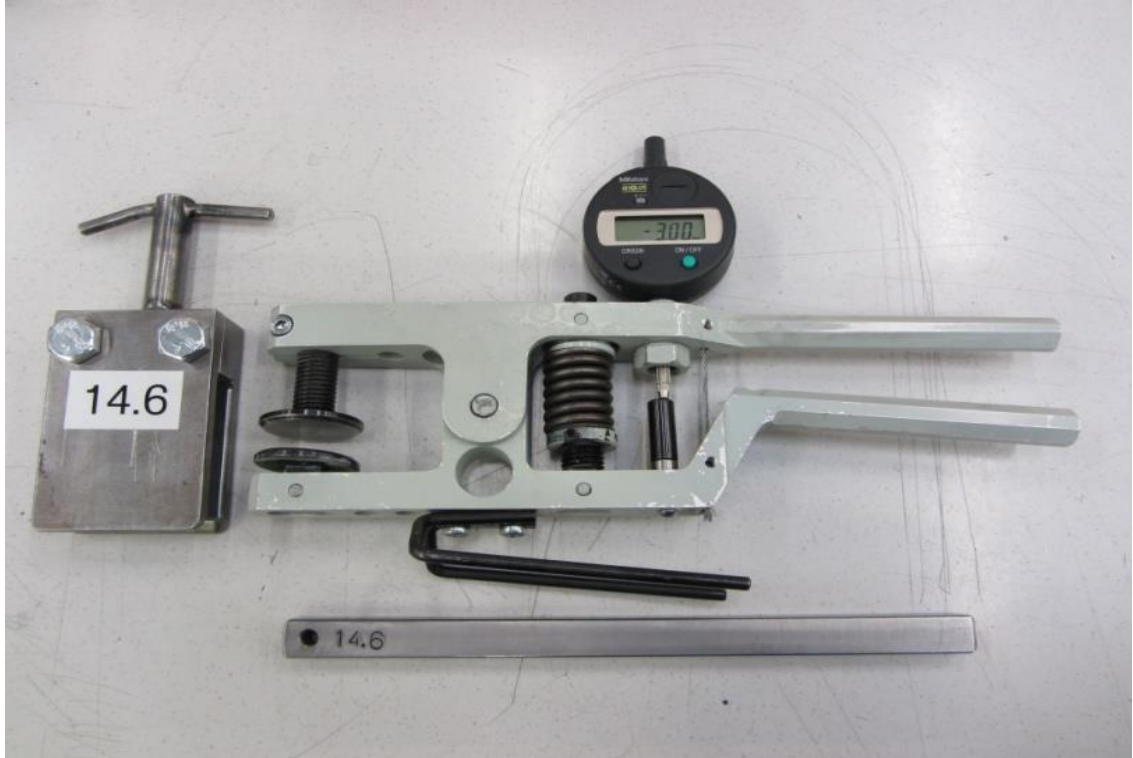
7.4 Vyyhden mittaaminen

Vyyhden paksuuden mittaamisen tarkoituksena on varmistaa, että vyyhtinipun ympärille kiedottu eristemäärä on riittävä suunnitellulle jännitteelle. Jokaiselle jänniteluokalle on erillisessä aikaisemmassa tutkimuksessa määritelty toleranssialueet, joiden sisäpuolelle vyyhden paksuuden mitattu tulos tulee sijoittua. Toleranssialueen koko on. Tämä perustuu siihen, että yksi kerros eristenauhaa kiedottuna vyyhtinipun ympärille lisää eristettä ja vyyhden paksuutta, jolloin työntekijällä on mahdollisuus valmistaa vyyhti vaadittujen toleranssien sisäpuolelle. Tutkimuksien kautta on päädytty toleranssialueiden sijoittuvat suhteessa staattoripaketin uran leveyteen taulukon 3 mukaisesti jännitteluokasta riippuen.

Taulukko 3. Toleranssialueet jänniteluokittain.

Vyyhden paksuuden mittaus tapahtuu tällä hetkellä kahdessa osassa. Ensimmäisessä mittausvaiheessa vyyhtinipun päälle työnnetään käsin tarkkuuskoneistettu metallinen vyyhtitulkki. Vyyhtitulkit on koneistettu staattoripaketin uraan nähden Kuvassa 15 vasemmalla vyyhtitulkki on tarkoitettu vyyhdeille, jotka tullaan asentamaan 15 mm leve-

ään uraan. Vyyhden tulkkaus tapahtuu viimeisen eristävän kerroksen jälkeen. Eristyskoneen käyttäjä työntää työkohtaisesti valitun vyyhtitulkin eristetyn vyyhdin päälle ja toteaa käsituntumalla, onko vyyhden paksuus hyvä. Kun tuntuma on oikea, siirrytään vyyhden paksuuden mittauksessa seuraavaan vaiheeseen.



Kuva 15. Vyyhtitulkki ja vyyhden paksuuden mittaväline.

Vyyhden mekaanisen tulkkauksen jälkeen vyyhden tulkkauskohtasta mitataan kuvassa 15 olevalla vyyhden paksuuden mittavälineellä vyyhden paksuus. Vyyhden paksuuden mittavälineellä mitataan vyyhtiä esivalmisteltujen asetuksien mukaisesti niin, että mittausulos sijoittuu työkohtaisen jänniteluokan toleranssialueelle tai sen ulkopuolelle. Vyyhden paksuuden mittaväline toimii jousivakiovoimalla ja näyttää puristusleukojen välisen vyyhdenpaksuuden digitaalisen mittakellon näytössä.

Vyyhdenpaksuudenmittavälineen säätäminen aloitetaan nollaamalla mittakellon näyttö. Mittakellon nollaamisen jälkeen puristusleukojen väliin asetetaan mekaanisen vyyhtitulkin raon levyinen tulkkirauta. Kun puristusleuka on säädetty oikeaan kohtaan se lukitaan. Tämän jälkeen mittakellon näyttö nollataan uudestaan ja otetaan tulkkirauta puristusleukojen välistä pois, jolloin mittakellon pitäisi näyttää lukemaa. Vyyhden paksuu-

den mittavälineen asentaminen vyyhden ympärille antaa toleranssialueen mukaisen tuloksen, kun vyyhti on oikean paksuinen.

7.5 Tavoitteiden asetanta

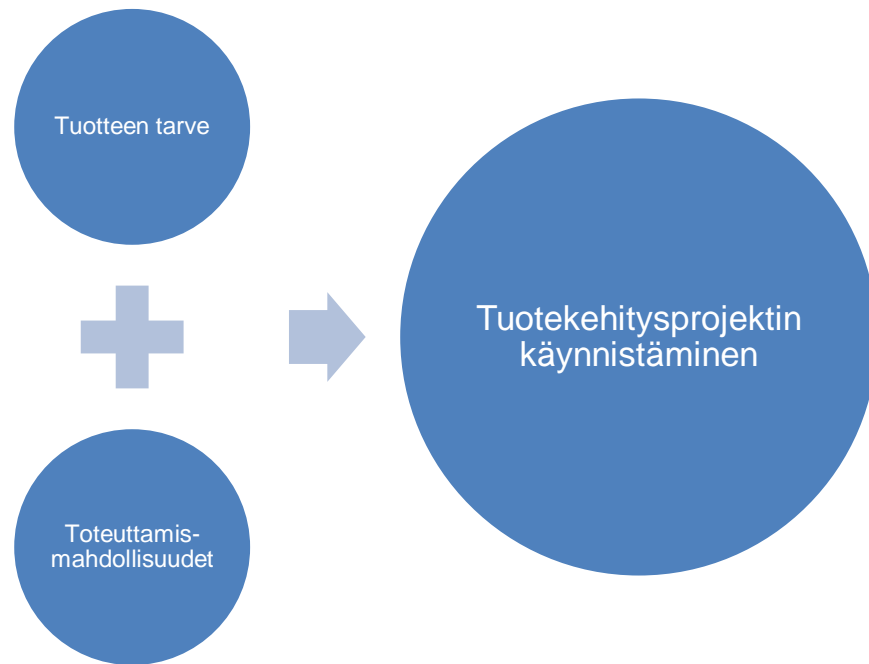
Tavoitteeksi opinnäytetyölle asetettiin nykyisten toimintatapojan tutkinta ja uuden vyyhden paksuuden mittalaitteen, jonka tuottama tulos ei ole käyttäjäriippuvainen, kehittäminen. Aikataululliseksi tavoitteeksi asetettiin projektin loppuun saattaminen ennen kesää 2013. Projektille budjetoitiin euroa, jolla on tarkoitus investoida uusia vyyhden paksuuden mittauslaitteita tuotantoon. Tulisin toimimaan projektipäällikkönä ja tarvittaessa hankkimaan lisäresursseja projektin edetessä. Projektin ei tarvinnut sitoa tässä vaiheessa muita resursseja. Opinnäytetyössä tehtävän tutkimus ja kehitysprojektin ulkopuolelle jätettiin staattorikäynnin työmenetelmien ja työvälineiden kehittäminen. Ongelmien juurisyy ulottuu selkeästi tuotantoputken edelliseen osastoon, vyyhdenvalmistukseen. Kun ongelmakohdat vyyhdenvalmistuksessa on korjattu, keskitytään käynnin menetelmien kehittämiseen erillisenä projektina. Projektin ulkopuolelle jätettiin myös vyyhden paksuuden mittauslaitteen toleranssialueiden uusiminen ja laitteiden levittäminen koko laitekantaan.

8 Kehitysprojekti

8.1 Käynnistysvaihe

Paitsi kehitysideasta tai visiosta projektille voi syntyä tarve siksi, että halutaan uudistaa jokin vanhentunut järjestelmä tai tehdä siihen merkittäviä muutoksia. Syynä projektin käynnistämiseksi voi olla myös ympäristön paine. Joka tapauksessa lopputulos voi projektin valmisteluvaiheessa olla vielä varsin abstraktilla tasolla. Projektin asettamista varten on projektin lopputulos ja tavoitteet kuitenkin kuvattava mahdollisimman selkeästi (Ruuska, 2005: s. 33).

Kuviossa 2 uuden tuotekehitysprojektin käynnistämisen perusedellytys. Tuotteelle on olemassa tarve ja mielikuva sen toteuttamismahdollisuudesta (Jokinen, 1998: s. 19).



Kuvio 2. Tuotekehitysprojektin edellytykset.

Ennen kuin ideaa tai kehitysehdotusta ruvetaan käytännössä toteuttamaan, tulisi kohdealueesta tehdä esitutkimus. Sen tarkoituksena on kartoittaa aiotun hankkeen teknis-taloudelliset edellytykset, sekä varmistaa, että projektin ennakoitu lopputulos tukee organisaation liiketoiminnallisia tavoitteita. Esitutkimuksessa selvitetään ja kuvataan projektin

- toiminnalliset ja tekniset tavoitteet
- keskeiset ongelma-alueet
- tavoitetaikataulu
- kustannusarvio ja resurssitarpeet
- onnistumisedellytykset
- alustava lopputulos.

Mikäli esitutkimus näyttää lupaavalta, voidaan projekti asettaa. Päätöksen projektin asettamiselle tekee linjaorganisaation johto (Ruuska, 2005: s. 33–34).

Vyyhdenvalmistuksen nykyinen vyyhden paksuuden mittaumenetelmä osoittautui nopeasti riittämättömäksi tavaksi varmentaa vaadittu laatutaso. Vyyhden paksuuden mittaamisen ensimmäisessä vaiheessa vyyhtitulkin asettaminen vyyhtinipun päälle tuntuu erilaiselta työntekijöiden kesken johtuen fysikaalisista eroista ja työkokemuksen kautta tulleesta tuntumasta vyyhden tulkkaamiseen. Ennen vyyhdenpaksuuden mittavälinettä tulkki oli ainut mittaustekniikka. Vyyhdenpaksuudesta johtuneiden ongelmien vuoksi myös työntekijöiden epävarmuus tulkkaamisesta kohtaan huomattiin lisääntyneen. Joidenkin työntekijöiden mielestä vyyhti vyyhtitulkin mukaan on hyvä, toisten mielestä vyyhden eristykseen tarvitsisi tehdä muutoksia.

Vyyhden paksuuden mittavälineen asetuksien teossa voi syntyä virheitä, jolloin mittaväline näyttää alusta alkaen väärää mittaustulosta. Mittavälineen vakiokokoiset puristusleuat asetetaan vyyhtinipun päälle, josta mitataan tulos. Vyyhtinipun korkeus eli mitattava pinta-ala muuttuu valmistettavien vyyhtisarjojen mukaan. Vyyhtiin kohdistuva puristusvoima muuttuu, joten sillä on suora korrelaatio saatuun mittaustulokseen. Mittavälineen voi lisäksi asettaa vyyhdin päälle huolimattomasti, tämäkin vaikuttaa saatuun mittaustulokseen. Mittaustulos näkyy mittakellon näytöllä sadasosamillimetrin tarkkuudella.

Vyyhden eristäminen eristyskoneella tapahtuu kietomalla kerroksittain eristenauhaa vyyhtiaihion ympärille. Eristystä voidaan kietoa vyyhden päälle eri nousulla, kuitenkin minimissään. Eristyskoneen ohjelmat on ohjelmoitu niin, että eristettä kiedotaan kerralla mahdollisimman paljon vyyhdin ympärille mahdollisimman tehokkaasti ja lyhyessä ajassa, säilyttäen kiedonnan laadun. Eristenauhaa eli eristeainetta täytyy olla vähintään jänniteluokan määrittelemä määrä. Eristenauhan valmistustoleranssit ovat syntyneet kustannussyistä sekä ABB:n ominaisuusvaatimuksista, joten eristenauhan paksuus vaihtelee siis hieman. Eristyskoneen ohjelmat on tehty olettaen eristenauhan paksuuden olevan tasaista, joten kun jänniteluokan vaatima kiedottujen eristenauha kierrosten määrä on täytetty vyyhden paksuus saattaa ylittyä, tai alittua. Tässä määrässä pienetkin eristenauhan paksuuden vaihtelut näkyvät vyyhdenpaksuuden lopputuloksessa.

Seuraavassa on esimerkkejä erilaisista mittaustilanteista.

1. Kun eristyskoneen ohjelma on ajettu loppuun ja vyyhden paksuuden mittaaminen osoittaa vyyhden olevan alle toleranssin, muutetaan ohjelmaa niin, että vyyhtiin ajetaan lisäeristyskerros. Lisäeristyskerroksen jälkeen vyyhti mitataan uudestaan. Jos mittaustulos on

toleranssin sisällä, vyyhti voidaan siirtää tuotantolinjalla eteenpäin. Jos vyyhti on vieläkin toleranssialueen alapuolella, pitää eristettä kietoa niin kauan, kunnes päästään toleranssialueelle. Jos jossain mittausten menetelmän asennus tai työvaiheessa on tapahtunut virhe ja mittaustulos onkin näyttänyt väärin, vyyhden paksuus on todellisuudessa paksumpi kuin vyyhdenvalmistuksessa luullaan.

2. Kun eristyskoneen ohjelma ja tarvittavat eristenauhakerrokset on kiedottu vyyhtinipun ympärille ja on käynyt niin, että vyyhdenpaksuus onkin mitattaessa toleranssialueen yläpuolella, täytyy vyyhdin ympäriltä käsin purkaa koneella ajettu eristekerros. Riippuen mittaustuloksesta eristettä poistetaan tarvittava määrä. Esimerkiksi jos mittaustulos menee toleranssialueen. Induktiokoneiden tuotannossa on urakkapalkkaus. Työntekijät ovat lisänneet tulkkaukseen kuluvan ajan urakkaan. Vyyhdenvalmistuksen jokainen vyyhti on tulkattava ja vyyhden paksuus mitattava. Jos vyyhdin paksuus ylittää toleranssialueen vyyhden eristyskerroksen purku, koneen asetusten muutos ja uuden eristyskerroksen kietominen vyyhden ympärille vie aikaa. Toleranssialue on lukuarvo mittakellon näytössä. Jos mitattavan vyyhden paksuus ylittää toleranssialueen esimerkiksi, saattaa työntekijä tulkita vyyhden paksuuden olevan riittävän hyvä ja lähellä toleranssialuetta. Vyyhdenpaksuuden mittausta tutkittiin ja todettiin myös tapahtuvan niin, että työtä aloitettaessa vyyhden paksuus mitattiin ja tästä tehtiin päätelmät vyyhden vaatimista eristyskerrosmääristä. Kun todettiin kiedottujen eristekerrosten määrän olevan hyvä, sama eristyskerrosten kiedonta tehtiin kaikkiin vyyhteihin mittaamatta vyyhtejä tämän jälkeen.

Vyyhdenpaksuuden muutoksia tutkittiin vyyhdenvalmistuksen ja kääminnän välillä. Aluksi yhden induktiomoottorin vyyhdet mitattiin vyyhdenvalmistuksessa, niin että joka viidennen numeroidun vyyhden tulos kirjataan ylös paperille. Mittauksen suorittivat työntekijät itse. Tämän jälkeen kaikkien vyyhtien paksuudet mitattiin kääminnässä vyyhden puristuksen jälkeen, ennen staattoripaketin uraan asennusta. Tulokset analysoitiin tilastollisella Minitab ohjelmalla.

Kuvio 3. Vyyhtien todelliset paksuudet kääminnässä, kun joka viidennen mitatun vyyhdin paksuus kirjattiin ylös.

Kuviossa 3 yhden staattorikäymityksen erillisten vyyhtien paksuudet. Lukuarvo 0,4 kuviossa punaisella kuvaa staattoripaketin uran leveyttä. Hajonta vyyhtien paksuuksien

välillä on hyvin suuri (0,40 mm) ja vyyhdeistä 11 kappaletta on paksumpia kuin staatto-ripaketin uran leveys. Tämä aiheuttaa ongelmia käämintään ja johtaa laatuongelmiin. Käämintä on hyvin hankalaa liian paksujen vyyhtien osalta, jopa mahdotonta. Tässä tapauksessa, jos vyyhden eristys hajooa asennuksessa, on suuri todennäköisyys, että koko käämitys joudutaan tekemään uusiksi vyyhdenvalmistuksesta lähtien.

Kun ensimmäisen moottorin vyyhdit oli mitattu, työntekijät mittasivat toisen vastaavanlaisen induktiomoottorin vyyhdet niin, että jokainen vyyhti numeroitiin ja vyyhden mitattu paksuus kirjattiin ylös. Tämän jälkeen vyyhdit mitattiin jälleen kääminnässä ennen uraan asennusta.

Kuvio 4. Vyyhtien todelliset paksuudet kääminnässä, kun jokaisen vyyhdin tulos kirjattu ylös.

Kuviossa 4 huomaamme hajonnan pienentyneen. Yksi vyyhti oli jo vyyhdennvalmistuksessa yli toleranssialueen, ja tämä näkyy myös kääminnässä.

Työntekijöiden osallistaminen kehittämään uutta vyyhden paksuuden mittaamenetelmää osoitti selkeästi laitteen toiminnallisen suunnan. Käydyissä keskusteluissa työntekijöillä oli selkeä halu päästä eroon nykyisestä mittaamenetelmästä. Työntekijät halusivat laitteen toiminnan olevan helppokäyttöistä ja saatu tulos selkeä. Työntekijöillä ei ollut halua tietää mittaustulosta, vain onko vyyhden paksuus hyvä vai ei. Näkemys työntekijöiden kanssa oli yhteinen.

Kännistysvaiheessa selvitettiin nykyisen mittaamenetelmän toiminnalliset epäkohdat, jotka tulee korjata uuteen vyyhden paksuuden mittalaitteeseen. Vyyhden paksuuden mittalaitteella on seuraavia toiminnallisia ominaisuuksia:

- laitteessa tulee olla vakioitu puristusleukojen pinta-ala, jota voidaan käyttää kaikkien Induktiokoneissa valmistettavien vyyhtien mittamiseen
- laitteessa tulee olla riittävästi puristusvoimaa puristamaan vyyhtinipun johtimet suoraan, jotta erillistä tulkkausta ei tarvita
- laitteen tuloksen tulee indikoida mittaustulos muuten kuin lukuarvona
- laitteen tulee olla helppokäyttöinen.

8.2 Inhimillinen tekijä teollisuudessa ja järjestelmien suunnittelussa

Inhimillinen tekijä tutkii ihmisen käyttäytymistä, kognitiivisuutta sekä fyysisiä mahdollisuuksia ja rajoituksia ymmärtääkseen miten yksilöt ja tiimit ovat vuorovaikutuksessa tuotteiden ja järjestelmien kanssa. Inhimillisten tekijöiden insinööritaito ottaa huomioon tietämyksen ja käyttää sitä määrittelyyn, suunniteluun ja järjestelmän testaukseen optimoidakseen turvallisuuden, tuottavuuden, tehokkuuden ja tyytyväisyyden. Inhimilliset tekijät ovat tärkeitä teollisuudelle ja järjestelmien suunnittelulle johtuen ihmisten osallisuudesta osana järjestelmää. Ihminen suunnittelee, valmistaa, käyttää, seuraa, pitää kunnossa ja korjaa teollisia järjestelmiä. Jokaisessa edellä mainitussa kohdassa tietoa inhimillisistä tekijöistä tulisi hyödyntää parantaakseen järjestelmän tehokkuutta, tuottavuutta, laatua, luotettavuutta ja turvallisuutta (Badiru, 2006: 1-1).

Merkittävä osa inhimillisen tekijän tutkimuksesta on omistettu inhimilliselle kognitiolle. Järjestelmiä suunniteltaessa on kriittistä ymmärtää ja ennakoida, miten käyttäjät ymmärtävät järjestelmästä saamansa informaation, miten tämä informaatio käsitellään ja miten käyttäytymisen ja päätöksenteon luonne vaikuttavat lopputulokseen (Badiru, 2006: 1-2).

Ihmisen teot osana järjestelmää ovat usein vaikeampia ennustaa kuin mekaanisten tai sähköisten osien käyttäytymistä. Toisin kuin laitteiden, ihmisen käyttäytyminen perustuu kokemukseen ja uskomuksiin, tällaisia tekijöitä ovat yrityskulttuuri, henkilökohtaiset tavoitteet ja aiemmat kokemukset. Järjestelmän suunnittelijan on kriittistä tutkia näiden vaikutuksia käyttäytymiseen varmistaakseen, että järjestelmästä tulee onnistunut (Badiru, 2006: 1-2).

Useimmat järjestelmät ovat riippuvaisia toiminnon suorittamisen lisäksi nopeudesta ja tarkkuudesta, miten ja millä tavalla toiminto suoritetaan. Monet tekijät vaikuttavat käyttäjän suorituskyykyyn, kuten seurattavien informaatiolähteiden määrä, vaadittavien västeiden monimutkaisuus ja käyttäjän motivaatio hyvään suoritukseen (Badiru, 2006: 1-2–1-3).

Inhimilliset tekijät ovat tärkeitä ennustettaessa järjestelmän luotettavuutta. Inhimillinen virhe on usein osallisena järjestelmän toimintahäiriötä. Kuitenkin juurisyy on usein jäljitettävissä yhteensopimattomuuteen järjestelmän käyttöliittymän ja käyttäjän informaation käsittelykyvyn välillä. Inhimillisen virheen ymmärtäminen, juurisyiden tutkiminen,

tehokkuuden ja siihen yhteydessä olevien tekijöiden vaikutuksien huomioiminen virheiden synnyn mahdollisuuteen ja vakavuuteen voivat johtaa luotettavamman järjestelmän suunnitteluun (Badiru, 2006: 1-3).

Tarkasteltaessa inhimillisiä tekijöitä järjestelmää suunniteltaessa saadaan aikaan monia hyötyjä. Ensisijainen hyöty on lopullisen järjestelmän tehokkuuden parantuminen. Käyttäjää informaation käsittelyssä avustava järjestelmä tukee järjestelmän edellytyksiä ja on näin tuottavampi. Järjestelmä, jossa otetaan huomioon inhimillinen tekijä on myös luotettavampi. Koska inhimilliset virheet ovat usein syy järjestelmän toimitahäiriöön, inhimillisen virheen todennäköisyyden pienentäminen lisää järjestelmän luotettavuutta kokonaisuudessaan.

Inhimillisen tekijän huomioiminen myös johtaa kulujen pienentymiseen järjestelmän suunnittelussa, kehityksessä ja tuotannossa. Kun inhimilliset tekijät on otettu huomioon suunnittelun aikaisessa vaiheessa, virheet vältetään ja ensimmäinen versio on lähempänä lopullista järjestelmää. Järjestelmän parannustyö vältetään ja epäolennaiset ominaisuudet voidaan poistaa jo ennen niiden kehittämistä säästäten resursseja. Inhimillisten tekijöiden huomioiminen lisäksi nopeuttaa käyttöönottoa helppokäyttöisyyden ja nopean kouluttamisen vuoksi. Kun järjestelmä on helppokäyttöinen ja luotettava, se vähentää tarvetta korjaukseen vähentäen kuluja. Lopuksi, kun järjestelmä toimii suunnitellusti ja inhimillinen tekijä on otettu huomioon, se on myös turvallinen käyttää. (Badiru, 2006: 1-3.)

8.3 Käynnistysvaiheen yhteenveto

Vyyhdenmittaus on suurta tarkkuutta vaativa työvaihe, ja mittaustuloksen tarkkuuden tulee olla sadasosamillimetrin luokkaa. Lähtököhtana laitteen käytön kannalta helpoimmaksi ratkaisuksi tulee pyrkiä integroimaan vyyhden paksuuden mittauslaite eristyskoneeseen, jossa mittaus aina suoritetaan. Mittaustulos ilmoitetaan visuaalisena indikaationa vyyhden paksuudesta, ei lukuarvona.

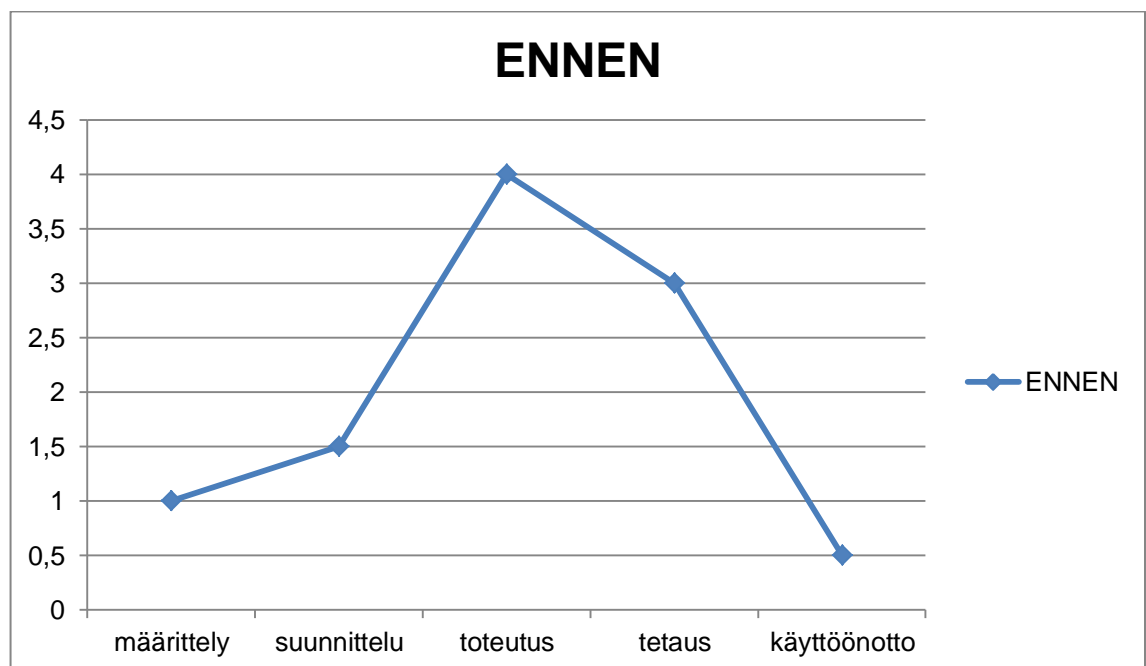
Tässä vaiheessa projektia tarvitsin resursseja myös muilta organisaation toiminnoilta. Tärkeässä roolissa tuotannon tukitiimi, joka vastaa Induktiomoottorin teknillisestä työohjeistuksesta. Tukitiimi on kehittänyt nykyisen mittausmenetelmän, joten heidän kansa tulisi olla läheisessä yhteistyössä eristysisesti rakentamisvaiheen toiminnallisia omi-

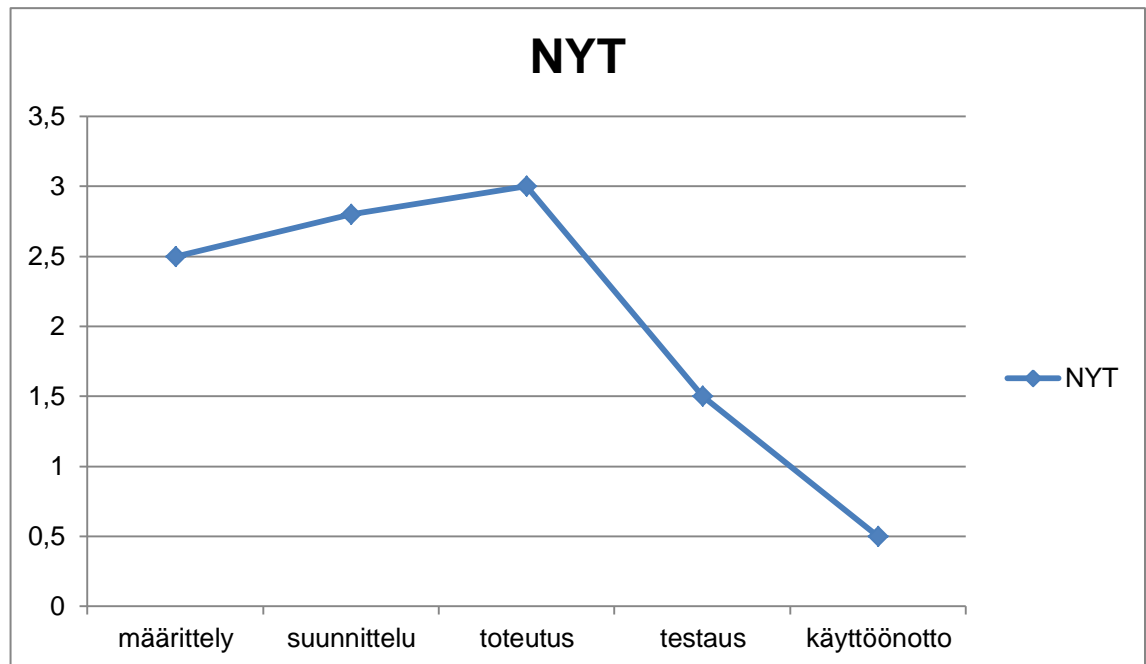
naisuuksia määriteltäessä. Tässä vaiheessa päätettiin myös lähteä etsimään yhteistyökumppania vyyhdenpaksuuden mittauslaitteen suunnitteluun ja valmistukseen. Tehtaalla on ollut hyviä kokemuksia tarkkuutta vaativista projekteista oy:n kanssa, joten päätin lähestyä yritystä projektin rakentamisvaiheessa.

Onnistumisedellytykset ovat hyvät. NykYTEknologian avulla pystytään kehittämään hyvinkin vaativia ratkaisuja. Lopputuotteena nähtiin eristyskoneeseen integroitu automaattisesti toimiva vyyhdenpaksuuden mittauslaite.

8.4 Rakentamisvaihe

Projektiryhmän koko kuviossa 5 vaihtelee projektin kulloisenkin vaiheen mukaan. Takavuosina oli tyypillistä, että toteutukseen ja testaamiseen uhrattiin valtaosa projektiin käytetystä työpanoksesta, kun nykyisin painopiste on siirtynyt yhä enemmän määrittelyyn ja suunnittelun puolelle.





Kuvio 5. Projektin kuormituskäyrien kehitystrendi.

Suuntaus on helpottanut henkilöstön resursointia, koska työmääräarviot on voitu tehdä luotettavimmin. Samalla se on muuttanut projektihenkilöstön osaamisprofiilia, sillä määrittely- ja suunnittelutehtävät ovat vaativia. Projektin rakentamisvaihe käynnistyy toimeksiannon kohteena olevan järjestelmän tai tuotteen määrittelyllä. Määrittelyvaiheessa projektin käynnistämisen yhteydessä tuotettu rajausta tarkennetaan ja kuvataan järjestelmän

- toiminnalliset ominaisuudet
- tietojoukot
- sidosryhmät (käyttäjät, tiedon tuottajat, tiedon hyödyntäjät).

Määrittelyvaihe

Määrittelyvaiheessa kuvataan, mitä järjestelmällä tai tuotteella tehdään. Määrittelyvaiheen tuloksena syntyvät sellaiset kuvaukset, joiden pohjalta tekninen ja toiminnallinen suunnittelu voidaan aloittaa (Ruuska, 2005: s. 33 - 36).

Rakentamisvaihe aloitettiin suunnittelupalaverilla sidosryhmien kanssa, tässä tapauksessa tuotannon tukitiimin ja toimittajan kanssa. Halusin käydä toimittajan kanssa läpi

heidän mahdollisuutensa toimittaa ominaisuuksien mukainen vyyhdenpaksuuden mitauslaite. Suunnittelupalaverissa käytiin läpi toiveet laitteen ominaisuuksista, ja toimittaja esitti alustavia näkemyksiään laitteen mahdollisesta toteutuksesta. Toimittajan näkemys laitteen toteutuksesta oli paineilmakäyttöisillä tarkkuuskomponenteilla sekä mittasauvalla. Epäily paineilmatoimisia laitteita kohtaan heräsi, mutta toimittaja selvittäisi niiden käytön mahdollisuuden kriittisessä työvaiheessa. Paineilmatoimisiin laitteisiin kerääntyy järjestelmästä likaa ja niiden tiivistykset kuluvat ajan saatossa aiheuttaen muutoksia laitteesta saatavaan ulostulovoimaan. Ilma ja erinäiset kaasut lisäksi puristuvat kasaan aiheuttaen muutoksia mitattavaan matkaan. Tehtäväksi jäi alkuun määritellä vyyhden puristamiseen vaadittava maksimipuristusvoima neliösenttimetrille ja puristusleuan vakioitu koko. Näillä tiedoilla toimittaja pystyy määrittelemään laitteessa käytettyjen komponenttien tarvittavat voiman tuotot ja rakenteiden kestävyuden.

Ensimmäisen suunnittelupalaverin jälkeen selvitin Induktiokoneissa valmistettavien vyyhtien minimi- ja maksimivyyhtinipun korkeudet puristusleukaa varten. Nipun korkeudet vaihtelivat välillä. Päätimme puristusleuan toisen sivun olevan leveä, jolla voimme mitata kaikkia valmistavia vyyhtejä. Nykyisen vyyhden paksuuden mittavälineen leukojen kokonaispinta-ala on. Haluan verrata uutta menetelmää vanhaan menetelmään ja käyttää hyväksi jo tutkittuja asioita vyyhden paksuuden mittaamisesta, joten päätin tehdä uudesta puristusleuasta samankokoisen. Toinen seikka on pitää puristusleuan koko pienenä, jolloin vaadittavan pintapaineen aikaan saamiseksi riittää mahdollisimman kompaktit komponentit. Pienemmät komponentit ja pienempi komponenttien tuottama voima tarkoittaa myös halvempaa hintaa. Toisen sivun pituudeksi valittiin.

Tuotannon tukitiimi on tutkinut vyyhden puristamiseen ja johtimien suoristamiseen vaadittavia voimia. Päätin antaa puristusvoiman määrittelyn tukitiimin vastuulle. Nykyisessä mittausmenetelmässä johtimet suoristetaan mekaanisella tulkilla. Vyyhdet puristetaan kääminnässä ennen uraan asennusta vyyhtipuristimilla, joille on määriteltä maksimi puristusvoima. Tuotannon tukitiimi on kehittänyt aikaisemmin kuvan 16 akkuporakone käyttöisen vyyhden paksuuden mittauslaitteen, jonka puristusvoimia on tutkittu, ja ne on todettu riittäviksi johtimien suoristamiseen ja vyyhden paksuuden mittaamiseen.



Kuva 16. Akkupora käyttöinen vyyhden paksuuden mittalaite.

Vyyhden paksuuden mittaukseen kehitetty akkuporakone tuottaa vyyhtiin voiman. Uuden vyyhden paksuuden mittalaitteen puristusvoima määriteltiin tuottamaan vähintään vastaava maksimivoima. Puristusvoiman tulee olla saadettävissä.

Ennen seuraavaa suunnittelupalaveria toimittajan kanssa toimittajalle ilmoitettiin puristusleuan koko ja vaadittu puristusvoima. Käytyjen keskusteluiden ja paineilmakäytön riskiarvioinnin tuloksena pyydettiin toimittajaa tutkimaan laitteen mittaamenetelmän toteutus servomootorilla varustetulla servojärjestelmällä. Vyyhden paksuudenmittaus on erittäin tärkeä osa vyyhdenvalmistusta, joten riskejä ei voida hyväksyä. Tulevaisuuden tavoitteena on siirtyä kokonaan uuteen mittaamenetelmään, ja jos mittaamenetelmässä on riskinä toiminnallisuuksien, kuten puristusvoiman tasaisen tuoton ja etäisyyden paikkansapitävyyden muuttuminen ajan saatossa, tätä ei voida hyväksyä. Mittaamenetelmän tarkkuuden muuttuminen aiheuttaisi suuria ongelmia tuotannossa. Eristemateriaali vyyhden ympärillä on pehmeää ja haurasta materiaalia, joten siihen kohdistuvan puristusvoiman muutokset muuttavat mittaustulosta.

Servotekniikka

Servotekniikassa järjestelmän tehtävänä on ohjata haluttuun arvoon esimerkiksi kappaleen asema tai nopeus. Toimilaitteena ovat erilaiset moottorit ja sylinterit. Säädetävän suureen mukaan puhutaan

- asemaservosta
- nopeusservosta
- voimaservosta
- momenttiservosta.

Servojärjestelmässä on olennaista toimilaitteelle annetun asetusarvon toteutumisen varmistaminen takaisinkytkennän avulla. Servomoottori eroaa tavallisista sähkömoottoreista pääasiassa roottorin pienen hitausmomentin osalta. Pieni hitausmomentti mahdollistaa suuret kiihtyvyydet ja hidastuvuudet ja siten nopean ja tarkan toiminnan (Fonselius, 1998: s. 7–8, 10).

Projektin toisessa suunnittelupalaverissa toimittajilla oli esitellä uusi menetelmä mittauksen toteuttamiseksi. Vyyhdenpaksuuden mittalaitteen toiminta perustui servomoottoriin, jota ohjattaisiin ohjauslaitteella. Servomoottori tuottaisi voiman kuularuuvien välityksellä puristusleukaan ja edelleen vyyhtiin. Servomoottorina käytettäisiin askelmoottoria, jonka pyörimisliike toistuu täsmälleen samansuuruisena jokaista ohjauslaitteen antamaa ohjauspulssia kohti. Askelmoottorilla voidaan hyvin tarkasti mitata puristusleuan asema ja säätää puristusvoimaa. Vaikka nykyiset servomoottorit ovat hyvin luotettavia, halusin varmistaa mittauksessa kriittisen puristusvoiman paikkansapitävyyden lisäämällä laitteeseen takaisinkytkennällä voima-anturin. Servojärjestelmä seuraa servomoottorin ja voima-anturin välistä asetusarvon toteutumista.

Suunnittelupalaverin lopputulemana päätettiin jatkaa projektin eteenpäin viemistä. Projektin seuraavassa vaiheessa päätettiin rakentaa toimittajan tiloihin Oy:ltä saamalla toimintaperiaatteella toimivilla lainakomponenteilla proto-laite, jolla voidaan testata toimintaperiaatetta ja soveltuvuutta vyyhtien mittaamiseen. Testien tekemistä varten jaettiin toimittajakandidaatin kanssa kustannuksia. Koejärjestelyiden tekeminen toimittajan tiloissa ja pienien koneistettujen osien kuten puristusleukojen suunnittelusta ja valmistuksesta tuli kuluja noin euroa.

Testilaitteella suorittu mittauspäivä

Oy:n tiloissa järjestettäviä mittauksia varten tuotannosta kerättiin vyyhtejä eri jänniteluokittain. Jokaista jänniteluokkaa kohden mitattiin neljä mittaussarjaa. Tästä saatiin riittävästi dataa laitteen toimivuudesta vyyhtien mittaukseen ja tukemaan päätöksiä projektin eteenpäin viemisestä. Ennen mittauspäivää toimittajalle annettiin vyyhti laitteen valmisteluita ja kalibrointia varten, jotta mittaustestit voitaisiin aloittaa heti mittauspäivän alussa. Mittauspäivään osallistuisi projektipäällikön lisäksi toimittaja, vyyhdenvalmistuksen työnjohto, tukitiimi ja tuotannonkehityspäällikkö.

Vyyhden paksuuden mittauksia tehtiin nykyisellä perinteisellä tavalla, vyyhden paksuuden mittaporakoneella ja testilaitteella. Kuvan 17 testilaitte säädettiin tuottamaan puristusvoima vyyhtiin. Kaikki mittaustulokset kirjattiin ylös. Samalla seurattiin ja mitattiin puristuksen kestoa sekä mittaustuloksen tasaantumisaikaa. Testeistä saatavaa dataa tullaan käyttämään jatkossa määriteltäessä toleranssialueita ja puristukseen liittyviä muuttujia.

Kuva 17. Vasemmalla mittauskokeita varten rakennettu testilaitte ja oikealla puristusleuka voima-anturiin kiinnitettynä puristamassa vyyhtiä.

Kuvion 6 kuvaajissa esitetään toimittajan tiloissa suoritetun mittauspäivän tuloksia. Mittaussarjat eri menetelmillä on jaettu jänniteluokan mukaisesti Minitab-ohjelman boxplot-kaavioon.

Kuvio 6. Mittaussarjat eri menetelmillä 6 kV:n vyyhdeille.

Kuviossa 6 6 kV:n eristyksellä eristetyn vyyhden mittaustuloksissa perinteisen mittausmenetelmän mukaan vyyhtien paksuus osoittautui hyväksi. Porakone ja testilaitte käyttävät enemmän voimaa puristukseen, jolloin vyyhden eristeet painuvat enemmän kasaan ja vyyhden mitattu paksuus on pienempi. Porakone ja testilaitte huomaa voimasta johtuen myös tarkemmin erot vyyhdenpaksuudessa, mikä näkyy hajonnan kasvuna kuvaajassa.

Kuvio 7. Mittaussarja eri menetelmillä 10 kV:n vyyhdeille.

Kuviossa 7 10 kV:n eristyksellä eristettyjen vyyhtien mittaussarjat asettuivat lähes samankaltaisiksi 6 kV:n mittaussarjoihin nähden. Perinteisellä mittausmenetelmällä vyyhtien paksuudet osuvat toleranssialueen sisään, testilaitteen mittaustulokset toleranssialueen alarajalle ja porakone selvästi alle toleranssialueen. Porakoneen käyttämä voima neliösenttimetrille on suurempi kuin testilaitteen.

Kuvio 8. Mittaussarja eri menetelmillä 13.8 kV:n vyyhdeille.

Kuviossa 8 13,8 kV:n eristettyjen vyyhtien mittauksessa peristeisen menetelmän hajonta kasvaa johtuen riittämättömästä puristusvoimasta. Nykyisen toleranssialueen ja kahden muun menetelmän mittaustuloksien ero kasvaa voimakkaasti. Aikaisemmissa mittauksissa testilaitte on ollut toleranssialueen alarajalla ja porakone noin alempana. Nyt mittaustulokset osuvat noin toleranssialueen alapuolelle. testilaitteen ja porakoneen hajonta pysyy edellisten mittauksien kanssa samalla tasolla.

Mittauspäivän yhteenveto

Mittauspäivä oli onnistunut. Olin vakuuttunut kehitteillä olevan uuden vyyhden paksuuden mittauslaitteen mahdollisuuksista. Sain tärkeää tutkimustietoa testilaitteen toimivuudesta ja luotettavuudesta vyyhden paksuuden mittaamisessa. Vaikka testikäyttöön valmistetun laitteen rungon korkeus ja puristusleuan etäisyys rungosta saattoi aiheuttaa rungossa pientä taipumista, mikä vaikuttaa mittaustuloksen tarkkuuteen, testilaitteella saatiin kuitenkin mitattua tarkasti vyyhden paksuutta erottaen pienetkin paksuuden muutokset. Tätä ongelmaa ei tule olemaan lopullisessa laitteessa kompaktin rakenteen vuoksi. Mittaustuloksen vakiintuminen vei testiympäristössä hieman oletettua enemmän aikaa, noin 8–14 sekuntia riippuen vyyhtiin kiedotun eristemateriaalin paksuudesta. Servomoottorin toiminnallisuuksia voidaan muuttaa, jos nopeutta halutaan tulevaisuudessa kasvattaa, joten tämä ei ole ongelma. Mittauspäivänä saatiin kerättyä myös arvokasta tietoa nykyisen mittausmenetelmän ja testilaitteen välisistä eroista vyyhden paksuuden suhteen. Nämä tiedot tulevat toimimaan lähtötietoina käyttöönottovaiheessa laitteen alustavia säätöjä tehtäessä.

Suunnitteluvaihe

Suunnitteluvaiheessa tuotetaan järjestelmälle asetettujen toiminnallisten vaatimusten perusteella tekninen ratkaisu. Siinä kuvataan yksityiskohtaisesti, miten järjestelmä aiotaan toteuttaa sisäisen rakenteen, liittymien ja rajapintojen osalta (Ruuska, 2005: s. 36).

Testien perusteella päätettiin jatkaa projektin eteenpäin viemistä. vaikutti hyvältä yhteistyökumppanilta. Projektin seuraavana vaiheena oli teknisen toteutuksen ja toiminnallisuuden määrittely tarjouspyyntöä varten.

Tarjosten pyytäminen toimittajakandidaatilelta kannattaa tehdä huolellisesti ja ajan kanssa. Tarjouspyynnön huolellinen valmistelu on tärkeää, jotta tarjouksia ja toimittajia voidaan arvioida yhdenmukaisesti. Tarjouspyyntö kannattaa kirjoittaa siten, että ydinasiat on kerrottu tarjouspyyntödokumentissa ja tarkentavat seikat liitteissä. Tarjouspyynnön tekemiseen kannattaa varata aikaa ja tarvittaessa käyttää sen tekemiseen tai kommentointiin ulkopuolista konsultointiapua. On selvää, että toimittaja tulee tekemään tarkentavia kysymyksiä, mutta tavoitteena on, että tarjouspyyntö itsessään mahdollistaa toimittajalle tarjouksen kirjoittamisen ilman lisätietoja. (Kettunen, 2002: s.109-110.)

Vyyhden paksuuden mittauslaitteen toiminnallisuuden määrittelyn lähtökohtana käytettiin nykyisen menetelmän tutkimuksessa havaittuja puutteita ja ongelmakohtia, myös inhimilliset tekijät otettiin huomioon laitteen toimintoja suunniteltaessa. Vyyhdenpaksuudenmittauslaitteen tulisi olla mahdollisimman helppokäyttöinen ja käyttäjäystävällinen. Laite tullaan integroimaan eristyskoneeseen. Vyyhden paksuuden mittauslaite sijoitetaan eristyskoneen takaosaan, jossa se ei ole eristyskoneen liikkuvien osien tiellä. Kun vyyhden eristyksen kiedonta on valmis, käyttäjä käynnistää mittauksen. Mittaus tapahtuu automaattisesti niin, että mittauslaite siirtyy koneen takaosasta suorittamaan mittauksen vyyhdistä. Mittauksen jälkeen tulos indikoidaan visuaalisesti käyttäjälle näyttölaitteella.

Käyttäjältä vaadittujen lähtötietojen syöttö tulee olla selkeää. Työntekijä syöttää laitteen kosketusnäyttöön valmistukseen tarvittavasta dokumentaatiosta löytyvät tiedot: staattoripaketin uran leveys ja jänniteluokka. Kosketusnäytöstä käynnistetään mittaus. Mittauksen jälkeen näyttöön sytty indikaatio vyyhdenpaksuudesta. Vyyhdenpaksuutta ei esitetä numeraalisena mittaustuloksena, vaan kiedotun eristenauhan määränä suh-

teessa toleranssialueeseen. Indikoiva teksti esittää eristyskoneella kiedottavan eristeenauhan nousua.

Seuraavassa on esitetty esimerkkejä vyyhden paksuuden mittaustapahtumasta.

1. Jos vyyhden paksuus on toleranssialueen sisällä, näyttöön syttyy vihreä teksti OK.
2. Jos vyyhden paksuus on vielä liian ohut, näyttöön syttyy punainen teksti esimerkiksi +1/1, jolloin työntekijä tietää, että vyyhden ympärille täytyy kietoa vielä yksi kerros eristettä 1/1-nousulla. 1/1-nousulla kiedotun eristekerroksen jälkeen vyyhden tulisi olla toleranssialueen sisällä ja mitattaessa indikoida näyttöön vihreän tekstin OK.
3. Jos taas vyyhden paksuus on mennyt yli toleranssialueen, näyttöön syttyy mittauksen jälkeen punainen teksti -1/1, jolloin vyyhden ympäriltä täytyy purkaa eristettä yksi kerros 1/1-nousulla.

Nykyisessä menetelmässä vyyhdenpaksuus näkyy lukuarvona mittakellon näytöllä. Jos tulos menee hieman toleranssialueen ulkopuolelle, voi työntekijä tulkita vyyhdenpaksuuden olevan riittävän lähellä. Uudessa menetelmässä kuviossa 9 vyyhdenpaksuusmittaustulos on hyvä tai toleranssialueen ulkopuolella, eikä tulkinnalle jää mahdollisuutta.

Kuvio 9. Periaatekuva vyyhdenpaksuudenmittauslaitteen kosketusnäytöstä.

Vyyhden paksuuden mittauslaitteeseen tarvitaan kymmenen kappaletta eri jänniteluokkaa, joiden sisäisiä arvoja voidaan muuttaa salasanalla suojatun kosketusnäytön valikonäppäimen takaa. Muutettavia arvoja ovat

1. jänniteluokka, kV
2. toleranssialueen alaraja
3. puristusvoima, %.

Kuvion 9 kosketusnäyttöön syötetty jänniteluokka hakee ohjelmitavaan logiikkaan ohjelmoidun oikean jänniteluokkarivin. Kuvion 10 jänniteluokkarivi määrää toleranssialueen alarajan, joka vähennetään käyttäjän syöttämästä uran leveydestä sekä vyyhden puristamiseen vaadittavan puristusvoiman.

Kuvio 10. Periaatekuva salasanan takana olevista säädettävistä muuttujista.

Toleranssialueen alaraja siirtää koko logiikkaan ohjelmitua kuvion 11 toleranssitaulukkoa. Toleranssialueen säätö vaikuttaa kaikkiin toleranssitaulukon sektoreihin.

Kuvio 11. Periaatekuva toleranssitaulukosta ja ohjelmitavan logiikan toiminnasta.

Kuviossa 11 kuvataan ohjelmitavan logiikan sisäistä toimintaa, kun käyttäjä on syöttänyt kosketusnäyttöön staattoripaketin uran leveyden ja jännitteen Sinisillä poikittaisilla viivoilla on kuvattu toleranssitaulukko, jonka toleranssialue on Jännitteen syöttäminen järjestelmään valitsee jänniteluokakohtaiset muuttuja arvot. Jänniteluokan toleranssialueen alaraja on säädetty syötetystä uran leveydestä, jonka mukaan toleranssitaulukko säätyy automaattisesti. Järjestelmä mittaa vyyhden todellista paksuutta, mutta ei näytä sitä näytöllä. Esimerkkitapauksessa mittaustulokseksi saatiin lukuarvo väliltä ja näin ollen näyttöön sytty punainen teksti -1/1, joka indikoi vyyhden olevan 1/1-nousulla kiedotun eristenauhakerroksen verran liian paksu. Puristusvoimaksi on säädetty 53 % servomootorin maksimi vääntömomentista. Laitteen toistotarkkuudeksi hyväksyimme ja mitattava vyyhdenpaksuus on välillä. Näytöltä olisi lisäksi luettavissa kymmenen viimeisen mittaustuloksen trendi.

Toiminnan määritelmän lisäksi pidin suunnittelupalaverin toimittajien kanssa eristyksellä, jossa suunnittelimme tulevan vyyhden paksuuden mittaustuloksen sijoitusta ja toimintaa. Laitteen kiinnityksessä hyödynnetään eristyskoneessa olemassa olevia lineaarijohteita. Johteiden avulla laitetta voidaan siirtää mahdollisessa uusintamittaustilanteessa. Eristyskoneen kietomakehän taka-alalla on riittävästi tilaa, jossa laite mahtuu olemaan mittaustilassa. Työntekijän käynnistyksessä paineilmatoinen sylinteri tuo johteilla olevan mittauspään vyyhden ympärille ja tekee mittauksen. Mittauksen jälkeen mittaustuloksen indikaatio näytetään näyttölaitteella, ja mittauspää palaa auto-

maattisesti takaisin lähtöasemaan. Mittapää sisältää servomoottorin, kuularuuvien ja sen laakeroinnit, voima-anturin, puristusleuat sekä puristusleukojen liikkeeseen vaadittavat lineaarijohteet. Vyyhden paksuuden mittauslaitteen mittapään korkeus- ja pituussuuntaan tulee hienosäätö, jotta puristusleuka saadaan tarkasti säädettyä osumaan vyyhden sisäreunaan. Sisäreunaan siksi, että vyyhden sisäreuna pysyy eristyskoneessa aina samassa kohdassa. Vyyhtinipun kasvaessa vyyhtinippu kasvaa vyyhden ulkoreunasta ulospäin. Ohjainyksikkö ja kosketusnäyttö sijoitetaan koneen oman ohjainyksikön yläpuolelle, ja järjestelmän sähkökaappi koneen sähkökaapin viereen. Laitteen asennuksen ja hätä-seis-piiriin kytkennän eristyskoneeseen tultaisiin tekemään yhteistyössä ABB Oy Servicen kanssa.

Näillä tiedoilla pääsin pyytämään tarjousta vyyhdenpaksuuden mittauslaitteen suunnittelusta ja valmistuksesta.

Sain tarjouksen vyyhdenpaksuuden mittauslaitteesta oy:ltä. Kuvan 18 vyyhdenpaksuuden mittauslaitteen suunnittelun ja valmistuksen hinta on euroa.

Kuva 18. Yleispiirros vyyhden paksuuden mittauslaitteesta.

Oy:n hinta on huomattavan suuri, joten päätin pyytää toiselta toimittajalta tarjouksen. Toimittajaksi valittiin eristyskoneiden valmistajan Oy:n. Pyysin tarjouksen samoilla teknisillä ja toiminnallisilla määrittelyillä. Oy:n tarjouksen hinta on ensimmäiseltä mittalaitteelta euroa ja seuraavilta laitteilta euroa. Toteutus oli vastaavanlainen :n kanssa. Nyt olemassa oli kilpaileva tarjous ja laitteen tiedettiin olevan kallis. Neuvotteluita jatkettiin :n kanssa. Ongelmallisen neuvottelusta tekee projektin alkuvaiheessa hankkeelle budjetoitu euroa, jota ei voi ylittää.

Projektin eteenpäin viemistä jatkettiin yhteistyökumppanina oy. :n toimipiste sijaitsee oman toimipisteemme läheisyydessä ja olemme yhteistyössä vieneet projektin jo melkein toteutusvaiheeseen, joten :n kanssa olisi kannattavaa jatkaa rakennusprojekti loppuun. Pyysin oy:n erittelemään tarkemmin tarjouksen sisällön ja miettimään ratkaisuja hinnan alentamiseen. Samalla sovin tapaamisen ABB:lle, jossa voisin käydä laitteen toimintaa ja mahdollisia muutoksia läpi. Pidin palaverin, jossa päätettiin säilyttää kaikki vyyhden paksuuden mittaamiselle kriittiset ominaisuudet, mutta karsia muita toiminnal-

lisuuksia. Mittapään automaattinen siirto vyyhden ympärille poistettiin, tämä tehtäisiin käyttäjän toimesta. Lisäksi poistettiin laitteen sivuttaissiirto mahdollisuus sekä mittaus-trendinäkymä näyttölaitteelta. Näillä muutoksilla pyysin uuden tarjouksen. Uuden tarjouksen hinta ei ollut vielä riittävän alhainen. Tavoitteena oli saada ensimmäisen kappaleen hinta alle euroon ja jatkokappaleiden hinnat lähemmäksi euroa. Tämä vaati si neuvotteluiden jatkamista ja vaihtoehtoisten toteutustapojen miettimistä kustannusten alentamiseksi. Neuvotteluita jatkettiin ja laitteen toimintaa muutettiin takaisin niin, että laite kävisi mittaamassa vyyhdenpaksuuden automaattisesti ilman käyttäjän avustusta. Tämä koettiin tärkeäksi helppokäyttöisyyden vuoksi. Tämä on myös tärkeä kriteeri varmennettaessa laitteen käyttö jokaisen vyyhdin mittauksessa.

Useiden neuvotteluiden jälkeen ensimmäisen laitteen hinnaksi sovittiin euroa ja jatkokappaleiden hinnaksi euroa. En voinut vaatia tässä vaiheessa enempää jatkokappaleiden hinnan alennusta, ennen kuin ensimmäinen laite on valmistettu ja todettu varmasti toimivaksi. Tällä tarjouksella ja kaikki tärkeät ominaisuudet tallessa projektia lähdettiin viemään ABB:n sisällä eteenpäin.

Investointi

Investoinniksi voidaan periaatteessa kutsua mitä tahansa rahan käyttöä, jonka tarkoituksena on tulon hankkiminen. Investoinniksi nimitetään kuitenkin vain sellaista rahan käyttöä, jolla on aikaulottuvuus: tuloja odotetaan kertyvän yli yhden vuoden ajan. On kuitenkin tarkoituksenmukaista täsmentää investointikäsitettä ja erottaa rahoitusinvestoinnit reaali-investoinneista. Rahoitusinvestoinnilla tarkoitetaan rahan sijoittamista tuotantoa harjoittavaan yritykseen. Rahoitusinvestointeja tehdään pääomamarkkinoilla, kuten arvopaperipörssissä. Reaali-investoinnissa rahaa sidotaan menoina tuotannontekijöihin tulon hankkimiseksi (Jyrkkiö, 2008: s. 202–203).

Investointipäätöksen teko on merkittävää yritysten toiminnan kannalta, sillä investoinnit luovat puitteet yrityksen toiminnalle. Ne tarjoavat toimintaedellytyksiä mutta muodostavat samalla rajoitteita. Tuotannontekijöihin sidottua pääomaa ei saada nopeasti irti. Näin investointi tavallaan sitoo yrityksen tiettyyn tekniikkaan, mikä vaikuttaa yrityksen toiminnan tuleviin kustannuksiin. Suurehkoissa yrityksissä käytetään investointiehdotusten esittämiseen investointiehdotuslomaketta. Lomakkeen avulla pyritään täsmentämään ehdotusta ja helpottamaan niiden käsittelyä (Jyrkkiö, 2008: s. 203–206).

Ennen investointipäätöksen hakemista esittelin projektin erikseen linjajohdolle ja tuotantojohtajalle. Tilaisuuksissa annoin mahdollisuuden kysymyksille ja pystyin keskustelemaan asiaan liittyen. Esitykset ja keskustelut toimivat myös alustavana hyväksyntänä investoinnille.

Tämän investoinnin takaisinmaksuaikaa täytyy tarkastella pidemmällä aikavälillä sen luonteen vuoksi. Investointi on strateginen investointi eli pitkän aikavälin toimintalinjoja määrittävä. Investoinnilla ei ole riskiä pääomien häviämiseksi. Induktiokoneiden osalta vyyhden paksuuden mittauslaitteen levitys kaikkiin eristyskoneisiin tulee maksamaan arviolta _____ euroa. Tämä tarkoittaa sitä, että taulukossa 4 investointien lopullinen takaisinmaksuaika on ABB:n ohjaamalla yhdeksän prosentin laskentakorkokannalla ja kahdeksan vuoden poistoajalla noin yksi vuosi. Tämän jälkeen investointia vyyhden paksuuden mittausmenetelmän uusimiseen voidaan laskea synnyttävän tuottoa yritykselle juoksevasti _____ euroa vuodessa. Investointia voidaan siis pitää edullisena. Investoinnin takaisinmaksuajalla selvitetään, kuinka monen vuoden nettotuotot on laskettava yhteen perushankintamenon suuruiseen rahamäärään kerryttämiseksi. Investoinnin tarkka takaisinmaksuaika voidaan laskea kaavalla, jossa

$$\frac{-\ln\left(\frac{1}{i} - \frac{H}{S}\right) - \ln(i)}{\ln(1+i)}$$

- H on Investoinnin hankintahinta
- S on vuosittain kertyvät säästöt
- i on laskentakorkokanta
- ln on luonnollinen logaritmi.

Taulukko 4. Investoinnin takaisinmaksuaika.

Investoinnin sisäinen korkokanta laskettaessa kahdeksan vuoden kirjanpidollisella pitoajalla on 99,6 prosenttia. Investointi on kannattava, koska ABB:n pääoman tuottovaatimus yhdeksän prosenttia ylittyy. Sisäinen korkokanta voidaan taulukon 5 mukaisesti laskea Excelissä laskentafunktiolla IRR. Laskentafunktioon syötetään arvot, joille halutaan laskea sisäinen korkokanta. Kustannukset syötetään negatiivisina ja tuotot positiivisina.

Taulukko 5. Sisäinen korkokanta laskettuna Excel IRR laskentafunktiolla.

Jos investoinnin aikaansaamat vuotuiset nettotuotot ovat yhtä suuret voidaan nykyarvo laskea yksinkertaistetusti diskonttaamalla nettotuotot nykyarvoksi ja vähentämällä nykyarvosta investoinnin hankintahinta. Diskonttaustaulukosta katsotaan jälkeenpäin suoritettavien jaksollisten maksujen diskonttaustekijä yhdeksän prosentin laskentakorkokannan ja kahdeksan vuoden poistoajan mukaisesti. Diskonttaustekijä on 5,5348. Näin taulukossa 6 saadaan laskettua investoinnin nykyarvoksi euroa. Investointi on kannattava, koska nykyarvo on positiivinen.

Taulukko 6. Investoinnin nykyarvo.

Investointilaskelmilla on aina hyvä selvittää investoinnin takaisinmaksuaika, sisäinen korkokanta ja investoinnin nykyarvo. Näin saadaan kokonaisvaltainen kuva investoinnin kannattavuudesta.

Vyyhden paksuuden mittauslaite on merkittävä kehitysaskel vyyhden mittaamisessa. Myös muilla ABB:n vyyhdenvalmistuosastoilla on ollut ongelmia vyyhden paksuuden kanssa, joten vielä suurimmat hyödyt investoinnista tullaan saamaan kun laite levitetään kaikille vyyhdenvalmistuosastoille. Vyyhdenvalmistusta tehdään useilla tuotantolinjoilla eri tulosyksiköissä ympäri maailmaa, jolloin yrityksen saama hyöty moninkertaistuu.

Taloudellisten hyötyjen lisäksi vyyhden paksuuden mittausmenetelmä on helppo ja käyttäjäriippumaton tapa mitata vyyhden paksuutta. Vaivaton käyttö tukee tavoitetta, että kaikkien vyyhtien paksuus varmasti mitataan ja mittaustulos on oikea. Laitteen toistotarkkuus on hyvä. Vyyhden mittaamiseen kuluvan työn läpimenoaika saadaan puolitettyä. Todellisuudessa nykyisin tuotantoaika kuluu myös epävarmuuteen ja vyyhden paksuuteen liittyvän päätöksentekokyvyn vaikeuteen. Vyyhden mittaamiseen kuluvan ajan puolittuminen lisää yhden eristyskoneen konekapasiteettia noin 150 tuntia vuodessa. Induktiokoneiden osalta tämä tarkoittaa noin 600 tuntia lisää konekapasiteettia. Kone-eristys on tällä hetkellä vyyhdenvalmistuksen pullonkaula, joten pullon-

kaulan avarrus lisää koko tuotanto-osaston kapasiteettia. Mittausmenetelmä on ergonominen käytön vaatiessa vain käynnistuspainikkeen painamista. Nykyinen raskas mekaaninen vyyhtitulkki täytyy painaa jokaisen vyyhdin ympärille ja sen jälkeen asettaa mittaväline vyyhdin ympärille puristaen käsin mittavälineen jousivakiovoiman ylittävällä voimalla mittaväline kasaan. Vyyhdenvalmistustyö on raskasta käsille, joten kaikki ergonomiset ratkaisut parantavat kumulatiivisesti käsiin muodostuvaa rasitusta. Käsisaivarauksista aiheutuneiden sairaspotilaiden määrää voidaan vähentää pienentämällä rasituksen määrää eri työvaiheissa. Sairaspotilaat heikentävät yrityksen kannattavuutta. Uudessa vyyhdin paksuuden mittalaitteessa on Ethernet-liitäntä mahdollistaen myöhemmän laajentamisen esimerkiksi mittauksen seurantaan. Lisäksi laite ei ole riippuvainen nykyisestä eristysteknologiasta säädettävien toleranssialueparametrien ansiosta.

Investointipäätöslomake hyväksyttiin linjajohdolla ja tuotantojohtajalla. Kun investointiesitys on asianmukaisesti hyväksytty projektipäällikkö toimittaa investointipäätöslomakkeen controllerille, joka syöttää avauspyynnön toimeksiantokannan kautta kirjanpitäjälle. Mikäli investointianomus on virheetön, kirjanpitäjä perustaa SAP-toiminnanohjausjärjestelmään investoinnille käyttöomaisuustunnuksen ja sisäisen tilaustunnuksen ja lähettää ne takaisin controllerille ja projektipäällikölle. Tunnuksien avaamisen jälkeen projektipäällikkö tekee investoinnista hankinta-aloitteen ostoon, joka tekee tilauksen toimittajalle. Hankinta-aloitteen tekemiseen tarvitaan sisäinen tunnus, joka toimii referenssinä ostotilauksissa ja laskujen tiliöinnissä. Käyttöomaisuustunnusta käytetään tunnisteena käyttöomaisuuskirjanpidossa sekä käyttöomaisuuden merkinnässä.

Projektipäällikkö ylläpitää kansiota, johon liitetään projektiin liittyvät dokumentit:

- esiselvitysdokumentit
- investointipäätöslomake ja mahdolliset apulaskennat
- tarjouspyynnöt
- vastaanotetut tarjoukset
- hankinta-aloitteet

- ostotilaukset
- laskut.

Toteutusvaihe

Toteutusvaiheessa valmistetaan suunnitteluvaiheen mukainen järjestelmä tai tuote sekä laaditaan tarvittavat dokumentit ja käyttöohjeet (Ruuska, 2005: s. 36).

Oy suunnittelee ja valmistaa vyyhden paksuuden mittauslaitteen tehtyjen määritelmien mukaisesti. Laitteen luvattu toimitusaika on 6–8 viikkoa tilauksesta.

Testausvaihe

Testausvaiheessa tarkistetaan, että järjestelmä tai tuote vastaa asetettuja vaatimuksia sekä toiminnallisesti, että teknisesti ja tehdään mahdolliset korjaukset (Ruuska, 2005: s. 36).

Vyyhden paksuuden mittauslaitteen kokoonpanon ja ohjelmoinnin jälkeen ennen toimittamista tehtiin toimittajan tiloissa vyyhden paksuuden mittaustestejä kuvan 19 laitteen sovittujen toiminnallisuuksien ja toimivuuden varmistamiseksi sekä mahdollisten muutoksien varalle. Tarvittavat muutokset on helpompi toteuttaa toimittajan tiloissa ennen asennusta lopulliseen käyttökohteeseen. Testien yhteydessä suoritetaan myös esivas-taanottotarkastus.

Kuva 19. Vyyhden paksuuden mittauslaite testipenkissä.

Käyttöönottovaihe

Käyttöönottovaiheen tehtävä on varmistaa, että järjestelmän tuotantokäyttö voidaan aloittaa häiriöttä: tarvittava tiedotus on suoritettu, käyttäjille on annettu koulutus, työtila- ja organisointikysymykset on ratkaistu ja ylläpito- ja tukijärjestelyistä on sovittu. Käyttöönottovaiheeseen liittyy tuotannollinen koekäyttöjakso, jonka tulosten perusteella toimitus voidaan lopullisesti hyväksyä (Ruuska, 2005: s. 36-37).

Käyttöönottovaiheen alussa vyyhden paksuuden mittauslaitteelle tehdään käyttöönotto-tarkastus sekä riskien arviointi. Ennen käyttöönottoa rakensimme vyyhden paksuuden mittauslaitteelle käyttöönottosuunnitelman varmistaaksemme projektin käyttöönottovaiheen onnistumisen. Vyyhden paksuudenmittaus on kriittinen työvaihe, eikä käyttöönottoa voi suorittaa hallitsemattomasti. Käyttöönottosuunnitelman ensimmäiset vaiheet koostuvat ennen laitteen asennusta eristyskoneeseen tehtävistä toimenpiteistä sekä vyyhden paksuuden mittauslaitteen asennuksesta koneeseen. Tämän jälkeen seuraa testien tekeminen ja saatujen tulosten analysointi. Tulosten analysoimisen jälkeen päätetään jatkotoimenpiteet. Laitteen tuotannollisen käytön aloitus vaatii pitkän testaus- ja analysointivaiheen. Vasta kun ollaan täysin varmoja laitteen toimivuudesta voidaan laite linjajohdon hyväksynnällä ottaa käyttöön. Kaikille käyttöönottosuunnitelman vaiheille on vastuuhenkilöt. Käyttöönottosuunnitelman vaiheet kuitataan ja vaiheeseen liittyvät huomautukset kirjataan ylös ja niiden korjaavat toimenpiteet vastuullistetaan ja aikataulutetaan.

8.5 Päättämisvaihe

Projekti on ajallisesti rajattu tehtävä, jolla täytyy olla selkeä päätepiste. Projekteilla on luontainen taipumus jatkua, kun projektin aikana esiin nousseita kehitysehdotuksia ryhdytään käyttöönottovaiheessa toteuttamaan. Nämä mahdolliset kehitystehtävät tulee projektoida erikseen tai sopia tarvittavista järjestelyistä. Projektin hallitun päättämisen edellytys on, että lopputuotteen hyväksymiskriteerit on sovittu jo projektin alussa. Projekti pitää lopettaa jämäkästi, kun rajauksen mukainen lopputuote on otettu käyttöön (Ruuska, 2005: s. 37).

Projekti vyyhden paksuuden mittausmenetelmän kehittämistä päätetään määrittelyiden mukaisesti toimivan laitteen olemassa oloon integroituna vyyhden eristyskoneeseen.

Uusien toleranssialueiden määrittely ja tuotannollinen käyttöönotto eriytetään vyyhden paksuuden mittauslaitteen kehityksestä.

9 Yhteenveto

Opinnäytetyö tehtiin ABB Oy Motors and Generatorsin Induktiokoneet-tulosyksikölle. Yksikkö kehittää ja valmistaa moottoreita ja generaattoreita kaikille teollisuudenaloille ja sovelluksiin maailmanlaajuisesti.

Käämintä osastolla syntyi aika ajoin ongelmia vyyhtien asennuksessa staattoripaketin uraan. Asennuksessa huomattiin vyyhtien olevan liian paksuja. Nämä ongelmat aiheuttivat hukkatyö- ja materiaalikuluja sekä epävarmuutta luvatusajan pitämisessä.

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin nykyistä vyyhden paksuuden mittaamenetelmää ja sen vaikutuksia vyyhdenpaksuudesta johtuviin ongelmiin. Nykyinen tapa mitata vyyhden paksuutta huomattiin nopeasti riittämättömäksi varmentaa vaadittu laatutaso. Menetelmän monimutkaisuuden vuoksi mittaamenetelmän eri vaiheissa voi syntyä virheitä. Lisäksi nykyinen mittaamenetelmä antaa työntekijälle mahdollisuuden tulkita mittaus tulosta. Opinnäytetyössä tutkittiin myös vyyhden paksuudesta johtuvien ongelmien vaikutuksia koko yrityksen liiketoiminnalle ja miksi vyyhden paksuudella on suuri merkitys sähkömoottorin toiminnalle.

Opinnäytetyössä kehitettiin eristyskoneeseen integroitu automaattinen vyyhden paksuuden mittauslaite, joka indikoi käyttäjälle visuaalisesti tuloksen vyyhden paksuudesta. Uuden mittausmenetelmän avulla muun muassa vähennetään laatuksannuksia sekä lyhennetään vyyhden mittaukseen kuluva aika puoleen. Vyyhden paksuuden mittausmenetelmä on hyvin helppokäyttöinen, minkä vuoksi kaikki vyyhdit mitataan. Mittausmenetelmän kehitys on suuri edistysaskel vyyhden paksuuden mittaamisessa. Tämä opinnäytetyö toimii myös impulssina levittää kehitetty vyyhden paksuuden mittauslaite muille ABB:n vyyhdenvalmistuosastoille.

Projektia voidaan pitää onnistuneena, koska projektin tavoitteet täyttyivät odotuksien mukaisesti.

Lähteet

- 1 Aro, M., Elovaara, J., Karttunen, M., Nousiainen, K., Palva, V. 2003: Suurjännitetekniikka. 2. painos. Helsinki, Otatieto Oy. 520 s.
- 2 Badiru, A. 2006: Handbook of Industrial and Systems Engineering. Florida, CRC Press.
- 3 Bansal, R. 2004: Handbook of engineering electromagnetic. New York, Marcel Dekker. 706 s.
- 4 Fonselius, J., Rinkinen, J., Vilenius, M. 1998: Servotekniikka. Helsinki, Oy Edita Ab. 194s.
- 5 Haverila, M., Uusi-Rauva, E., Kouri, I., Miettinen, A. 2005: Teollisuustalous, 5. painos. Tampere, Tammer-paino Oy. 510 s.
- 6 Jyrkkiö, E., Riistama, V. 2008: Laskentatoimi päätöksenteon apuna. 18.-20. painos. Helsinki, WSOY. 353 s.
- 7 Jokinen, T. 1998: Tuotekehitys, 5. painos. Helsinki, Otatieto Oy. 200 s.
- 8 Kettunen, S. 2002: Tietojärjestelmän ostaminen – käytännön opas yrityksille. Porvoo, WS Bookwell Oy. 191 s.
- 9 Lecklin, O. 2006: Laatu yrityksen menestystekijänä, Helsinki, Talentum. 408 s.
- 10 Ruuska, K. 2005: Pidä projekti hallinnassa: suunnittelu, menetelmät, vuorovai-
kus, Helsinki, Talentum. 268 s.
- 11 Sihvola, A., Lindell, I. 1996: Sähkömagneettinen kentäteoria 2. dynaamiset
kentät. Helsinki, Otatieto Oy. 200 s.
- 12 Suvanto, K., Laajalehto, K. 2008: Tekniikan fysiikka 2. Helsinki, Edita Prima Oy.
523 s.

Vyyhden paksuuden mittauslaitteen toimintojen määrittely

Yritys oy:n tarjous nro 1

Yritys oy:n tarjous nro 2

Vyyhdenpaksuuden

mittauslaitteen

yleiskuvia

Investointipäätös

Tilaus

Käyttöönottosuunnitelma

ABB-Oy, Moottorit ja Generaattorit
Induktiokoneet - Matti Vänskä

1(2)

KÄYTTÖÖNOTTO SUUNNITELMA

Urja	Vyyhdenvalmistus - PIT420		
Tilaaja	Induktiokoneet - Helsinki		
Toimittaja	VTP-Hienomekaaninen - konepaja - Oy		
Laitte	Vyyhdenpaksuudenmittauslaitte	Vuosi	2013
Asenn-ID	15040618	Internal Order	409964



		Huom. #	Hyv. #
1	ENNEN-A SENNU STA-TEHTÄVÄT-TOIMENPITEET		
1.1a	Siirretään tuotannosta silvuun eri jänniteluokan vyyhtejä (Työntekijä)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.2a	Tehdään ensimmäiset testit laitteen toimivuudesta VTP:n tiloissa (Vänskä)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.3a	Mittapalojen avulla tarkastusmittauksia koko puristusleukojen avoima-alueella	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.4a	Kaikkien parametrien läpikäynti	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.5a	Mittauksia vyyhden kanssa, mitataan mikrometrillä leukojen väli ja verrataan näytön tulokseen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.6a	Mittauksia lisäämällä eristettä kerros-kerrallaan, miten vaikuttaa tulokseen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.7a		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	VYYHDENPAKSUUDENMITTAUS LAITTEEN-A SENNU S-KONEESEEN		
2.1a	Mekaaninen asennus ja turvapiirin kytkentä (ABB-Service)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.2a	Laitteen korkeuden ja etäisyydensäätö vyyhtiin nähden (ABB-Service)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.3a	Vyyhden ympärille siirtymisen toistotarkkuuden varmistus (ABB-Service)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.4a	Laitteen väistämisen kietomakohan / tarttuvien edestä (ABB-Service)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.5a	Käyttöohjeiden teko (Vänskä)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.6a	Työntekijöiden koulutus (Vänskä)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.7a		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	TESTIEN-TEKEMINEN		
3.1a	Lähtöarvoina käytetään VTP:llä tehtyjä testejä ja niistä saatuja tuloksia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.2a	Operaattori mittaa jokaisen markatun vyyhdin nykyisellä menetelmällä ja vyyhdenpaksuudenmittauslaitteella ja kirjaa molemmat tulokset ylös	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.3a	Mitataan jokaista jänniteluokkaa aluksi yksil kokonainen kone (Työntekijä)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.3.1a	4kV	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.3.2a	6kV	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.3.3a	10kV	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.4a	Mitataan ennakkoon laitteella, sekä kun tulilla hyvä niin lisätään käsin laitteen kohdalle kierros eristettä jolloin tuloksen pitäisi mennä yll. (Vänskä)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.5a		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	TULOSTEN-ANALYSOINTI (Vänskä)		
4.1a	Syötetään konekohtaiset tiedot määrittämiin, analysoidaan tulokset	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.2a	Tehdään tarvittavat muutokset ja mitataan lisää koneita	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.3a	Analysoidaan uudet tulokset, tätä tehdään niin kauan kunnes varmistetaan oikeista parametreista	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.4a	Katselmoidaan saadut tulokset tukitilim ja linjajohdon kanssa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.5a		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.6a		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

