



TEKNIikka JA LIIKENNE

Sähkötekniikka

Sähkövoimatekniikka

OPINNÄYTETYÖ

VOIMALAN LOPPUTESTAUKSEN KEHITTÄMINEN

**Työn tekijä: Marko Nissinen
Työn ohjaaja: Jari Ijäs
Työn ohjaaja: Jukka Säkinen**

Työ hyväksytty: __. __. 2009

**Jari Ijäs
lehtori**

ALKULAUSE

Tämä opinnäytetyö tehtiin kohdeyritykselle. Haluan kiittää projektissa mukana olleita avusta ja mahdollisuudesta tehdä tämä työ.

Helsingissä 7.5.2009

Marko Nissinen

TIIVISTELMÄ

Työn tekijä: Marko Nissinen	
Työn nimi: Voimalan lopputestauksen kehittäminen	
Päivämäärä: 7.5.2009	Sivumäärä: 38 s. + 2 liitettä
Koulutusohjelma: Sähkötekniikka	Ammatillinen suuntautuminen: Sähkövoimatekniikka
Työn ohjaaja: Lehtori Jari Ijäs	
Työn ohjaaja: Tuotantopäällikkö Jukka Säkkinen	
<p>Työn tarkoitus on parantaa voimalan testausta ja nostaa koestamon käyttöastetta. Työssä on keskitytty työmenetelmien ja -tapojen tarkasteluun.</p> <p>Koestamon toimintaan tutustuttaessa havaittiin mm. seuraavia kohtia. Jos voimalaan, sen ollessa asennettuna testipenkkiin, tuli vika joka vaati valmistajan paikallaoloa ja neuvontaa, se pysäytti koko testauksen. Lisäksi eri komponentteja piti yhdistää toisiinsa, jotta testiajo voitaisiin suorittaa. Työssä käsitellään erilaisten ohjelmointia vaativien komponenttien määrä ja niihin tarvittavat ohjelmointityökalut.</p> <p>Yksi ratkaisu oli mahdollistaa voimalan koestamisen aloittaminen jo ennen testipenkkiin siirtämistä. Tämä vaati erilaisia simulaattoreita, kuten konehuonesimulaattorin, jotta napaa voidaan ajaa ja testata ilman voimalaa, napasimulaattorin, jotta voimalaa voidaan ajaa ja testata ilman napaa ja I/O-testisimulaattorin, jotta voimalan testaus voidaan aloittaa jo ennen testipenkkiin siirtämistä. Ohjelmointia vaativien komponenttien kohdalla määriteltiin parametritiedostot, jotka ovat ladattavissa ohjelmointityökalulla, ja tämä tehdään jo alihankkijan toimesta.</p> <p>Simulaattoreiden avulla voidaan koestamon toimintaa jatkaa, vaikka testipenkissä oleva voimala olisikin rikki eikä sitä voida ajaa. Lisäksi simulaattoreiden avulla ennen pakollinen navan ja voimalan yhdistäminen koeajoa varten voidaan jättää pois. Testauksen ja työn suunnittelun osalta tämä antaa paljon vapauksia ja mahdollisuuksia. Ohjelmointia tarvitsevat komponentit tarkistetaan ja koeajetaan ja ohjelmointi jää pois koestusvaiheesta.</p> <p>Tässä työssä esitetyt ratkaisut lyhentävät koestusaikaa muutamalla tunnilla, ja luovat tuotannon ja varsinkin koestuksen ohjaukseen vaihtoehtoja. Lisäksi testipenkissä kulutettu aika lyhenee merkittävästi jos I/O-testaus tehdään aiemmin.</p>	
Avainsanat: voimala, lopputestaus, generaattori	

ABSTRACT

Name: Marko Nissinen	
Title: Optimizing the Final Testing of a Turbine	
Date: 7 May 2009	Number of pages: 38 p. + 2 appendixes
Department: Electrical Engineering	Study Programme: Power Systems
Instructor: Jari Ijäs, Senior Lecturer	
Supervisor: Jukka Säkkinen, Product Manager	
<p>The purpose of this final project is to improve the testing of the turbine and the utilization rate of the testing department. Special focus has been paid to work methods. This work also deals with the components needing parameterization or programming and the required software tools.</p> <p>This study is based on observing the test field and identifying problems. The problems found included the following: If the turbine broke down while it was installed on the test bench, so that a service engineer of the manufacturer was needed, the testing of the turbine was interrupted. Also the hub and the power station needed to be connected together before the test run was able to start.</p> <p>One solution was to enable I/O testing before moving the turbine on the test bench. This requires different kind of simulators, such as a power station simulator so the testing of the hub itself is possible without the machine room; a hub simulator so the testing and the test run of the power station itself is possible without the hub and a I/O test simulator so that the testing of the I/O of a power station can be carried out before moving it to the test bench. Parameter files were created for the components needing programming. These files can be downloaded using software tools and this can be performed by the subcontractors.</p> <p>If the turbine installed to the test bench breaks down it is still possible to continue work with the simulators and the hub or power station where all installations are finished. In addition, connecting the hub and the power station is not needed any longer for performing the test run. This gives more possibilities for planning the testing and production. The components requiring programming or parameterization will only be tested as programming will have been carried out earlier by the subcontractors.</p> <p>The solutions proposed in this work will decrease the testing time by two or three hours but they give more flexibility and predictability to testing and the planning of the installations. The time spent in the test bench will be reduced significantly if the I/O test is performed before moving the turbine to the test bench.</p>	
Keywords: power station, final testing, generator	

SISÄLLYS

ALKULAUSE

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	MIKÄ ON VOIMALA	1
2.1	Voimalan rakenne	2
2.2	Konehuoneen rakenne	4
2.2.1	<i>Voimansiirto</i>	4
2.2.2	<i>Generaattori</i>	6
2.2.3	<i>Taajuusmuuttaja</i>	8
2.3	Generaattorijärjestelmät	9
2.3.1	<i>Kiinteänopeuksiset tuuliturbiinit</i>	9
2.3.2	<i>Muuttuvanopeuksiset tuuliturbiinit</i>	12
2.4	Kohdeyrityksen voimala -konsepti	15
3	MIKSI TESTATAAN	16
3.1	Testausta koskevat määräykset	16
3.2	Testattavat kohteet	17
4	TESTAUS TÄLLÄ HETKELLÄ	19
4.1	Testauksen sujuvuus	19
4.1.1	<i>Konehuoneen testaus</i>	19
4.1.2	<i>Navan testaus</i>	20
4.1.3	<i>Lopputestaus</i>	20
4.2	Testauksen läpimenoaika	21
4.3	Testauksen pullonkaulat	23
5	TESTAUKSEN KEHITYSKOhteet	24
5.1	I/O-testaus ennen siirtoa testipenkkiin	24
5.1.1	<i>Syöttöjännite 400 V</i>	24
5.1.2	<i>Syöttöjännite 690 V</i>	26
5.1.3	<i>Syöttöjännite 21 kV</i>	28
5.1.4	<i>Suosituksia</i>	29
5.1.5	<i>Öljynhuuhtelu ja jäähdytyspiirien täyttö</i>	30
5.2	Konehuonesimulaattori	30
5.3	Napasimulaattori	34

5.4	Ohjelmointia / parametointia tarvitsevat laitteet	34
6	POHDINTA	35
7	YHTEENVETO	36
	VIITELUETTELO	38

Liitteet 2 kappaletta vain työn tilaajan käyttöön, ei sisälly julkiseen kirjalliseen raporttiin.

1 JOHDANTO

Sähkön kulutus kasvaa tasaisesti talouskasvun, väestönkasvun ja uusien käyttäjien takia.

Tuulivoima on voimakkaasti kasvava uusiutuva energialähde, lisäksi se on puhdas ja ilmainen. Se vastaa myös Kioton sopimuksen vaatimuksiin, rajoittamalla ilmastonmuutosta.

Tuulivoimateollisuuden alussa voimalat olivat yksittäisiä, pienitehoisia ja yleensä mantereelle asennettuja. Nykyisin voimaloiden tehot ja määrät kasvavat ja tuulipuistot ovat tavallisia. Energian tuottamisen kasvaessa suunnitellaan suurempia voimaloita ja puistoja, nykyisin suurimmat tuulipuistot pyritään suunnittelemaan ja sijoittamaan merelle.

Tuulivoimaloiden voimakas kysyntä lisää tarvetta nopeaan tuotannon kasvattamiseen, mistä luonnollisesti seuraa myös testauksen määrällinen lisääntyminen. Jotta tuotteen läpimenoaika saadaan pidettyä alhaalla ilman merkittävää henkilöstön lisäämistä, pitää kehittää uusia työtapoja tai menetelmiä.

Tämän insinööriyön tarkoitus on nopeuttaa voimalan lopputestausta laadun kärsimättä, saada läpimenoaika koestuksen osalta tarkemmaksi, lyhyemmäksi ja ennustettavammaksi ja jos mahdollista niin nostaa koestamon ja testipenkin käyttöastetta.

Työssä keskitytään vaaka-akseliseen voimalatyyppeihin, koska se on käytetyin voimalatyyppejä ja myös kohdeyrityksen käyttämä teknologia.

2 MIKÄ ON VOIMALA

Voimalan ajatus on, että tuulen liike-energia muutetaan pyörimisliikkeeksi siipien avulla ja siitä edelleen generaattorin avulla sähköksi.

SFS-IEC 60050-415-01-02 määrittää voimalan seuraavasti: systeemi joka muuntaa tuulen kineettisen energian sähköenergiaksi.

Kaikki alkaa Newtonin 2. laista.

$$E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1)$$

missä:

- m = massa
- v = nopeus

Lopulliseksi teoreettiseksi tehoksi saadaan kaavan 2 mukainen teho, jos ei oteta huomioon lapakulmia.

$$P = \frac{1}{2}\eta\rho\pi r^2 v^3 C_p \quad (2)$$

missä:

- P = teho
- η = hyötysuhde
- ρ = ilman tiheys
- r = siiven säde
- v = tuulen nopeus
- C_p = tehokerroin, ideaalivoimalalle $16/27 = 0,593$.

Kaavasta 2 havaitaan että siiven pituudella ja varsinkin tuulen nopeudella on suuri merkitys voimalasta saatavalle teholle.

Benz'in luku eli kärkinopeussuhde ilmaisee potkurin kärjen tai roottorin kehän uloimman pisteen kehänopeuden suhteen tuulen nopeuteen.

2.1 Voimalan rakenne

Voimala on yleensä kolmilapainen turbiinilla, vaihteistolla, generaattorilla, levyjarruilla ja kääntölaitteistolla varustettu kokonaisuus, joka on asennettu ylös konepedin päälle. Vähintään voimalan vaihteisto ja generaattori sijaitsevat ylhäällä niin sanotussa konehuoneessa. Kohdeyrityksen voimalassa konehuoneeseen on sijoitettu vaihteisto, generaattori, hydraulikka, hydraulinen levyjarru, kääntöjärjestelmä, tehoelektronikka sekä

myös päämuuntaja. Alas tornin juurelle on asennettu pääkatkaisija ja päälogiikka. Tällä ratkaisulla on saavutettu nopea käyttöönottoaika. Kääntöjärjestelmä kääntää turbiinin kohti tuulta, siinä käytetään hydraulikkaa ja apuna on sähkömoottoreita, jotka on kytketty mekaanisesti konepedin sisähammaskehälle (liite 1).

Yleisin käytetty voimalamalli on niin sanottu horisontaalinen malli, jossa generaattorin ja roottorin akseli on nimensä mukaisesti vaakatasossa. Tämä malli on käytetyin ja varsinkin suurilla tehoilla ainut vaihtoehto. Tässä mallissa merkittävä etu on se, että potkuri pyöriessään peittää omaan pinta-alaansa nähden huomattavan suuren pinta-alan, ja kykenee tuottamaan omaan painoonsa nähden huomattavan paljon tehoa. Potkuri sijaitsee ylhäällä, tämä hankaloittaa huoltotöitä, mutta tuulen nopeus on suurempi kuin maanpinnalla.

On myös olemassa erityyppisiä tuulivoimaloita kuten savonius-turbiini, joka on suomalaisen kehittämä 1930 -luvulla. Windside-turbiini eli tuuliruuvi on kehitetty savonius-turbiinin pohjalta. Darreius-turbiini on pystyakselinen, ympäri pyörivä voimala.

On tärkeää pystyä säätämään ja rajoittamaan tehoa kovilla tuulen nopeuksilla, koska tuulesta saatava teho on verrannollinen tuulen nopeuden kolmanteen potenssiin.

Tehonrajoitukseen on pääasiassa kolme eri vaihtoehtoa, jotka voivat olla käytössä vakio- tai muuttuvanopeuksisessa voimalassa.

Sakkaussäätöinen voimala toimii siten, että turbiinin lapojen kulmat ovat kiinteät. Kun ilmavirtauksen nopeus kasvaa liian suureksi lapa sakkaa, eli ilmavirtaus irtoaa lavan poikkipinnasta. Säätötapa on yksinkertainen ja tehokas, siihen ei tarvita apulaitteita. Kyseinen säätö oli tuulivoimaloiden alkuaikoina ainoa säätömuoto.

Aktiivinen sakkaussäätö toimii kuten lapakulmasäätöinen voimala, kun tuulen nopeus on alle nimellistuulennopeuden. Lapakulmaa optimoidaan ja säädön ansiosta laitoksen hyötysuhdetta saadaan nostettua pienillä tuulennopeuksilla. Kun tuulen nopeus ylittää nimellistuulennopeuden, lapa alkaa sakata kuten sakkaussäädössä, mutta sakkauksen määrää säädellään

muuttamalla lavan asetuskulmaa siten, että suurilla tuulenopeuksilla voimalaitos toimii lähellä nimellistehoa.

Lapakulmasäädössä, joka on nykyisin eniten käytetty, sähkömekaaninen tai hydraulinen mekanismi kääntää lavan asentoa eli kulmaa tuuleen nähden. Lapakulmaa säädetään seuraamalla laitoksen tuottamaa tehoa niin, että kun ollaan alle nimellistehonopeuden lapakulmaa säädetään ja pyritään pitämään optimaalisena. Kun tuulen nopeus on suurempi kuin nimellistehonopeus, niin lapaa käännetään tuuleen päin ja kohtauskulma pienenee optimistaan ja lavan hyötysuhde laskee [4.]

2.2 Konehuoneen rakenne

Voimalan konehuone sisältää seuraavat osat:

- konepeti
- kääntömekanismi
- vaihdelaatikko
- generaattori
- tehon ohjaus
- sääasema
- jäähdytys
- ohjaus.

Napa eli hub sisältää siipien kääntömekanismin. Katso liite 1, josta näkyy kohdeyrityksen voimalan pääkomponentit.

Käydään läpi periaatetasolla voimansiirto, generaattori ja tehon ohjaus.

2.2.1 Voimansiirto

Voimansiirron tehtävä on energian siirto tuulesta verkkoon. Laitteisto on navan ja verkon välissä. Perusongelma on verkon vaatima 50 Hz:n taajuus, sillä roottorin suhteellisen hidas nopeus aiheuttaa matalan taajuuden. On olemassa kaksi perusvaihtoehtoa energian siirtoon, joko suoraveto tai vaihteisto, lisäksi on näiden välimuotoja.

Käydään läpi eri tehonsiirtovaihtoehdot, jotka ovat:

- suoraveto
- vaihteisto
- risteytetty (hybrid)
- multibrid.

On olemassa niisanottuja suoravetogeneraattoreita, näissä on kaksi mahdollisuutta taajuuden suhteen. Nopeasti pyörivässä roottorissa eli 3000 r/min, siiven nopeus kasvaa liian suureksi. Hitaasti pyörivä roottori vaatii, että napalukua kasvatetaan ja fyysinen koko kasvaa huomattavasti. Napaluku voi olla jopa luokkaa 200. Näistä vain hitaasti pyörivää vaihtoehtoa käytetään. Suoravetovoimansiirron huono puoli on, että generaattorin koko ja paino kasvavat. Etuja ovat pienet häviöt ja luotettavuus, koska siinä ei ole vaihdelaatikkoo [2].

Vaihteiston tarkoitus on muuntaa tuulesta saatava korkea momentti ja matala kierrosnopeus matalaan momenttiin ja korkeaan kierrosnopeuteen joka voidaan ohjata generaattoriin. Näin generaattorin koko ja hinta saadaan järkeväksi [2].

Mekaaninen voimansiirto vaihteistolla, käsittää vaihdelaatikon, jossa on tavallisesti muutamia vaihteita ja moninapainen generaattori. Mekaaninen voimansiirto voidaan jakaa kolmeen alueeseen: hidas akseli, vaihteisto, suurnopeusakseli ja generaattori [2].

Hidas akseli on kytketty roottorin ja vaihdelaatikon väliin. Koska akselin pyörintänopeus on matala johtuen matalasta tuulen nopeudesta, momentti on korkea, jotta saataisiin riittävästi tehoa. Tämä vaatii paksua ja jäykkää akselia. Lisäksi jos voimala on lapakulmasäädetty, niin akselin täytyy olla ontto, että siitä saataisiin navan ohjauskaapelit läpi [2].

Koska kokonaisvoimansiirtosuhde on matala, vaihteisto on yleensä jaettu kolmeen vaiheeseen.

Eri vaihteistovaihtoehdot:

- rinnakkaisakseli
- planeettapyörästä
- yhdistetty vaihteisto.

Yksinkertaisin vaihteisto on rinnakkaisakseli. Akselit ovat toisiinsa nähden rinnakkain, matalan pyörintänopeuden akselin kanssa. Rakenne on yksinkertainen ja halpa [2].

Planeettavaihteistossa hammastus on jaettu tasan keskusakselin ympärille. Rakenne on pienempi ja kevyempi ja hyötysuhde on korkea, mutta hinta on korkeampi johtuen suunnittelusta, lisäksi herkempi rikkoontumaan johtuen osien määrästä [2].

Yhdistetty vaihteisto tarkoittaa, että akselin toinen pää on suoraan kiinnitetty vaihteistoon eli vaihteiston laakeria käytetään kuin akselin laakeria [2].

Hybridivaihteisto siirtää tehonsiirron lähemmäksi generaattoria. Tämä kasvattaa kokoa ja on myös kalliimpi, mutta on mekaanisesti yksinkertaisempi [2].

Multibrid-turbiinissa on konehuone hyvin kompakti. Roottorin akseli on suoraan planeettavaihteen ulkokehä ja kääntömoottori on osa konehuotetta. Samalla roottorin kantavat laakerit ovat osa planeettavaihdetta. Multibridin etuja ovat luotettavuus, pieni vaihdelaatikko, kevyempi konehuone ja alentunut äänentaso [2].

Lisäksi on myös hydraulinen voimansiirto, etuna on yksinkertaisuus, ja se on helppo asettaa roottorin ominaisuuksiin, tosin tässä vaihtoehdossa on suurimmat häviöt [2].

2.2.2 Generaattori

Generaattorin tehtävä on muuntaa mekaaninen liike sähköiseksi energiaksi.

Generaattorin suunnittelussa tärkeitä parametreja ovat antoteho ja fyysinen koko. Tätä suhdetta kuvaa seuraava kaava:

$$P = KD^2 Ln \quad (3)$$

missä:

- P = generaattorin teho
- D = roottorin halkaisija
- L = roottorin pituus
- n = pyörintänopeus
- K = vakio.

Kaavasta voidaan havaita, miksi suoravetoturbiinit eivät ole suosittuja, fyysinen koko kasvaa huomattavasti.

Generaattori koostuu staattorista ja roottorista. Roottori voi olla kestmagnetoitu tai sähköisesti magnetoitu. Kestomagnetoidun etu on, että sähkömagneettista kenttää ei tarvitse luoda käämeihin.

Verkko vaatii 50 Hz:n tai 60 Hz:n taajuuden, generaattorin napaluvun täytyy vastata generaattorin pyörintänopeuteen.

$$p = \frac{f * 60}{n_s} \quad (4)$$

missä:

- p = napapariluku
- f = taajuus
- n_s = staattorin pyörintänopeus.

Generaattoreita on kahta perustyyppiä, tahtigeneraattori ja epätahtigeneraattori.

Tahtigeneraattori pyörii samalla nopeudella kuin magneettikenttä. Seuraavien syiden takia tahtigeneraattori on suosittu:

- pienemmät häviöt vaimennuksen takia.
- loistehon tuottaminen on mahdollista.
- loisteho ja napajännite säädeltävissä.
- tasainen antoteho.

Jos tahtigeneraattorissa ei ole vaimennuskäämitystä, niin sitä ei voida kytkeä suoraan verkkoon, tämän takia taajuusmuuttajaa on käytettävä.

Epätahtigeneraattori pyörii epätahdissa magneettikentän kanssa. Tällä hetkellä epätahtigeneraattori on suosituimpi. Epätahtimoottori on ollut kauan käytössä ja monissa erilaisissa sovelluksissa, ja sopivaa massatuotettua epätahtimoottori voidaan käyttää turbiinin generaattorina. Lisäksi se on luotettava ja halpa. Se eroaa tahtigeneraattorista siten että roottorin magneettikenttä pyörii epätahdissa staattorin magneettikenttään nähden. Tätä kutsutaan jättämäksi ja se määritellään seuraavasti:

$$s = \frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_s} \quad (4)$$

missä:

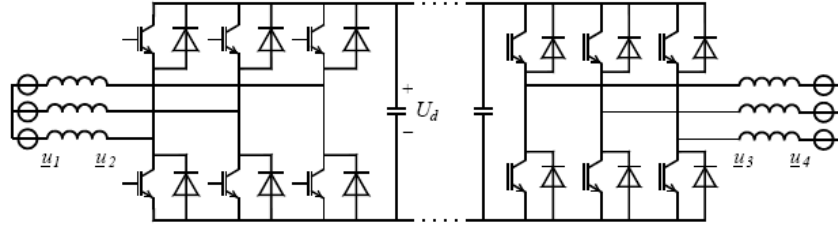
- s = jättämä
- ω_s = staattorin kulmanopeus
- ω_r = roottorin kulmanopeus.

Jättämä on siis negatiivinen, kun toimitaan generaattoripuolella.

Jotta voimala pystyisi muuttuvanopeuksiseen toimintaan, täytyy käyttää taajuusmuuttajaa. Kummankin tyyppin generaattoreita voidaan käyttää taajuusmuuttajan kanssa.

2.2.3 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttajat tuovat tuulivoimaloihin lisää säädettävyyttä ja sähkönlaatu paranee, lisäksi taajuusmuuttajilla voidaan tukea verkon pysyvyyttä loistehon säädöllä. Taajuusmuuttajalla muutetaan generaattorista saadun virran taajuutta ennen verkoon syöttöä, joten generaattorin pyörintänopeus ei riipu verkon taajuudesta ja generaattorin napaluvusta. Periaatteessa taajuusmuuttajassa on tasasuuntaaja, DC-linkki ja vaihtosuuntaaja. Tuuliturbiineissa käytetään pääosin vastarinnankytkettyä jännitevälipiirillistä PWM-moduloitua taajuusmuuttajaa. (Kuva 1.)



Kuva 1. Kolmevaiheinen jänniteohjattu invertteri back to back –kytkettynä

2.3 Generaattorijärjestelmät

Generaattorijärjestelmät voidaan jakaa kahteen peruskonseptiin, näistä on useita variaatioita. Peruskonseptit ovat kiinteänopeuksinen ja muuttuvanopeuksinen järjestelmä. Epätahti- ja tahtigeneraattoreita voidaan käyttää voimalassa. Epätahtigeneraattoreita voi käyttää kiinteänopeuksisessa voimalassa tai muuttuvanopeuksisessa voimalassa. Tahtigeneraattoria käytetään pääasiassa muuttuvanopeuksisessa voimalassa. Generaattorijärjestelmällä on merkitystä voimalan verkkovaikutukselle.

2.3.1 Kiinteänopeuksiset tuuliturbiinit

Kiinteänopeuksisissa eli suoraan verkkoon kytkettyissä voimaloissa generaattori on kytketty suoraan verkkoon. Verkon taajuus määrittää generaattorin nopeuden ja roottorin nopeuden. Generaattorin nopeus riippuu siis napapariluvusta ja verkon taajuudesta. Vakionopeutta pidetään yllä tuuliolosuhteiden muuttuessa generaattorin magnetoinnilla ja lapojen tehonsäädöllä.

Pääasiassa kolme eri tyyppistä epätahtigeneraattoria on käytössä tuulivoimatekniikassa: häkkikäämitetty, kaksoissyötetty epätahtigeneraattori (häkkikäämitetty) ja liukurengasroottori jättämäsäädöllä säätämällä roottorin resistanssia.

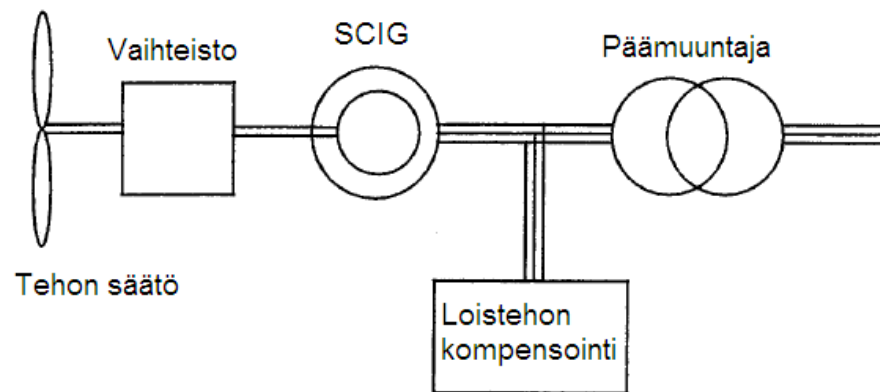
Häkkikäämitetty generaattori eli oikosulkugeneraattori (epätahtigeneraattori) voidaan liittää suoraan verkkoon ja toimia kiinteällä nopeudella tai käyttää tehoelektroniikkaa kun toimitaan vaihtuvalla nopeudella (kuva 2).

Kaksoiskäämitetty epätahtigeneraattori (oikosulkugeneraattori) toimii kahdella nopeudella. Eli staattori on käämitty kahdesti, käämeissä eri

napapariluvut, jotka määrittävät nopeuden.

Liukurengasgeneraattori (oikosulkugeneraattori), jättämäsäädöllä on normaalisti suoraan kytketty verkkoon, mutta jättämäsäätö tarjoaa mahdollisuuden vaihtaa toimintanopeutta tietyissä rajoissa (kuva 3).

Tuuliturbiini, joka toimii häkkikäämitetyllä epätahtigeneraattorilla (kuva 2) toimii lähes kiinteällä nopeudella. Tehon säätö voidaan toteuttaa aerodynaamisesti sakkaussäädöllä, aktiivisella sakkaussäädöllä tai lapakulmasäädöllä.



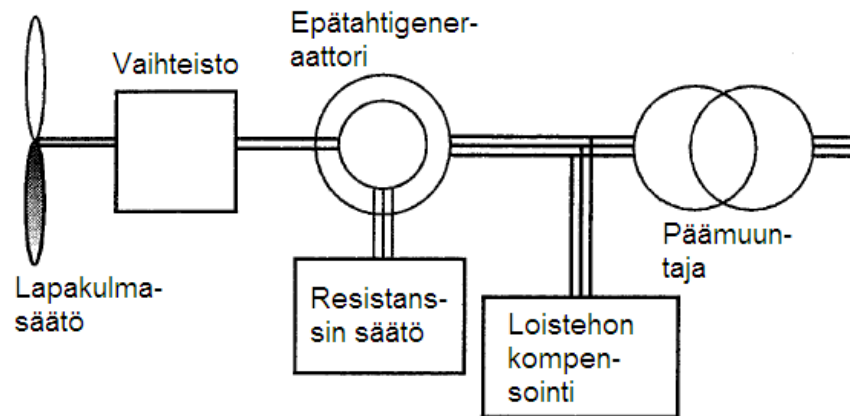
Kuva 2. Häkkikäämitetty epätahtigeneraattori

Suoraan kytketty häkkikäämitetty epätahtigeneraattori (SCIG= squirrel cage induction generator) aiheuttaa verkkoon kytkettäessä nopeita, virraltaan korkeita transientteja verkkoon, lisäksi suuria momentti -iskuja voimansiirtoon. Jos transientteja ei huomioida, niin virtapiikit voivat olla jopa 5 - 7 kertaa generaattorin nimellisvirran suuruisia, ja hyvin lyhyen ajan (<100 ms) jopa 18 kertaa generaattorin nimellisvirran suuruisia. Tällaiset transientit haittaavat verkon toimintaa suuresti. Transientteja voidaan vaimentaa käyttämällä virranrajoittimia eli pehmeäkäynnistimiä, jotka rajoittavat käynnistysvirtaa jopa kaksi kertaa pienemmäksi kuin generaattorin nimellisvirta [3].

Pätötehonsäätö toteutetaan normaalisti sakkaussäätönä. Myös lapakulmasäätöä käytetään, mutta lapakulmasäätö ei ehdi reagoimaan nopeisiin tuulen vaihteluihin.

Roottoriresistanssin säädöllä varustettu säädettävä lisäresistanssi on asennettu roottoriin. Eri roottoriresistanssin arvot tuottavat erilaiset momentti-nopeuskäyrät. Tämä tunnetaan dynaamisena jättämän säätönä ja se antaa tyypillisesti 2 – 5 % nopeusvaihtelun. Tämä antaa lisää mahdollisuuksia pitää antoteho vakiona, kun tuulen nopeus kasvaa. Systemi tarvitsee pehmokäynnistimen ja loistehon kompensoinnin [4.]

Kuvassa 3 on roottoriresistanssin säädöllä ohjatun tuuliturbiinin periaatekuva.



Kuva 3. Roottoriresistanssin säädöllä varustettu turbiini

Kiinteänopeuksisen voimalan etuja ovat mm. seuraavat:

- Yksinkertainen, luotettava, kohtuuhintainen, paras hyötysuhde vain yhdellä pyörimisnopeudella (kahdella jos kaksoiskäämitys).
- Kiinteä nopeus tarkoittaa kiinteää taajuutta.

Kiinteänopeuksisen voimalan huonoja puolia ovat mm. seuraavat:

- Tuulen vaihtelut näkyvät mekaanisen tehon ja sähkötehon vaihteluna johtuen jyrkästä nopeus – momenttikäyrästä.
- Käynnistykseen tarvitaan pehmokäynnistin.
- Tuottaa tehopiikkejä verkkoon.
- Tarvitsee jäykkää verkkoa.
- Tuulen nopeuden kompensointi on heikko.
- Tehon tuotto ei ole säädettävissä.
- Kallis mekaaninen rakenne, jotta voidaan hallita tuulenpuuskien aiheuttamat mekaaniset kuormitukset.
- Käynnistysvirta on korkea.
- Loistehon tuottoon tarvitaan erillinen yksikkö.

2.3.2 Muuttuvanopeuksiset tuuliturbiinit

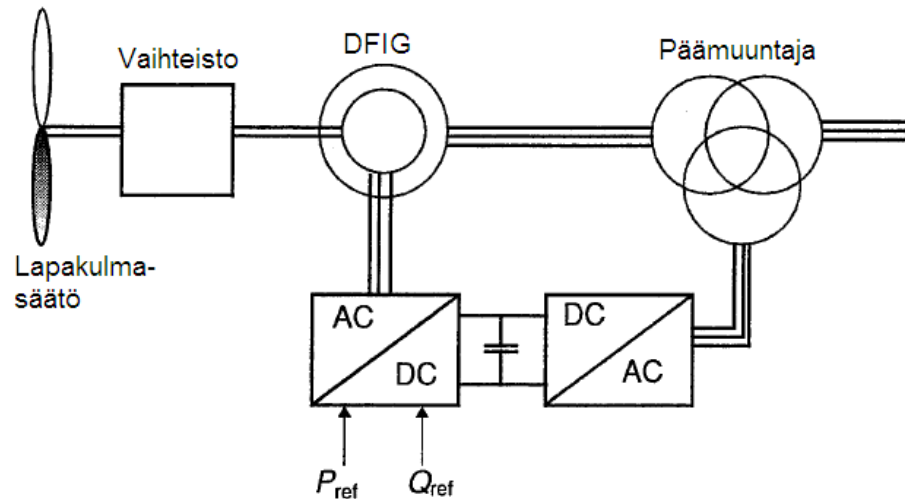
Muuttuvanopeuksisten voimaloiden pyörimisnopeuden määrää koneisto itse. Kärkinopeussuhteen (pyörimisnopeuden ja tuulennopeuden suhde) säilyessä jatkuvasti lähellä optimia, toimii roottori lähellä maksimihyötysuhdettä tuulennopeudesta riippumatta.

Nämä voidaan jakaa kahteen luokkaan, muuttuvanopeuksiset voimalat jotka on varustettu pienitehoisilla taajuusmuuttajilla ja muuttuvanopeuksiset voimalat jotka on varustettu täystehotaajuusmuuttajilla.

Tahtigeneraattoreita on normaalisti käytetty tehoelektroniikan kanssa muuttuvanopeuksisissa systeemissä. Myös epätahtigeneraattoreita liukurenkailla ja häkkikäännettyinä, voi käyttää muuttuvanopeuksisissa turbiinissa taajuusmuuttajan kanssa.

Kaksoiskäämipätahtigeneraattori (DFIG= double fed induction generator) käyttää pientä taajuusmuuttajaa generaattorin nimellistehoon nähden. Liukurenkaat kytkevät roottorin taajuusmuuttajan kautta verkkoon, staattori kytketään suoraan verkkoon. Jos moottori pyörii ylisynkronista nopeutta, niin teho syötetään verkkoon roottorin ja staattorin kautta. Jos generaattori pyörii alisyntkronista nopeutta, niin tehoa syötetään verkosta roottoriin. Nopeus voi vaihdella ± 30 % nimellisestä, ja tämä voidaan saavuttaa taajuusmuuttajalla, joka on noin 30 % generaattorin nimellistehosta. Lisäksi voidaan säätää pätötehoa ja loistehoa, mikä parantaa tuuliturbiinin suoritustehoa verkon kannalta. DFIG -systeemi ei tarvitse pehmeäkännistintä eikä loistehon kompensointia. Systeemi on kalliimpi kuin edellä mainitut systeemit. Toisaalta vaihteiston ei tarvitse kestää niin paljon ja erillisen kompensoinnin voi jättää pois, lisäksi tuulesta saadaan enemmän energiaa talteen [3]. Pätötehonsäätö toteutetaan yleensä lapakulmasäädöllä.

Kuvassa 4 on kaksoissyötetyn tuuliturbiinin periaatekuva.

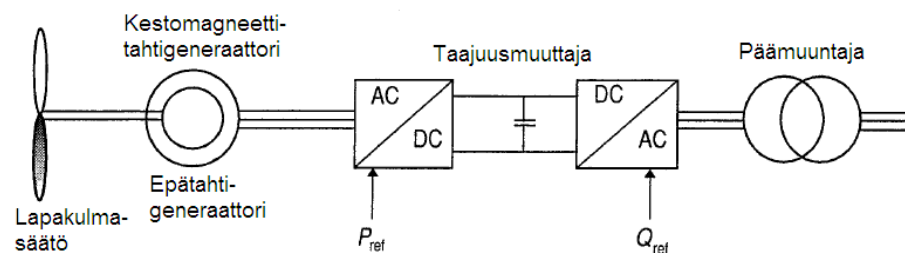


Kuva 4. Kaksoissyötetty voimala

Tahtigeneraattoreissa ja epätahtigeneraattoreissa käytetään täystehotaajuusmuuttajaa generaattorin staattorin ja verkon välissä, niissä koko teho menee taajuusmuuttajan kautta verkkoon. Pätötehonsäätö toteutetaan lapakulmasäädöllä tai sakkaussäädöllä.

Tuuliturbiinit, joissa käytetään täydentehon taajuusmuuttajaa (kuva 5) generaattorin ja verkon välissä, antavat lisää teknistä suorituskykyä ja ovat verkon kannalta paras ratkaisu. Generaattorin napaluvusta riippuu, tarvitaanko vaihdelaatikkaa vai ei. Pätötehonsäätö toteutetaan yleensä lapakulmasäädöllä tai sakkaussäätönä.

Kuvassa 5 on kestmagneetti- tahtigeneraattorilla ja täydentehon taajuusmuuttajalla varustettu tuuliturbiini.



Kuva 5. Täydentehon taajuusmuuttaja

Muuttuvanopeuksisen voimalan hyviä puolia ovat mm.:

- Antotehon tasaisuus.
- Voimalan tehokertoimen säädettävyys.
- Voimalan tuottaman loistehon säädettävyys.
- Parempi hyötysuhde verrattuna vakionopeuksiseen voimalaan.
- Hitaasta pyörimisnopeudesta johtuen hiljaisempi käyntiäänäni alhaisilla tuulenopeuksilla.
- Optimaalinen tuotto sijoituspaikasta riippumatta.
- Lavoista voidaan tehdä kapeampia ja kevyempiä.
- Vaihteisto voidaan jättää pois (moninapaiset tahtigeneraattorit).

Muuttuvanopeuksisen voimalan huonoja puolia ovat mm.:

- Monimutkainen rakenne -> suuri vikaherkkyys ja korkeat huoltokustannukset.
- Kalliimpi ratkaisu kuin vakionopeuksinen.

Kaikilla täydentehon taajuusmuuttajilla varustetuilla tuuliturbiineilla on samankaltaiset suorituskyvyt, koska generaattorin ja verkon välissä on DC - liitos. Verkon puoleinen konverterti voi säätää pätö - ja loistehoa nopeasti [3].

2.4 Kohdeyrityksen voimala -konsepti

Vain työn tilaajan käyttöön, ei sisälly julkiseen kirjalliseen raporttiin.

3 MIKSI TESTATAAN

3.1 Testausta koskevat määräykset

Ktm:n päätös 517/1996 edellyttää että sähkölaitteistolle on tehtävä käyttöönottotarkastus, jossa riittävän laajasti selvitetään, ettei sähkölaitteistosta aiheudu sähköturvallisuuslain 410/96 5:ssä momentissa tarkoitettua vaaraa tai häiriötä [5].

Sähkölaitteiden valmistajan tulee aina varmistaa, että valmistetut laitteet täyttävät laitteille asetetut sähköturvallisuusvaatimukset ja turvallisuuteen liittyvät standardit. Laitteiden asennuksen saa suorittaa vain henkilö tai yritys, jolla on sähköurakointioikeudet. Asennuksen suorittanut urakoitsija tekee myös omalle asennustyölleen käyttöönottotarkastuksen, jossa hän laatii käyttöönottopöytäkirjan. Jos sulakekoko on yli 35 A, on suoritettava myös varmennustarkastus. Säädöksiin perustuva varmennustarkastus on suoritettava kolmen kuukauden kuluessa laitteiston käyttöönotosta. Tuotantolaitoksen sähkölaitteistolle on suoritettava määräaikaistarkastus, jos pääsulakkeet ovat 35 A tai enemmän.

Sähköalan turvallisuus perustuu Suomen lainsäädäntöön ja sen toteutukseen. Sähköturvallisuussäädökset uudistuivat vuonna 1996 sähköturvallisuuslain tultua voimaan. Sädökset korostavat sähköalan ammattilaisten vastuuta omasta toiminnastaan.

Sähköalaa koskevat sitovat määräykset antaa kauppa- ja teollisuusministeriö (KTM). Turvatekniikan keskus (TUKES) valvoo sähköturvallisuuden toteutumista ja sähköalan toimintaa. TUKES antaa myös määräyksiä selventäviä hallinnollisia ohjeita. TUKESin valvonnan piiriin kuuluvat esimerkiksi sähkölaitteet ja –tarvikkeet sekä sähkölaitteistot ja –asennukset [1].

Laissa annetaan määräyksiä sähkölaitoksista, voimalaitoksen rakentamisesta ja rakennusluvasta, sähkölaitteiden valvonnasta ja tarkastuksesta sekä sähkövahingosta.

Lait ja asetukset

- Sähköturvallisuuslaki 410/1996, 634/1999, 893/2001
- Sähköturvallisuusasetus 498/1996

Kauppa - ja teollisuusministeriön päätökset ja asetukset

- Sähkölaitteiden turvallisuudesta 1694/1993
- Sähkölaitteiden ja -laitteistojen sähkömagneettisesta yhteensopivuudesta 1696/1993
- Sähköalan töistä 516/1996
- Sähkölaitteistojen turvallisuudesta 1193/1999
- Sähkölaitteistojen käyttöönnotosta ja käytöstä 517/1996

3.2 Testattavat kohteet

Kohdeyritys haluaa testata voimalat jo tehtaalla mahdollisimman hyvin. Syynä kattavaan testaukseen on tietenkin sähköturvallisuus, säädettyjen lakien ja asetusten noudattaminen, laatu sekä kustannusten ja ajan säästö. Kustannukset ja korjaukseen tarvittava aika kasvavat moninkertaisesti, jos voimalaa täytyy korjata asennuspaikalla 100 metrin korkeudella.

Lain vaatima käyttöönottotarkastus ja siihen liittyvät dokumentit aloitetaan tehtaalla ja saatetaan valmiiksi, kun voimalan käyttöönotto kohdepaikassaan on valmis.

Voimalaan asennettavat generaattorit sekä vaihdelaatikot kootaan itse tehtaalla, minkä takia asennukset täytyy tarkastaa. Verkkotaajuusmuuttajat on testattu jo valmistajalla, mutta heillä ei ole mahdollisuutta kuormittaa verkkotaajuusmuuttajia nimellisellä kuormalla. Lisäksi integraattorina oman asennustyön osuus on huomattava, oma asennustyö ja kokonaisuus täytyy testata.

Kun mekaaniset ja sähköiset asennukset ovat valmiina, suoritetaan oma standarditesti, jossa kaikki sähköiset komponentit tulee testattua.

Standarditesti sisältää kaikkien I/O-pisteiden tarkastuksen, laitteiden ohjelmoimisen, sähköisen testauksen sekä kuormitusajon nimellisellä teholla.

Testattavana on kohdeyrityksen voimala eli konehuone ja napa, joiden loppukokoonpanoa tehdään Loviisan tehtaalla. Navalle ja konehuoneelle on

omat kokoonpano- ja testausohjeensa. Tietyille komponenteille tehdään vastaanottomittaukset jo niiden saapuessa tehtaalle. Jo asennuksen aikana tehdään sähköiseen testaukseen liittyviä testejä joillekin komponenteille. Generaattorin vaihteen eristysvastus on mitattava jo ennen lopullista asennusta ja koeajon jälkeen. Konehuoneen TE – PE - kiskostojen välinen eristysvastus mitataan asennusvaiheen päätteksi.

Navan johtimien eristysvastus ja suojajohtimen jatkuvuus sekä siipimoottoreiden eristysvastus mitataan.

4 TESTAUS TÄLLÄ HETKELLÄ

Seuraavassa käydään läpi, kuinka voimalan testaus on toteutettu tällä hetkellä. Tarkastellaan eri työvaiheet ja niiden vaatima aika. Ajat on mitoitettu olettaen että testaus sujuu ilman vikoja.

4.1 Testauksen sujuvuus

Tarkastellaan eri työvaiheet ja niiden vaatima työaika optimitilanteessa.

Testattava kokonaisuus koostuu napa ja konehuone -yhdistelmästä, näitä yhdistelmiä täytyy olla kaksi kappaletta, joista toinen toimii moottorina ja toinen generaattorina niin sanotun back to back -testin aikana.

Lopputestaus on tarkoitus tehdä niinsanottuna back to back -testinä, jossa moottorin ja generaattorin tehot kierrätetään rengassyöttökojeiston kautta niin, että verkosta otetaan vain moottorin, generaattorin ja taajuusmuuttajien ja muuntajien häviöt. Konehuoneet kiinnitetään toisiinsa narulla, joka toimii myös mekaanisena sulakkeena, jos testauksen aikana tapahtuu jotain odottamatonta, erottaen konehuoneet toisistaan mekaanisesti.

Lisäksi joka testauksessa on oltava napa kytkettynä moottori- ja generaattorikonehuoneessa, koska napa testataan toiminnallisesti tässä vaiheessa, eikä turvapiiriä voi saada kiinni, koska kommunikointi ei toimi, jos napa ei ole kytkettynä.

4.1.1 Konehuoneen testaus

Mekaanisen ja sähköisen kokoonpanon jälkeen konehuoneen testaus voidaan aloittaa. Ensin testattava konehuone siirretään nosturilla, linjataan moottori- ja generaattorikonehuoneet toisiinsa nähden sekä kiinnitetään runko koeajopenkkiin. Tarkastetaan konehuone visuaalisesti. Varmistetaan että käyttöönottotarkastuspöytäkirjan mukaiset mittaukset on tehty ja arvot hyväksyttäviä. Varmistetaan, että testausalueelle ei pääse ylimääräisiä henkilöitä. Testataan päämuuntajan suojauslaitteet. Seuraavaksi kiinnitetään apujännitekaapelit, tiedonsiirtokaapelit ja lopuksi suurjännitekaapelit. Lisäksi tulee vielä joukko pakollisia kaapeloinnin muutoksia, koska voimalan laitteisto ei ole täydellinen testausvaiheessa.

Kytetään 20 kV:n kaapelit ja suljetaan päämuuntajan kansi sekä tukitaan suurjännitekaapeliläpiviennit. Seuraavaksi kytketään tarvittavat apujännitteet sekä UPS 230 V päälle, että voidaan tarkastaa päämuuntaja ja turvapiirit.

Kytetään loput apujännitepiirit ja aloitetaan I/O-testaus. I/O-testauksen yhteydessä pitää myös ladata ohjelmat / parametrit taajuusmuuttajiin, tuulimittareihin, tehomittaukseen sekä ylinopeusreleisiin. Kytetään napa, joka on sähköisesti tarkastettu. Varmistetaan turvapiirien toiminta. Tehdään tarvittavat ID-ajot taajuusmuuttajille.

4.1.2 Navan testaus

Kun navan mekaaninen ja sähköinen asennus on valmis, tarkastetaan että sähköisten asennusten käyttöönototarkastuspöytäkirjat on täytetty oikein ja tulokset ovat vaaditut. Varmistetaan testausalue ja sen jälkeen voidaan testaus aloittaa. Navassa on keskusyksikkö ja jokaiselle siivelle on oma ohjausyksikkö, jotka täytyy testata ja säätää erikseen. Navan testaus aloitetaan visuaalisella tarkastuksella, sitten asennetaan tarvittavat jännitesyötöt ja sulakkeet. Kytetään apujännitteet hallitusti päälle ja asennetaan ohjelmat logikoille. Testataan I/O ja asetetaan taajuusmuuttajien parametrit. Siiven kulman oloarvon mittaus täytyy nollata ja rajakytkimet säätää. Lopuksi testataan varaenergiälähde. Tämän jälkeen napa voidaan kytkeä konehuoneeseen ja aloittaa lopputestaus.

4.1.3 Lopputestaus

Kuten edellä mainittiin, lopputestaukseen tarvitaan kaksi konehuonetta ja napaa. Konehuoneet kytketään mekaanisesti yhteen narulla. Konehuoneelle jota käytetään moottorina, annetaan positiivinen momentti-ohje ja testattava konehuone jarruttaa tehoa verkkoon. Jarrutusteho kierrätetään rengassyöttökojeiston kautta ja vain häviöt otetaan verkosta. Testiajossa on kolme tehoporrasta ja kullakin tehoportaalla odotetaan, että päälaakerien lämmön nousu tasoittuu alle 2 °C / 30 minuuttia. Jokaisen tehoportaan jälkeen on voiteluöljyä suodatettava, kunnes se saavuttaa vaaditun puhtausasteen.

4.2 Testauksen läpimenoaika

Testauksen työvaiheet ja läpimenoajat (taulukossa 1) on mitoitettu niin, että vikoja ei ilmene.

Taulukko 1. Työvaiheet

Vaihe	Tunteja
Navan I/O-tarkastus/testaus	20
Asennus koeajopetiin	16
Konehuoneen I/O-tarkastus/testaus	26
Koeajo/testiajo	26
Mittauksia	8
Purku koeajopetistä	6
Dokumentaatio	6
Yhteensä	108

Navan I/O -testaus käsittää seuraavat vaiheet:

- apujännitekytkennät
- kommunikointikytkennät
- turvapiirin testaus
- I/O-testaus
- testiajo käsin.

Asennus koeajopetiin käsittää seuraavat vaiheet:

- asennus koeajopetiin
- keskijännitekytkennät
- apujännitekytkennät
- logiikan testikytkennät
- voiteluöljykoneikon väliaikaiset kytkennät
- öljyhuuhtelun aloittaminen
- öljyn lauhduttimien asennus
- linjaus.

Konehuoneen I/O-testaus käsittää seuraavat vaiheet:

- Sähköasennusten visuaalinen tarkastus.
- Turvapiirin tarkastus ja testaus.
- Automaation I/O-pisteiden tarkastus ja testaus.
- Ohjelmointia tarvitsevien laitteiden ohjelmointi.
- Taajuusmuuttajien parametrisointi ja ID-ajot.

Konehuoneen / navan koeajo käsittää seuraavat vaiheet:

- Ensimmäinen tehoporras kunnes laakereiden lämmöt tasaantuvat.
- Toinen tehoporras kunnes laakereiden lämmöt tasaantuvat.
- Kolmas tehoporras kunnes laakereiden lämmöt tasaantuvat.
- Napa on kytketty koeajon aikana konehuoneeseen ja toimii normaalisti.

Mittaukset käsittävät seuraavat toimenpiteet:

- jännitetasapainon mittaus
- vaihejärjestyksen mittaus
- generaattorin staattorin käämien eristystilan mittaus
- generaattorin käämien lämpötilanmittauksien eristystilan mittaus
- ylinopeusreleiden asettelun ja testauksen

Dokumentaatio käsittää kaikki sähköiset ja mekaaniset tarkastukset ja testaukset. Dokumentit täytetään ja talletetaan serverille.

4.3 Testauksen pullonkaulat

Koska I/O-testaus ja lopputestaus voidaan tehdä vain testipenkissä, tuottavat sen aikana mahdollisesti ilmenevät ongelmat runsaasti hukka-aikaa. Jos I/O-testauksen tai lopputestauksen aikana ilmenee suuria tai aikaavieviä ongelmia, niin testaus on pakko keskeyttää, kunnes vika on korjattu. Joskus vian paikallistaminen ja korjaaminen vaatii komponenttitoimittajan edustajan paikalle ja vie helposti kauan aikaa.

Rikkoontuneen konehuoneen vaihtaminen seuraavaan testaamattomaan konehuoneeseen vie noin kaksi työpäivää, jossa yksi päivä menee rikkoontuneen irrottamiseen, ja yksi päivä uuden asentamiseen.

Jotta koko testaus ei pysähtyisi, niin I/O-testauksen siirtäminen tapahtuvaksi ennen siirtoa koeajopenkkiin parantaa tilannetta useammalla tavalla. Ensimmäiseksi jos tulee ongelmia koeajopenkissä ja joudutaan odottamaan komponenttivalmistajan edustajaa ehkä päiviä, niin odotusaikana voidaan aloittaa uuden konehuoneen I/O-testaus, jos se on asennuksien puolesta mahdollista. Toiseksi I/O-testit voidaan tehdä konehuoneille, joissa asennukset ovat jo valmiina, silloin kun se aikataulullisesti on järkevää. Kolmanneksi testaushenkilöstöä voidaan ohjailta hallitummin. Lisäksi testipenkin käyttöastetta voidaan nostaa, koska koneikkoa ei tarvitse seisottaa testipenkissä.

Navan testaus on mahdollista, kun napa on kytketty konehuoneen, että apujännitesyötöt ja kommunikointi toimisivat oikein. Tämä aiheuttaa sen, että testatun konehuoneen pitää olla asennettuna testipenkkiin, eikä konehuonetta voida lähettää asennuspaikalle.

Kun konehuonetta testataan, niin testatun navan pitää olla kytkettynä viimeistään siinä vaiheessa, kun halutaan turvapiirit kiinni, näin pitää olla jo testauksen alkuvaiheessa. Lisäksi valmista napaa ei voida lähettää asennuspaikalle.

Kaikki ohjelmointia tarvitsevat laitteet tulevat tällä hetkellä tehdasasetuksiin parametrisoituina. Asetukset täytyy tehdä testausvaiheessa, koska silloin on sähköt päällä ensimmäisen kerran asennuksen jälkeen ja tarvittavat kytkennät on tehty. Parametrisointia tarvitsevat laitteet ovat 4 kpl ACS550, 2 kpl ACS800 single drive, 1 kpl ACS800 tuuliturbiinisovelluksella (4 kpl

ohjelmoitavia moottorinohjausyksikköä), tuulimittarit sekä tehonmittaus - ja ylinopeusreleet. Nämä tarvitsevat eri ohjelmointityökalut ja ohjelmoiminen ja eri ohjelmien sujuva käyttö vie aikansa.

Seuraavat testausta nopeuttavat tekijät otetaan tarkemmin tutkittaviksi:

- I/O-testaus ennen siirtoa koeajopenkkiin.
- Konehuonesimulaattorin käyttö testaukseen.
- Napasimulaattorin käyttö testaukseen.
- Ohjelmoitavien laitteiden ohjelmointi alihankkijalla.

5 TESTAUKSEN KEHITYSKOhteet

Seuraavassa esitellään työn aikana esille tulleet kehityskohteet kohdeyrityksen voimalan koestuksessa.

5.1 I/O-testaus ennen siirtoa testipenkkiin

Jännitesyöttö päämuuntajalle on 21 kV. Muuntajan muuntosuhde on 21/0,69 kV. Muuntajan toisista tulee syötöt verkkotaajuusmuuttajille ja omakäyttömuuntajille.

Että testaus ennen asennusta koeajopetiin olisi järkevä suorittaa, pitää saada vähintään 1-vaihesyöttö ja 3-vaihesyöttö. PLC tarvitsee 230 V ja 400 V on myös tarpeellinen, katso liite 2.

Tässä on käytännössä kolme eri vaihtoehtoa, jotka ovat eri syöttöjännitteillä toteutettavat tavat. Periaatteessa mitä suurempi syöttöjännite, sitä pidemmälle konehuone saadaan testattua.

5.1.1 Syöttöjännite 400 V

1-vaihesyöttö (230 V) ja 3-vaihesyöttö (400 V) on minimi, jolla testausta kannattaa tehdä. Näillä jännitteillä voidaan testata I/O kokonaan, tehdä tarvittavat parametrisoinnit. Päämuuntaja ja verkkotaajuusmuuttajat jäävät testaamatta.

Tähän vaihtoehtoon ei tarvitse tehdä lisäasennuksia nykyiseen syöttöverkkoon. 230 V ja 400 V saadaan tehtaan nykyisestä verkosta.

Hyviä puolia:

- I/O-testaus voidaan tehdä kokonaan.
- Myös laitteiden parametrisointi voidaan tehdä.
- Ei tarvita uutta syöttömuuntajaa (690 V).
- Halpa koska lisäasennuksia ei tarvita.
- Helppo ottaa käyttöön.
- Turvallisempi jännitetaso.

Huonoja puolia:

- Verkkotaajuusmuuttajien ID-ajoa ei voida tehdä.
- Päämuuntajaa ei saada sähköistettyä.

Tarvittavat laitteet ja tarvikkeet:

- PLC eli I/O-testausyksikkö
- työmaakeskus
- syöttökaapelit 3-vaihe, 1-vaihe
- väyläkaapeli
- singaalikaapeli (hätäseis, reset).

Tarvittavien syöttökaapeleiden ja keskuksen mitoitus.

3-vaihevirta:

$$S = \sqrt{3} * U * I \quad (1)$$

jossa:

- $S_1 = 100 \text{ kVA}$
- $U = 400 \text{ V}$

Virta I johdettu kaavasta 1.

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} * U} = 144 \text{ A} \quad (2)$$

$I_1 = 144 \text{ A}$, laskettu kaavalla 2.

1-vaihevirta:

$$S = U * I \quad (3)$$

jossa:

- $U = 230 \text{ V}$
- $S_2 = 4 \text{ kVA}$
- $S_3 = 3 \text{ kVA}$

Virta I johdettu kaavasta 3.

$$I = \frac{S}{U} \quad (4)$$

jossa:

- $I_2 = 17,4 \text{ A}$, laskettu kaavalla 4.
- $I_3 = 13,0 \text{ A}$, laskettu kaavalla 4.

Yllä lasketut virrat ovat teoreettiset. Jotta välttyttäisiin syöttöjohtojen ja keskuksen ylimitoitukselta, virrat mitattiin koestuksen aikana. Suurin virta mitattiin tuuletinmoottorin käynnistyksessä ja se oli noin 20 A. Tästä syystä päädyttiin teoreettisesta $I_1 = 144 \text{ A}$ arvosta 32 A:n syöttövirtaan.

Myös 1 -vaihevirrat päätettiin syöttää 16 A:n sulakkeella.

Tämän perusteella tilattiin työmaakeskus, jossa liityntä 400 V 32 A, pistorasialähdöt 1*32A 5-napainen, 2*16A 3-napainen.

Apujännitekytkennät liitetään seuraaviin liittimiin:

- 400 V -> NMCC22 1Q1 / 2, 4, 6 (1T1 toisiopuolelle).
- 230 V -> NMCC22 13X1 / 1, 2 (11T1 toisiopuolelle).
- 230 V -> NMCC21 1Q1 / 1, 3.

5.1.2 Syöttöjännite 690 V

1-vaihesyöttö (230 V) ja 3-vaihesyöttö (690 V) saataisiin testattua I/O ja myös verkkotaajuusmuuttajat.

Tämä vaihtoehto vaatii uuden syöttömuuntajan ja siihen 690 V syöttöverkon, koska nykyinen tehtaan verkko on 400 V. Lisäksi pitää olla uudet 3-vaiheiset pistokkeet ja tulpat.

Hyviä puolia:

- Vain päämuuntaja jää testaamatta.
- Vain yksi 230 V:n syöttö.
- Turvallisempi kuin 21 kV:n syöttö.
- Vain testiajo tehdään koeajopenkissä.

Huonoja puolia:

- Pitää hankkia UPS, koska verkkotaajuusmuuttaja voidaan käynnistää.
- Uusi 690 V:n muuntaja ja verkko.
- Kallein johtuen uudesta muuntajasta ja verkosta.

Tarvittavat laitteet ja tarvikkeet:

- uusi 690 V:n muuntaja
- UPS 230 V, S = 3 kVA
- työmaakeskus
- PLC eli I/O-testausyksikkö
- työmaakeskus
- syöttökaapelit 3-vaihe, 1-vaihe
- väyläkaapeli
- singaalikaapeli (häätäseis, reset).

Tarvittavien syöttökaapeleiden ja keskuksen mitoitus.

3-vaihevirta:

$$S = \sqrt{3} * U * I \quad (1)$$

jossa:

- $S_1 = 100 \text{ kVA}$
- $U = 690 \text{ V}$
- $I_1 = 83,7 \text{ A}$, laskettu kaavalla 2.

1-vaihevirta:

$$S = U * I \quad (3)$$

jossa:

- $U = 230 \text{ V}$
- $S_2 = 4 \text{ kVA}$
- $S_3 = 3 \text{ kVA}$
- $I_2 = 17,4 \text{ A}$, laskettu kaavalla 4.
- $I_3 = 13,0 \text{ A}$, laskettu kaavalla 4.

Tässäkin tapauksessa teoreettinen virran arvo on liian suuri ja voidaan käyttää edellisessä tapauksessa mittattua 20 A:n virtaa mitoitukseen.

Tästä syystä päädyttiin teoreettisesta $I_1 = 144 \text{ A}$ arvosta 32 A:n syöttövirtaan.

Myös 1-vaihevirrät päätettiin syöttää 16 A:n sulakkeella.

Tämän perusteella pitäisi tilata työmaakeskus, jossa liityntä 690 V, 32 A, pistorasialähdöt 1*32A 5-napainen, 2*16A 3-napainen.

Liityntä:

- 690 V päämuuntajan toisioon.
- UPS 230 V -> NMCC21 1Q1 / 1, 3.

5.1.3 Syöttöjännite 21 kV

Kolmas vaihtoehto jolla saataisiin testattua I/O, verkkotaajuusmuuttajat sekä päämuuntaja eli koko konehuone.

Hyviä puolia:

- Koko laitteisto voidaan testata kerralla.

Huonoja puolia:

- Rengas-syöttökojeistoon tarvitaan lisää lähtökennoja.
- 21 kV kaapeleiden siirtely hankalaa.
- 21 kV kaapeleiden suojaus.
- Testaajien ammattitaito ja vaatimukset kasvavat.
- Kallis johtuen uusista lähtökennoista.

Tarvittavat laitteet ja tarvikkeet:

- 230 V UPS
- logiikka
- lähtökennoja rengas-syöttökojeistoon
- 21 kV kaapeleita
- ammattitaitoa.

5.1.4 Suosituksia

21 kV:n liittymää ei voi suositella seuraavista syistä.

- 21 kV:n kaapeli on hankala siirtää, ja se pitäisi suojata mekaanista kulutusta vastaan. Lisäksi pitää harkita kaapeleiden reitit niin, että ne eivät kulje lattiapinnalla.
- Koestajien ammattitaidon pitää olla korkea johtuen suurjännitteestä.
- Kallis johtuen uusista lähtökennoista ja kaapeleista.

690 V:n liittymää ei voi suositella seuraavista syistä:

- Tehtaalla käytössä 400 V:n verkko, joten pitäisi rakentaa uusi 690 V:n verkko.
- Kallis johtuen uudesta 690 V:n verkosta.

400 V:n liittymää suosittelen seuraavista syistä:

- Tehtaalla käytössä 400 V:n järjestelmä.
- Tarvittavat työmaakeskukset syötön järjestämiseksi yhdestä paikasta (400 V, 230 V) ovat halpoja ja helposti saatavissa.
- Halpa koska muuntaja ja verkko valmiina.
- Nopea ottaa käyttöön.

5.1.5 Öljynhuuhtelu ja jäähdytyspiirien täyttö

Öljysäiliön / putkiston huuhtelu ja öljylauhduttimien asennus voidaan tehdä asennuspaikalla, ennen kuin konehuonetta siirretään testipenkkiin. Huuhtelu ja asennus täytyy tehdä joka tapauksessa, joten aika testipenkissä saadaan minimoitua, jos edellämainitut tehdään jo I/O-testauksen aikana. Taulukossa 2 normaalit huuhtelu- ja lauhduttimenasennusajat.

Taulukko 2. Huuhtelu- ja asennusajat

Työvaihe	Aika / h
öljysäiliön huuhtelu	8
öljylauhduttimien asennus	8
öljyputkiston huuhtelu	16

Lisäksi verkkotaajuusmuuttajien ja generaattorin jäähdytyspiirien täyttö voidaan tehdä asennuspaikalla, ennen siirtoa testipenkkiin

5.2 Konehuonesimulaattori

Kuten edellä on mainittu, niin tällä hetkellä navan lopputestaukseen tarvitaan kaksi konehuonetta. Tämä aiheuttaa laajasti aikataulullisia ongelmia, ja niistä päästään eroon, kun navan testaukseen saadaan niin sanottu konehuone-simulaattori. Simulaattori sisältää logiikan, jolla simuloidaan päälogiikkaa, siihen tarvittavan ohjelman ja tarvittavat jännitesyötöt.

Koska tällä hetkellä navan laitteita ei juuri kuormiteta testauksen aikana, on syytä harkita niin sanotun testiajon kehittämistä.

Ensimmäisessä vaiheessa simulaattori tulisi saattaa siihen toimintakuntoon, että navan koko I/O-testaus on mahdollinen, ja manuaaliset testiajot saadaan ajettua.

Toisessa vaiheessa navan koko I/O-testauksen ja automaattisen testiajon pitää olla mahdollinen.

Testausohjelman pitää sisältää ainakin seuraavat asiat:

- Eri siivenajo-ohjelmat.
- Siivenajo 0 - 90° ja takaisin.
- Siivenajo määritellyn ajan.
- Siivenajo tehdään mahdollisimman lyhyellä rampilla, jotta saadaan kuormitettua koko säätöä ja laitteistoa.

Simulaattorin tehon tarve kattaa logiikan ja kenttäväylän tarvitseman tehon. Tämä saadaan suoraan tehtaan 1-vaiheverkosta. Tarvitaan myös 3-vaihesyöttö siipikaapeille

Navan tehon tarve on monimutkaisempi, koska joka siivelle on oma ohjausyksikkö. Pääohjausyksikkö jakaa apusähkön kolmelle siiven ohjausyksikölle. Jokaisella siiven ohjausyksiköllä on ensin invertteri, joka muuntaa 400 V_{AC} -> 105 V_{DC}, jonka jälkeen on kondensaattoriyksikkö (433 F) ja sen jälkeen DC/AC konvertteri (105 V_{DC} -> 46 V_{AC}), joka ohjaa siiven kääntömoottoria. Koska moottoreita ei voida käytännöllisesti katsoen kuormittaa mekaanisesti, niin ainoa vaihtoehto, jolla saadaan kuormitettua koko systeemiä, on käyttää taajuusmuuttajassa mahdollisimman lyhyttä kiihdytysramppia.

Navan kondensaattorin energia:

$$E_C = \frac{1}{2}CU^2 \quad (5)$$

missä:

- E_C = kondensaattorin energia
- C = kapasitanssi = 430 F
- U = syöttöjännite = 105Vdc.

Moottorin tarvitsema energia:

$$E_m = Pt \quad (6)$$

missä:

- E_m = moottorin tarvitsema energia
- P = moottorin teho
- t = aika.

Siipimoottori kuormitus voidaan arvioida siipilaakerin hitausmomentin perusteella seuraavasti:

$$J_{SL} = \frac{1}{2}m(R^2 + r^2) \quad (7)$$

missä:

- $m = 2000$ kg
- $R = 1,3$ m
- $r = 1,1$ m
- kaavasta 7 $J_{SL} = 2900\text{kgm}^2$

joka redusoidaan moottorin akselille (kaava 8).

$$J'_{SL} = J_{SL} * i^2 \quad (8)$$

missä:

- i = vaihdelaatikon välityssuhde 1/100
- $J'_{SL} = 0,24$ kgm^2

Jos siipilaakerin kulmakiihtyvyys $\alpha_K = 0,26$ rad/s^2 , saadaan kulmakiihtyvyyden arvoksi redusoituna moottorin akselille kaavalla 9.

$$\alpha = \frac{ia}{r} \quad (9)$$

missä:

- i = vaihdelaatikon välityssuhde 1/100
- α = kulmakiihtyvyys = 0,26 rad/s^2
- r = siipilaakerin sisäsäde = 1,1 m
- $\alpha = 23,6$ rad / s^2

Tästä voidaan laskea siipilaakerin pyörittämiseen tarvittava momentti (kaava 10):

$$T_{SL} = J'_{SL} * \alpha \quad (10)$$

missä:

$$T_{SL} = 5,7 Nm$$

Moottorin nimellinen momentti:

$$P = T\omega \quad (11)$$

Kaavasta 11 saadaan momentti:

$$T = \frac{P}{\omega}$$

missä:

- $P = 8 \text{ kW}$

$$\omega = 2\pi n \quad (12)$$

missä:

- $n = 1100 \text{ 1/min}$
- $T = 69,5 \text{ Nm}$.

Redusoitu siipilaakerin pyörittämiseen tarvittava momentti suhteutettuna moottorin nimelliseen momenttiin saadaan:

$$T_{suht} = \frac{T_{SL}}{T_m} * 100 \quad (13)$$

$$T_{suht} = 8,2\%$$

Eli siipilaakerin pyörittäminen kuormittaa siipimoottoria testiajon aikana 8,2% moottorin nimellisestä vääntömomentista.

Navan todellinen teho mitattiin testiajon aikana, maksimi teho, kun moottoria ajataan täydellä nopeudella 85 astetta oli 7,9 kW ja momentti n. 46 Nm, aikaa tämä vie n. 9 sekuntia.

Energian kulutusta yhden 85 asteen ajon aikana saadaan kaavasta 6 ja on noin 0,7 MJ ja verrataan sitä kondensaattorin energiaan.

$$E_{suht} = \frac{E_m}{E_C} \quad (14)$$

Kaavasta 14 näemme, että yhden siipimoottorin latauslaitteisto rasittuu n. 3 % verrattuna kondensaattorin sisältämään energiaan. Latauslaitteiston rasitus on suurin silloin, kun kondensaattorit ladataan ensimmäisen kerran, ja pieni varsinaisen testiajon aikana

5.3 Napasimulaattori

Aiemmin lopputestaukseen on tarvinnut asentaa napa moottori- ja generaattoriyksikköön testauksen ajaksi. Tämä aiheuttaa ongelmia aikataulun kanssa.

Napasimulaattorin pitää sisältää logiikka ja sen tarvitsemat apujännitteet sekä kenttäväylä.

Simulaattori ei tarvitse muuta toimintoa kuin toimivan väylän.

5.4 Ohjelmointia / parametointia tarvitsevat laitteet

Taajuusmuuttajien osalta (ACS550, ACS800-01, ACS800-77LC) on käyty neuvotteluja, että laitteet parametrisoitaisiin jo valmistajalla. ACS550:n ja ACS800-01:n osalta parametrisointi jo valmistajalla ei ole mahdollista, koska kyseiset tuotteet ovat massatuotteita ja niiden parametrisointi osoittautui haastavaksi. Kyseisten laitteiden parametrisointi on kuitenkin mahdollista alihankkijalla, joka asentaa ja johdottaa sähköiset komponentit kohdeyrityksen I/O-kaappeihin. Tämä on mahdollista, jos alihankkija hankkii tarvittavat ohjelmointityökalut. Lisäksi vaaditaan että kohdeyritys määrittää ja toimittaa alihankkijalle tarvittavat parametriasetukset tiedostona, joka on mahdollista ladata suoraan käyttöihin.

Verkkotaajuusmuuttajat (ACS800-77LC) voidaan parametrisoida jo valmistajalla. Tätä varten on kuitenkin määriteltävä käyttöjen parametrit ja toimitettava ne valmistajalle.

Jos taajuusmuuttajat saadaan valmiiksi parametrisoituina, niin I/O-testauksen jälkeen niille tarvitsee tehdä vain ID-ajo ennen varsinaista koeajoa. Nykyisin kaikkien taajuusmuuttajien parametrisointi vie noin 90 minuuttia työaikaa.

Ylinopeusreleen (pepperl+fuchs universal frequency converter kfu8-ufc-1d) ohjelmointi voidaan myös tehdä samalla alihankkijalla, joka johdottaa ja asentaa sähköiset komponentit.

Ylinopeusreleen parametrisointi voidaan tehdä myös ohjelmointityökalulla. Määritellään uusi parametritiedosto, joka voidaan ohjelmointityökalulla ladata suoraan releeseen. Tarvittavat tiedostot löytyvät esimerkiksi internetistä.

Energiamittari DIRIS A40:n parametrit määriteltiin ohjeeseen, koska laitteeseen ei ole saatavilla ohjelmointityökalua. Alihankkija ohjelmoi laitteen ohjeen mukaan manuaalisesti.

6 POHDINTA

Työssä havaitut testausta hidastavat tekijät ovat ensimmäiset, joihin on saatu tai saadaan parannusta lähitulevaisuudessa. Testausta voidaan vielä tehostaa, mutta aina täytyy muistaa, että testaus on työ joka täytyy tehdä huolellisesti ja siihen kuluva aika ei voida loputtomasti lyhentää.

Mahdollisesti tulisi tutkia, kuinka paljon testausta voitaisiin siirtää jo alihankkijoille.

Napa- ja konehuonesimulaattoreille tehdään aluksi perusohjelma, jolla saadaan ajettua perustesti. Myöhemmin kun tiedetään / määritellään tarkemmin mitä kaikkea halutaan ja voidaan testata, niin ohjelmia voidaan helposti kehittää.

Varsinkin konehuonesimulaattori antaa paljon mahdollisuuksia kehittää navan testausta erilaisilla testausohjelmistoilla.

7 YHTEENVETO

I/O-testauksen siirto tehtäväksi ennen siirtoa testipenkkiin nopeuttaa ja helpottaa testausta monella tavalla. Aikataulut voidaan suunnitella tarkemmin ja aikataulun toteutus on helpompi pitää myös vikatilanteissa. Testipenkin käyttöaste nousee huomattavasti. Lisäksi tulisi huomioida öljynhuuhtelu ja lauhduttimien asennus, sekä jäähdytyspiirien täyttö, jotta aika testipenkissä tulisi mahdollisimman lyhyeksi.

Suunniteltiin I/O-testikeskus, jonka lisäksi ostettiin työmaakeskus keskitettyä jännitesyöttöä varten. I/O-testaussimulaattori on testattu ja siinä havaitut viat ovat korjauslistalla.

Kun I/O-testi saadaan kerran tehtyä alusta loppuun ja havaitut viat poistettua, niin tuote dokumentoidaan myöhempää käyttöä varten. Tulevaisuudessa tarvitaan useampia I/O-yksiköitä kasvavan tuotantomäärän takia.

Napasimulaattori on testattu ja käytössä, siinä aiemmin havaitut viat on korjattu ja simulaattori on saatu toimimaan kuten suunniteltu. Tuote tulee dokumentoida tulevaisuuden käyttöä varten.

Konehuonesimulaattori on saapunut tehtaalle ja sitä tullaan koekäyttämään heti kun siihen on mahdollisuus. Testiohjelmien kehittäminen alkaa. Konehuonesimulaattoriin tulee määrittellä ajo-ohjelma siipikaappien komponenttien kuormittamiseksi, jotta mahdolliset viat saadaan ilmi jo tehtaalla. Lisäksi tarvittavien ohjelmistojen lataus simulaattorin kautta tulee selvittää.

Lähitulevaisuudessa aiemmin mainittuja testisimulaattoreita pitää hankkia lisää, kun tuotanto ja muut resurssit sitä vaativat.

Määriteltiin parametriasetykset taajuusmuuttajille ja ylinopeusreleelle, ja tehtiin niistä tiedostot, jotka voidaan nopeasti ja helposti ladata kyseisiin laitteisiin.

Energiamittarin parametrisointi tapahtuu käsin myös tulevaisuudessa, koska siihen ei ole saatavissa parametrien latausohjelmistoa.

Kohdeyityksen määrittelemät parametrisetit ladataan jo valmistajalla tai alihankkijalla kyseisiin laitteisiin.

Osalla työssä mietityistä asioista saadaan testausta todella nopeutettua, kuten parametrisoinnilla jo valmistajalla. Testaus nopeutuu tunnin kaksi parametrisoinnin osalta. Osalla saadaan työtä järkevämmäksi, aikataulut saadaan tarkemmin mietittyä ja myös pitämään. Lisäksi tuotannon kasvaessa saadaan testipenkki tehokkaampaan käyttöön, koska I/O-testit voidaan tehdä heti, kun konehuoneen mekaaninen ja sähköinen kokoonpano on valmis, aika testipenkissä lyhenee noin 30 tuntia. Testipenkissä esille tulevat viat eivät välttämättä pysäytä koko testausta, vaan kun mahdollinen vika on selvitetty ja odotetaan korjaavia toimenpiteitä, voidaan tehdä I/O-testiä seuraavalla konehuoneelle.

VIITELUETTELO

- [1] Sähköturvallisuussäädökset taskutieto [verkkodokumentti] [viitattu 23.9.2008]. Saatavissa: http://www.tukes.fi/Tiedostot/sahko_ja_hissit/esitteet_ja_oppaat/taskutieto.pdf
- [2] Kehittynyt tuulivoimatehnologia [verkkodokumentti] [viitattu 6.10.2008]. Saatavissa: http://www.tkk.fi/Units/AES/courses/crspages/Tfy-56.173_02/Tfy-56.173_02.pdf
- [3] Power Electronics for Modern Wind Turbines. Frede Blaabjerg, Zhe Chen, Synthesis lectures on power electronics, Morgan&Claypool publishers 2006.
- [4] Tuulivoiman projektiopas, [verkkodokumentti] [viitattu 10.10.2008]. Motiva, Syyskuu 1999. Saatavissa: <http://www.motiva.fi/fi/julkaisut/uusiutuvatenergiالاhteet/tuulivoima/tuulivoimanprojektiopas.html>
- [5] Kauppa - ja teollisuusministeriön päätös 517/1996. [verkkodokumentti] [viitattu 13.10.2008]. Saatavissa: <http://www.edilex.fi/tukes/fi/lainsaadanto/>.