

Juha Heiskanen

Voimalaitoksen 6 kV:n modernisointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkövoimatekniikka

Insinöörityö

28.02.2017

Tekijä Otsikko	Juha Heiskanen Voimalaitoksen 6 kV:n modernisointi
Sivumäärä Aika	38 sivua + 4 liitettä 28.02.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Lehtori Sampsa Kupari Tuotantojohtaja Sami Markkanen
<p>Insinööriyön tarkoituksena on selvittää Kotkan Energia Oy:n Hovinsaaren voimalaitoksen 6 kV:n sähkönjakelun modernisoinnin mahdollisuudet teknisesti ja taloudellisesti. Tarve selvitykselle oli syntynyt jo vuosia sitten, mutta jäänyt kiireellisempien tuotantoprojektien jalkoihin.</p> <p>Voimalaitoksen 6 kV:n jakelutekniikka on pääsääntöisesti peräisin sen rakentamisen ajoilta, 1960-luvun alusta ja on uusinnan tarpeessa. Vanhasta 12-kenttäisestä avokytkinlaitoksesta on käytössä enää kolme kenttää. Nykytekniikalla ne saadaan mahtumaan pienempään tilaan, koska voimalaitosalueelle on tarve saada lisätilaa uusille tuotantokojeistoille, pienjännitesähkökeskuksille ja -jakelumuntajalle.</p> <p>Työn selvitysosuus jakautuu vanhan kytkinlaitoksen purkuun ja uuden suunnitteluun, blokkimuuntajan vaihtotyöhön ja siirtoon sekä generaattorin magnetoinnin, suojausten ja tahdistuksen modernisointiin. Lisäksi työssä sivutaan energialähteenä toimivaa höyryturbiinia ja sen modernisointihanketta. Kaikille osa-alueille hankittiin budjettihinnat.</p> <p>Insinööriyön lopputuloksena saatiin uusi tasokuvapohja 6 kV:n laitokselle. Kojeisto- ja muuntaja vaihtoehtoja selvitettiin ja määritettiin niiden vaihtoon tarvittavat työt. Sähkötilan muutoksen tarvitsemat muut LVI- ja rakennustekniset työt selvitettiin.</p> <p>Selvityksessä määriteltiin 6,3 kV:n tahtigeneraattorille uudet suojaus-, tahdistus- ja magne-tointilaitteet. Generaattorille teetettiin myös elinkaarianalyysi. Tahtikoneen kunto oli odotet-tua huonompi ja laite vaatisi perusteellisen uusinnan. Höyryturbiinin tarvitsemat moderni-sointityöt myös määriteltiin.</p> <p>Koko hankkeen kustannukset nousevat korkealle ja taloudellisuus vaatii vielä lisäselvitystä, kannattaako uusintaan lähteä ollenkaan vai pitäisikö koko 6 kV:n jännitetasosta luopua Ho-vinsaaren voimalaitoksella.</p>	
Avainsanat	generaattori, kytkinlaitos, blokkimuuntaja

Author Title	Juha Heiskanen Power Plant's 6 kV Distribution Modernization Project
Number of Pages Date	38 pages + 4 appendices 28 February 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructors	Sampsa Kupari, Senior Lecturer Sami Markkanen, Director of Production
<p>This thesis concerns possibilities to modernize technically and economically Kotkan Energia Oy's Hovinsaari power plant 6 kV power distribution. The need for the study has been around for several years, but has been left aside because of more urgent production projects.</p> <p>The power plant's 6 kV distribution technology derives mainly from its construction times from the beginning of the 1960s and is in need of renewal. There are only three bays in use of the old twelve bay unenclosed substation. With current technology, these can be accommodated in a smaller space, as the power plant area is in need of additional space for new production equipment, low voltage switchgear and distribution transformer.</p> <p>The study goes through demolition of the old switchgear and new switchgear design, power transformers renewal and relocation, modernization of generator excitation, protection and synchronization. In addition, this work handles the steam turbine modernization project. Budget prices were clarified to all project areas.</p> <p>The end result is a new layout of 6 kV plant. The switchgear and transformer options were examined and the necessary work for their exchange was determined. The work needed for HVAC and construction of electric equipment room were studied.</p> <p>The study defined new protection, synchronization and excitation equipment for 6.3 kV synchronous generator. Also life-cycle analysis for the generator was made. The condition of the machine was worse than expected and the generator should be replaced. The modernization work needed for steam turbine was also defined.</p> <p>The whole project costs will rise high and viability should be further studied. It needs to be considered, whether Hovinsaari power plant should give up 6 kV voltage level altogether.</p>	
Keywords	generator, switchgear, power transformer

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	6 kV:n jakelu voimalaitoksessa	4
2.1	Historiaa	4
2.2	Tunnukset	5
2.3	Nykytilanne	6
3	Tilasuunnittelu	8
3.1	Kytkinlaitos	8
3.2	Blokkimuuntaja	11
3.3	Generaattori	12
3.4	Omakäyttömuuntaja 1BHV01	12
3.5	Purkutyö ja kojeistojen vaihto	12
3.6	Uusi 6 kV:n kojeisto	13
3.7	Uusi 20/6 kV:n muuntaja	15
3.8	Keskijännitekaapeloinnin muutokset	17
3.9	Apujännitekeskus	17
3.10	Maadoitukset	18
3.11	Uusi 400 VAC -alajännitekeskus	18
3.12	Rakennus- ja LVI-tekniset työt	19
3.13	Töiden yhteenveto	20
4	400 V:n pienjännitekeskuksen mitoitus	21
5	Generaattorin modernisointi	25
5.1	Tekniset tiedot	25
5.2	Suojaus	26
5.3	Magnetointi	28
5.4	Tahdistus	30
5.5	Liitännät muihin järjestelmiin	32
6	Höyryturbiinin modernisointi	33

7	Generaattorin kunnonselvitys	34
7.1	LEAP-analyysi	34
7.2	LEAP-mittaus	35
7.3	LEAP-analyysin tulokset	36
8	Yhteenveto	38
	Lähteet	39

Liitteet

Liite 1. Hovinsaaren voimalaitoksen sähköjärjestelmien pääkaavio

Liite 2. Hovinsaaren voimalaitoksen maadoituskaavio

Liite 3. Projektin alustava aikataulusuunnitelma

Liite 4. 6 kV:n kytkinlaitoksen uusi pohjaratkaisu

Liite 5. Budjettitarjousten yhteenveto (salainen, poistettu julkisesta versiosta)

Lyhenteet

AVR	Automatic Voltage Regulator. Automaattinen jännitteensäätäjä.
CHP	Combined Heat and Power. Sähkön ja lämmön yhteistuotantomuoto.
DCS	Distributed Control System. Hajautettu automaatiojärjestelmä.
I/O	Input/Output. Signaaliointi tietokonelaitteistoiden ja –liitäntöjen välillä.
IP	Ingress Protection. Sisääntunkeutumisen suojaus. Euroopassa oleva sähkölaitteiden ja laitekoteloiden tiiviyyden luokitusjärjestelmä.
KKS	Kraftwerk Kennzeichen System. Voimalaitosten tunnusjärjestelmä.
LEAP	Life Expectancy Analysis Program. ABB Oy:n analyysi sähkökoneiden elinkaaren ja kunnon selvittämiseksi.
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition System. Sähköverkkojen käytönvalvontajärjestelmä.
VJV2013	Voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset. Fingridin ohjeisto Suomen sähköjärjestelmään liitettäville voimalaitoksille.

1 Johdanto

Tässä insinööriyössä on tarkoituksena selvittää Kotkan Energian Hovinsaaren Voimalaitoksen 6 kV:n sähkönjakelun modernisointia. Voimalaitoksen vanha osa on käyttöön otettu vuonna 1962, jolta ajalta on suurin osa 6 kV:n sähkönjakelua. Alkuperäisessä kytkinlaitoksessa on 12-kenttäinen kaksikiskoinen avokojeisto, jolla on palveltu mm. Kotkan kaupunkia ja voimalaitoksen vieressä sijaitsevaa sokeritehdasta. Voimalaitoksella ja sen asiakkailta tarpeet 6 kV:n jännitetasoon ovat vähentyneet, ja suuri osa niistä onkin siirtynyt 20 kV:n keskijänniteasiakkaiksi.

Voimalaitoksella yhtenä sähköntuotantokoneena on 6,3 kV -jännitetasoon 6,4 MVA- tuotava generaattori, joka syöttää jakeluverkon lisäksi 6/0,4 kV:n omakäyttömuuntajaa. Näiden hyödyntämistä halutaan tulevaisuudessa myös jatkaa, mikäli niiden kunto on hyvä. Alkuperäisestä 12:sta kentän avokojeistosta on käytössä enää kolme kenttää ja niiden osalta halutaan parantaa sähkötyöturvallisuutta, samalla nykyaikaistamalla ne kompaktimpaan kokoon. Uusi 6 kV:n kojeisto tulee olla pienempi yksikiskoinen kennokojeisto. Tällöin vanhan kojeiston paikalta vapautuu tarvittavaa lisätilaa muille pienjännite sähkökeskuksille.

Samassa yhteydessä uusitaan vanha 20/6 kV:n blokkimuuntaja. Se halutaan sijoittaa nykyisestä sijainnista pihamaalta toisaalle, koska sen varaamaa nykyistä tilaa kaavailaan muihin tarpeisiin.

Generaattorin magnetointi, tahdistus- ja suojaustoiminnot halutaan myös modernisoida ja liittää höyryturbiiniautomaation ohjauksen piiriin.

Kotkan Energia Oy

Kotkan Energia Oy on vuonna 1993 perustettu ja kokonaan Kotkan kaupungin omistama energiayhtiö. Yhtiön juuret pohjautuvat Kotkan kaupungin sähkölaitokseen, joka sai alkunsa vuonna 1922. Vuonna 2003 sähkön verkko- ja myyntiliiketoiminta siirtyi Kymenlaakson Sähkö Oy:lle ja Kotkan Energia Oy keskittyi kaukolämpötoimintaan ja uusiutuvien energiamuotojen CHP-tuotantoon. Emoyhtiön toiminnot jakautuvat yrityspalvelui-

hin, energian tuotantoon ja kaukolämpöpalveluihin. Päätuotantolaitoksia ovat Hovinsaaren voimalaitos ja Korkeakosken voimalaitos, joiden tuotteita ovat kaukolämmön lisäksi teollisuushöyry, sähkö ja kotitalousjätteen hyödyntämispalvelu. (1.)

Konserniin kuuluu emoyhtiön lisäksi mm. suljetun sähköverkon ja maakaasuverkon liiketoimintaa harjoittavat Karhu Voima Palvelu Oy ja Karhu Voima Verkko Oy tytäryhtiöt. Uusimpana toimintona on Haminan Energia Oy:n kanssa perustettu yhteisyritys Karhu Voima Oy, joka myy sähköä ja tuottaa erilaisia energiapalveluja yrityksille ja yksityisasiakkaille.

Hovinsaaren voimalaitos

Tämä opinnäytetyö tehtiin Hovinsaaren voimalaitokselle, joka toimii yrityksen päätuotantolaitoksena. Voimalaitos käyttää polttoaineenaan metsäteollisuuden puupolttoaineita, turvetta, teollisuuden sivutuotteita ja maakaasua. Vuotuinen tuotanto jakautuu siten, että sähköä tuotetaan 100–150 GWh, kaukolämpöä 300–500 GWh ja prosessihöyryä 120 GWh. (1.)

Sähköntuotannon generaattoreita laitoksella on kolme. Kahdessa näistä käyttövoimallähteenä on höyryturbiini ja kaasukombilaitoksella kaasuturbiini. Sähkötehot generaattoreilla jakautuvat siten, että ABB Stal kaasuturbiinin generaattorilla tuotetaan maksimissaan 25 MW, ABB Stal höyryturbiinilla 15 MW ja Siemens-Schuckert vastapainehöyryturbiinilla 5 MW pätötehoa. ABB Stal höyryturbiini ja sen generaattori on voimalaitoksen pääsähköntuotantokone. Kaasuturbiinin generaattoria käytetään sähkömarkkinatilanteen mukaisesti, eli kun hintataso on sellainen, että sähköä kannattaa tuottaa. Siemens höyryturbiinia hyödynnetään nykyisin pääsääntöisesti talvikuukausina marraskuusta maaliskuuhun ja huoltoseisokkien aikana sekä päätuotantokoneen häiriöiden aikana.

Opinnäytetyöstä

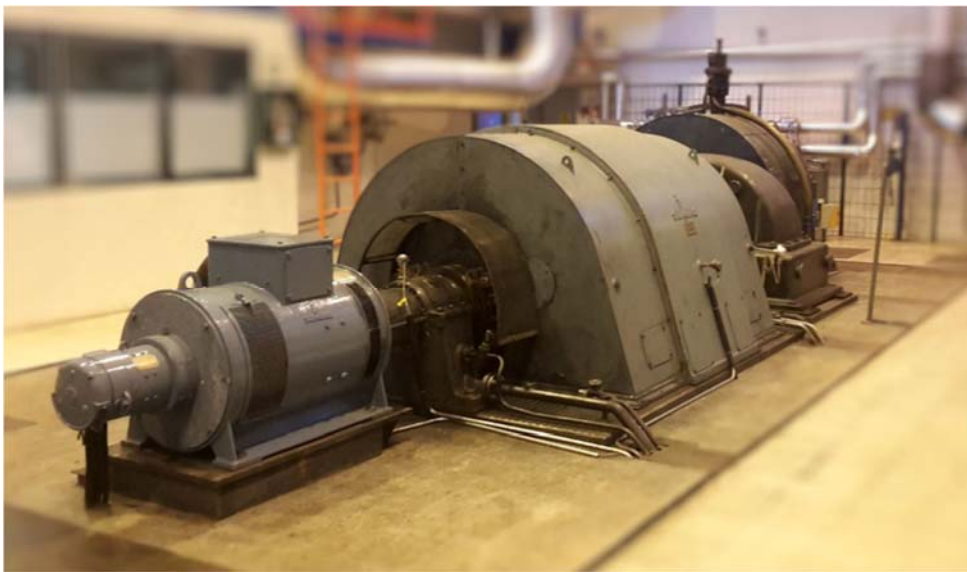
Modernisointiprojekti käyvässä voimalaitoksessa on aina haaste, ja on hyvä pitää projektissa koko ajan mielessä sähköverkon suunnittelun tärkeimmät pääperiaatteet: Sähkön jakelun ja siirron on oltava taloudellista ja luotettavaa. Valittavien komponenttien on oltava pitkäikäisiä. Lisäksi ratkaisun on oltava kaikin tavoin turvallinen omaisuudelle ja ihmisille, eikä se muutenkaan saa aiheuttaa häiriötä ympäristöönsä. (2, s.35.)

Opinnäytetyössä keskitytään ainoastaan ratkaisun esisuunnitteluun, nykyisten laitteiden kunnan selvittämiseen, tilojen uudelleen määrittämiseen ja budjettitarjousten hankkimiseen. Selvitystyössä hyödynnetään yhtiön omia asiantuntijoita ja budjettitarjousten saamiseksi kolmannen osapuolen edustajia. Mahdollinen toteutus päätetään myöhemmin. Tavoitteena oli, että kesän ja alkusyksyn 2016 aikana saadaan aikaiseksi ratkaisu, jota voidaan ehdottaa seuraavan vuoden 2017 budjettiin.

2 6 kV:n jakelu voimalaitoksessa

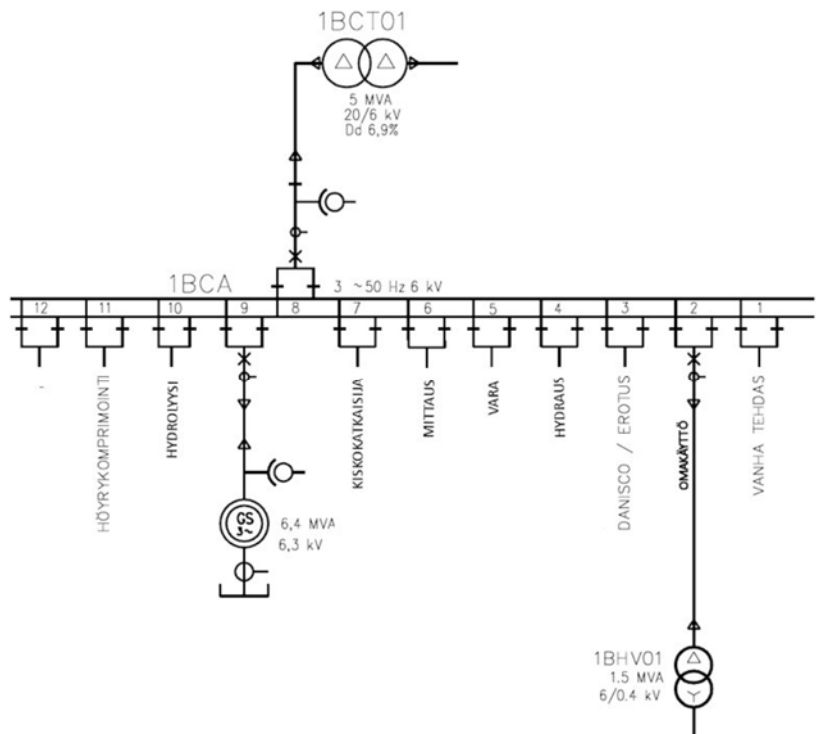
2.1 Historiaa

6 kV:n sähkönjakelu otettiin käyttöön Hovinsaaren voimalaitoksessa vuonna 1962 palvelemaan ensijaisesti Suomen Sokeri Oy:n Kotkan tehdasta. Voimalaitoksella oli tuolloin hiilikattila Eckrohr, jolla tuotettiin Siemens-Schuckert höryturbiinille höyryä. Tämä höryturbiini on edelleen voimalähteenä kuvan 1 Siemens-Schuckert 6,4 MVA:n generaattorille.



Kuva 1. Siemens-Schuckert höryturbiini ja generaattori.

Sähkön syöttö oli myös mahdollista silloisen Kotkan sähkölaitoksen 6 kV:n verkkoon ja myöhemmin 20 kV:n verkkoon, vuonna 1976 käyttöönotetun nostomuuntajan 1BCT01 kautta. Lähellä sijaitseva vuonna 1967 valmistunut keskussairaala oli myös kytkettynä tähän 20 kV:n jakelupisteeseen. Xyrofin Oy:ltä voimalaitos siirtyi Kotkan Energian omistukseen vuonna 1995 (3). Kuvassa 2 näkyy kaaviona voimalaitoksen koko 6 kV:n katkaisijakenttä, jollainen se oli, kun käyttö oli laajimmillaan.



Kuva 2. Hovinsaaren voimalaitoksen 6 kV:n johtolähdöt laajimmillaan.

Vuosien saatossa 20 kV:n sähkönjakelu yleistyi ja tänä päivänä käytössä olevat kentät ovat numeroiltaan generaattorin syöttökenttä 9, jakeluverkko yhteys eli blokkimuuntajalähtö 8 sekä omakäyttömuuntajalähtö 2.

2.2 Tunnukset

Sähkökuivissa tunnuksina näkyvät kirjainnumerolyhenteet tulevat KKS (Krafwerk Kennzeichen System) -tunnusjärjestelmästä, jota käytetään Kotkan Energian tuotantolaitoksilla kaikkien järjestelmien, laitteiden, kaapeleiden ja signaalien tunnuksina.

Tunnusmerkintä voi koostua neljästä järjestysasteesta, jolloin tunnus voisi rakentua esim. seuraavasti (4):

järjestysaste	0	1	2	3
nimitys	laitososa	järjestelmä	laitteisto	laite

Työssä esiintyvät merkinnät suuremmasta jännitetasosta pienempään seuraavasti:

0BBA05

0	voimalaitoksen yhteiset järjestelmät
B	voimalaitoksen sähköjärjestelmät pääluokka
BB	keskijännitekojeistot ja -muuntajat
BBA	20 kV -kojeisto
05	kojeisto numero 05

1BCT01

1	Eckrohr-kattila (voimalaitoksen vanha osa)
B	voimalaitoksen sähköjärjestelmät pääluokka
BC	välijännitejakelu, yleinen
BCT	muuntaja
01	muuntaja numero 01

1BHV01

1	Eckrohr-kattila (voimalaitoksen vanha osa)
B	voimalaitoksen sähköjärjestelmät pääluokka
BH	pienjännitepääjakelu, yleinen
BHV	jakelumuuntajat (toisiojännite 400 V)
01	muuntaja numero 01

1BHE

1	Eckrohr-kattila (voimalaitoksen vanha osa)
B	voimalaitoksen sähköjärjestelmät pääluokka
BH	pienjännitepääjakelu, yleinen
BHE	400 V -keskukset

2.3 Nykytilanne

Liitteen 1 Hovinsaaren voimalaitoksen sähkönjakelun pääkaaviosta nähdään, että jakeluverkkoyhteyden lisäksi 6 kV:n jakelukiskostosta syötetään 6/0,4 kV:n omakäyttömuuntajaa 1BHV01, joka edelleen syöttää keskusta 1BHE. Tämän 1BHE-keskuksen rooli on syöttää yhteisiä järjestelmiä ns. vanhan voimalaitoksen alueella, kuten paineilmakomp-

ressorikeskusta 1BJH. 1BHE-keskuksesta on myös tärkeä syöttö kaasukattilan alakeskukselle 7BHF. Kaasukattilaa käytetään kaikissa pääkattilan häiriöissä, huoltoseisokeissa sekä tukemaan kaukolämmön tuotantoa kuormitushuippuina.

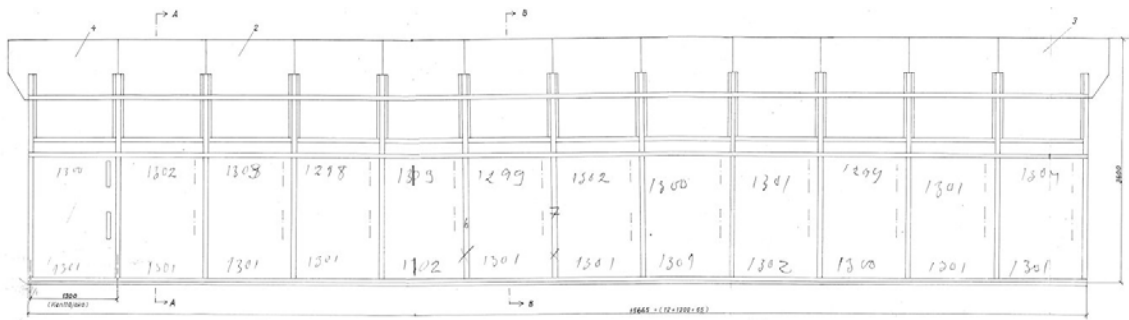
1BHE-keskus on siten varmistettu, että kiskostot voidaan kytkeä yhteen ja syöttää sitä 3BFE-keskuksen kautta. Tämä yhdistys on tehtävä sähkökatkon kautta, koska kiskosten välillä ei ole tahdistusta käytettävissä.

3 Tilasuunnittelu

Tilasuunnittelu käynnistyi keväällä 2016. Tällöin aloitettiin käymään läpi, mitä laitteita 6 kV:n järjestelmässä voimalaitoksella on, mikä on niiden kunto ja mitä niistä on edelleen hyödynnettävissä.

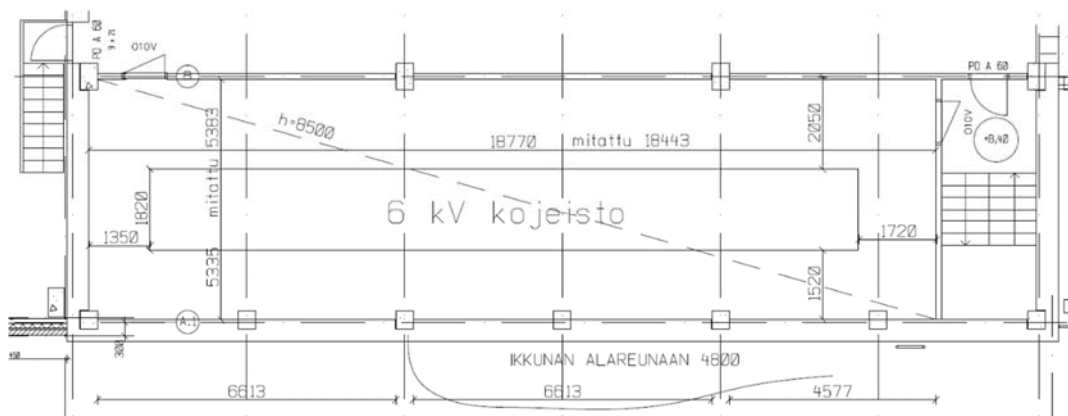
3.1 Kytkinlaitos

Vanha kennorakenne vie tilaa 15,7 metriä leveydeltään ja 1,8 metriä syvyydeltään. Korkeutta kojeistolla on 3,6 metriä, kuten kuvasta 3 voidaan nähdä. Duplex-kiskot kulkevat kennoston päällä.



Kuva 3. Vanha 6 kV kennorakenne.

Kojeisto sijoittuu 6 kV:n kytkinlaitostilaan kuvan 4 mukaisesti ja sijaitsee vanhan voimalaitoksen tasolla +8,4 m. Kuten aiemmin todettiin, vain kolme lähtöä kaikista kahdesta-toista on käytössä, joten pienempi uusi kojeisto tilaan oli suunnittelun lähtökohta.



Kuva 4. Vanhan kojeiston sijoittuminen laitetilaan.

Koska 1BHE-keskukseen on mahdollista syöttää sähkö 3BFE-keskuksen kautta, on 6 KV:n kojeiston purku ja vaihto uudempaan mahdollista tehdä ilman suurta aikataulupainetta eli purku- ja rakennustyöt voidaan suorittaa virka-aikana. Toki aikataulutusta pitää tehdä, koska keskijännitekojeistoilla on pitkät, useampien kuukausien toimitusajat.

Joka puolella kojeiston ympärillä on hyvin vapaata tilaa ja alla valettuna paksu betonilattia. Katkaisijoiden kaapelilähtöaukot ovat kennojen keskellä ja ohjauskaapeleiden läpiviennit ovat kennojen etureunassa alapuolella olevaan kaapelitilaan.

Uudet kojeistot mahtuvat selkeästi tiiviimpään tilaan, joten kojeistosovittelu päätettiin aloittaa tilaan poikittaissuuntaisesti, mihin palataan myöhemmin työssä. Päätökseen, kumpaan päähän laitetilaa uusi kojeisto tulisi sijoittaa, vaikutti poissulkevasti kuvan 4 oikeassa reunassa, ennen rappukäytävää oleva suuri ilmastointikoneikko, joka näkyy tarkemmin kuvassa 5. Sen varaaman ison tilan takia sähkökojeiston sijoitus tulisi ensisijaisesti tilan vasempaan reunaan.



Kuva 5. Ilmastointikoneikko tilan vasemmassa reunassa.

Keskijännitekojeiston uudelleensijoitus vaikuttaa oleellisesti myös kaapelointiin, jonka vuoksi nykyiset reitit ja suunnitellut kaapelireitit tuli selvittää mahdollisimman tarkasti. Jokaisesta kennosta on katkaisijalta kuparikiskoyhteys alakerran kaapelitilaan. Kaapelitila on nähtävissä kuvassa 6.



Kuva 6. Kojeiston alapuolinen kaapelitila kennohäkkeineen.

Omakäyttökennosta numero 2, joka on kuvassa 6, toinen häkkikenttä vasemmalta, on suora kiskoyhteys omakäyttömuuntajaan seinän taakse. Myös 6 kV:n generaattorille lähdistä numero 9 on suora kiskoyhteys. Generaattorin blokkimuuntaja sijaitsee pihamaalla, voimalaitoksen etupuolella kuten, kuvasta 7 nähdään.



Kuva 7. Kaapelireitti blokkimuuntajalle.

Tarkka kaapelireitti muuntajalle ei ollut täysin tiedossa, koska sitä oli muutettu voimalaitoksen laajennuksen yhteydessä vuonna 1996. Tietoja saatiin onneksi henkilöltä, joka oli laitoksen laajentamisprojektissa mukana (5). Kennosta 8 lähtee vanha kaapeliyhteys voimalaitoksen alakertaan ja edelleen taakse, maan alle. Vuonna 1996 on tehty jatkosuuteen AHXAMK-W kaapeliin, joka tulee maanalaisen kaapelitunnelin kautta. Näitä AHXAMK-W 3x300 -tyyppisiä kaapeleita on kojeiston ja blokkimuuntajana välillä kaksi (5). Kuvassa 7 näkyy kaapelit merkittynä numeroilla 16, 17 ja reitti violetilla värillä. Jatkoksen paikka näkyy kuvassa salmiakkikuviolla.

3.2 Blokkimuuntaja

Kuten aiemmin todettiin, nykyinen Strömberg KTRW 24X5 6/20 kV:n blokkimuuntaja sijaitsee pihamaalla kuvan 8 mukaisesti. Muuntaja tiputtaa ajoittain öljyä ja on uusinnan tarpeessa. Nykyinen muuntajan sijainti on hankala, koska alueelle on kaavailtu voimalaitoksen uutta vesilaitosta sekä 20 kV:n kytkinaseman laajennusta.



Kuva 8. Blokkimuuntaja ja muuntajakatos.

Sopiva uusi sijoituspaikka muuntajalle löytyy 6 kV:n kytkinlaitoksella, kun vanha kojeisto on poistettu. Kuitenkaan voimalaitoksen sisään ei haluta öljymuuntajaa vaan nykyinen muuntaja korvataan kuivamuuntajalla, jolla on samat sähköiset ominaisuudet.

3.3 Generaattori

6 kV:n generaattorin suojaukset, tahdistus verkkoon sekä magnetointi ovat alkuperäiset. Nämä tulee tässä yhteydessä uusida.

Voimalaitoksen isommalle ABB Stal -höyryturbiinille tehtiin vuonna 2016 automaatiouusinta, jonka yhteydessä uusittiin myös turbiinin 26,2 MVA:n 10,5 kV:n generaattorin magnetointi, tahdistus ja suojaukset. Tavoite olisi käyttää samankaltaisia ja -mallisia suojaus-tahdistus- ja magnetointi komponentteja tässä 6 kV:n generaattorin uusintaprojektissa. Hyötyjä samankaltaisten komponenttien käytössä ovat mm. apulaitteiden ominaisuuksien tunteminen, osaamisen hyödyntäminen ja varaosien yhteensopivuus.

Suojaus-, tahdistus- ja magnetointilaitteet mahtuvat kaikki kahdennettuna yhteen 800 mm x 600 mm kokoiseen kaappiin, tai jos halutaan samanlainen ratkaisu kuten aiemmassa generaattoriprojektissa, 1200 mm x 600 mm kokoiseen kaappiin.

3.4 Omakäyttömuuntaja 1BHV01

Omakäyttömuuntaja 1BHV01, jonka muuntosuhde on 6/0,4 kV, on hyvässä kunnossa. Muuntaja voi jäädä nykyiseen sijaintiin, joka näkyy kuvassa 9, oikeanpuoleisen sinisen oven takana. Muuntajan nykyinen suora kiskoyhteys on jatkettava kaapelilla uuteen kojeistoon.

3.5 Purkutyö ja kojeistojen vaihto

Vanhan kojeiston purkamisen ja poisviemisen helpottamiseksi uuden kojeiston ja muuntajan paikalle saamiseksi, päätettiin suunnitella nykyisen 6 kV -laitoksen seinään purkuaukko, jossa olisi sähköinen nosto-ovi. Purkuaukko tulisi kuvan 4 vasemman alareunan toiseen pilariväliin, ja kuvassa 9 näkyy sama suunniteltu sijainti rakennuksen ulkoseinässä.



Kuva 9. Suunniteltu purkuaukon paikka ja muuntajasuojat.

Purkuaukko ei voi olla yhtään enempää vasemmalla, koska pihassa on kalteva luiska muuntajien sinisiä ovia kohti. Ulkoseinä rajautuu suoraan Dupontin makeutusainetehtaan puolelle, joten julkisivun muutos ja aukon käyttöasiat on sovittava erikseen Dupontin tehdasalueen vastaavien henkilöiden kanssa.

3.6 Uusi 6 kV:n kojeisto

Muutostarpeista lähti liikkeelle selvitys, jossa käytiin läpi korvaavia tuotteita nykyisille 6 kV:n keskijännitekojeistoille. Päätettiin kysyä vertailevia tarjouksia, mutta tilasuunnittelun lähtökohdat olivat tutuissa laitteissa, valmistajamerkeissä ja toimittajissa. Kojelistosta kysyttiin vertailevat budjetääriset tarjoukset ABB Oy:ltä sekä VEO Oy:ltä. Toimittajille annettiin tarvittavat sähkötekniset tiedot nykyisestä 1BCA-kojeistosta (I_{k-max} 12,7 kA, I_p 31,7 kA) ja siihen vaikuttavista virroista. ABB Oy tarjosi ensisijaisesti kuvan 10 UniGear ZS1 (Un 6,3 kV, I_n 1250A, I_k 16 kA/1s, I_p 40 kA) -kojeistoa, koska siinä on parempi oikosulukestoisuus kuin yrityksen UniSec -tuotteissa (6).



Kuva 10. ABB UniGear ZS1 -kojeisto (6).

Oikosulkukestoisuutta tarvitaan etenkin silloin, kun kojeistoon on liitetty generaattori. Katkaisijatyyppeä on vaunutyyppinen VD4-tyhjiökatkaisija. UniGear ZS1:sta tarjottiin kahta vaihtoehtoa, ns. perinteinen malli ja digital-malli, jossa perinteiset virta- ja jännitemuuntajat on korvattu kuvan 11 digitaalisilla sensoreilla.



Kuva 11. ABB UniGear ZS1 Digital -kojeiston virta- ja jännitesensorit (7).

Digital-tuotteita on käytetty varsinkin Suomen ulkopuolella jo useamman vuoden ajan (6), mutta paikalliskokemusta näistä Kotkan Energialla ei vielä ole. Suojareleet kojeistossa ovat ABB-tyyppiä REF615 ja REA 107/615. Kommunikaatio näistä suojareleistä on mahdollista toteuttaa IEC 61850 -standardin mukaisesti. (6).

VEO Oy:n tarjous perustui Siemensin 8BT1 -sarjan (Un 6,6 kV, I_n 630A, I_k 20 kA/1s, I_p 50 kA) ilmaeristeisiin ja metallikoteloituihin keskijännitekojeistoihin. Katkaisija ratkaisussa on vaunutyypinen SION-tyhjiökatkaisija, ja kojeisto on rakennettu IEC 62271-200:n mukaisesti. Suojareleistys on toteutettu VAMP 255/265 -tuotteilla. (8.)

3.7 Uusi 20/6 kV:n muuntaja

Vanhan öljymuuntajan Strömberg KTRW 24X5 sähköiset ominaisuudet ovat taulukon 1 mukaiset.

Taulukko 1. Blokkimuuntajan sähköiset ominaisuudet.

Ominaisuus	Arvo
Nimellisteho	5000kVA
Nimellisjännitteet	20 000+2x2.5%/6 200V
Kytkentäryhmä	Dd0
Taajuus	50Hz
Standardi	IEC-76
Tyhjäkäyntihäviöt	4450w
Oikosulkuhäviöt	37500w
Oikosulkuimpedenssi	7 %

Kuormitus 6 kV:n verkossa on pienentynyt, kun käyttöä siitä on siirtynyt pois, mutta koska generaattori säilyy entisellään, tulee nimellistehon muuntajassa olla samaa entistä kokoluokkaa. Pyydettiin muutamia muuntajatarjouksia samat sähköiset ominaisuudet omaavasta kuivamuuntajasta. Tarjoukset saatiin ABB Oy:ltä, Multirel Oy:ltä, Siemens Oy:ltä sekä VEO Oy:ltä, joka oli yhdistänyt kojeistotarjoukseensa myös muuntajan. Tarjottujen muuntajien fyysinen koko ja painotiedot olivat taulukon 2 mukaisia.

Taulukko 2. Tarjottujen 20/6 kV:n muuntajien mitat (6; 8; 9; 10).

Muuntaja vaihtoehdot		
Valmistaja	(Pituus x Leveys x Korkeus)	Paino
ABB	3250 x 1860 x 3080	12800 kg
Multirel	2400 x 1560 x 2600	9350 kg
Siemens	2700 x 1400 x 2520	11200 kg
VEO (Imefy)	2950 x 1500 x 2600	12700 kg

alapuolella, tasolla +3,4 m sijaitsee 110 DC -akusto akkuhuoneessa ja vakiojännitevaraaja, jotka toimivat apujännitereleiden ohjaussähköjärjestelmänä. Näiltä kaapelointi tulee uusiksi uudelle 6 kV:n kojeistolle sekä generaattorin suojauskaapille.

3.10 Maadoitukset

Hovinsaaren voimalaitoksen maadoituskaavio näkyy liitteessä 2. Siihen ei tule oleellisia muutoksia. Kaikki 6 kV:n kytkinlaitoksen alueen uudet laitteet maadoitetaan MEB2-maadoituskiskoon, joka on yhteydessä voimalaitoksen päämaadoituselektrodiin. Olemassa olevat maadoitusjohtimet on mitoitettu silloisen säädösten mukaisesti ja uudet asennukset mitoitetaan nykysäädösten mukaisesti.

3.11 Uusi 400 VAC -alajännitekeskus

Sähkökeskusten käyttöaste voimalaitoksella on suuri, eikä niissä juuri enää ole laajennettavuutta sekä nykyisten standardien mukaisesti osalla keskuksista dynaaminen oikosulkukestoisuus ylittyy (11). Voimalaitoksella on tarve uusille sähkölähdöille, muun muassa uutta voimalaitoksen vesilaitosta varten.

Näitä tarpeita varten suunnitelmiin lisättiin uusi 400 V:n omakäyttökeskus alajännitepuolelle eli 6 kV:n keskijännitekojeistoon tulisi vielä yksi uusi lähtöterminaali tätä varten. Pyydettiin budjetäärinen tarjous 6/0,4 kV:n 1,5 MVA:n Multirel Oy:ltä kuivamuuntajasta (12). Kuvassa 15 on nähtävissä uusi pohjakuva sähkötilasta ja tämä sama kuva löytyy suurempana liitteestä 4. 400 V:n sähkökeskuksen mitoitusta käsitellään luvussa 4.

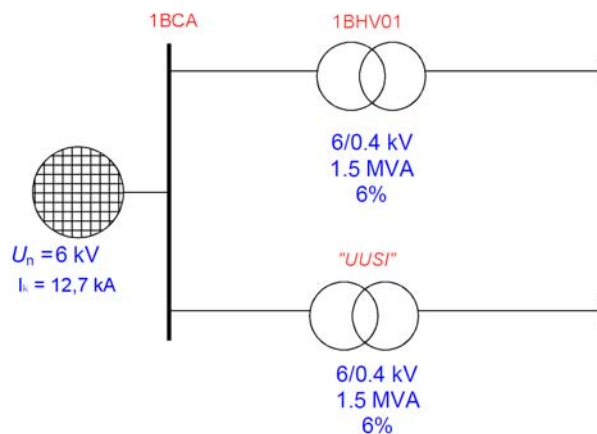
3.13 Töiden yhteenveto

Tilojen muutostyö ja modernisointi tarvitsevat monen alanosaajia ja osa-alueet tulee yhteen sovittaa aikataulullisesti. Osa-alueiden ja töiden yhteensovittamiseksi laadittiin liitteessä 3 näkyvä alustava projektin aikataulusuunnitelma.

4 400 V:n pienjännitekeskuksen mitoitus

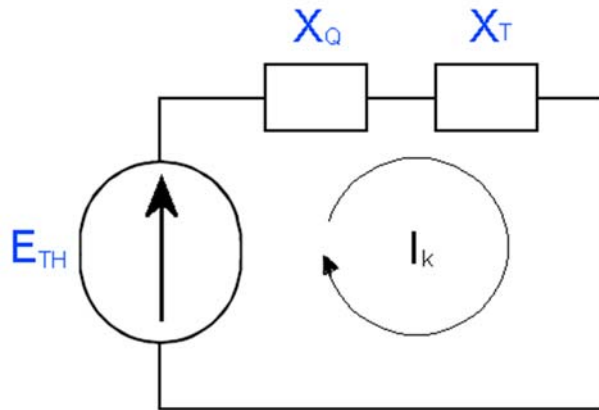
Uutta pienjännitekeskusta varten tarvitaan mitoitus. Oikosulkuvirrat 1BCA-keskuksessa eivät oleellisesti tule muuttumaan, kun muuntaja 1BCT01 korvataan vastaavat sähköiset ominaisuudet omaavalla muuntajalla ja hyödynnetään olemassa olevaa kaapelointia. Jatkosten vaikutus virtoihin tulee arvioida lähemmin ennen varsinaisten keskustilausten lähettämistä.

Normaalintilanteen maksimi pysyvän tilan oikosulkuvirta 1BCA-keskuksessa on 12,7 kA (11). Tämän tiedon avulla laskettiin 400 V:n puolelle näkyvä oikosulkuvirta ja keskukselta vaadittava oikosulkukestoisuus. Kuvassa 16 näkyy yksinkertaistettuna laskettava kohde, johon on lisätty uusi 6/0,4 kV:n 1,5 MVA:n muuntaja.



Kuva 16. Yksinkertaistettu piirros laskettavasta kohteesta.

Näistä tiedoista muodostettiin Thévenin menetelmällä kuvan 17 virtapiiri.



Kuva 17. Thévenin menetelmällä muodostettu laskettava virtapiiri.

Oikosulkuvirta I_K 400V keskuksessa selvitetiin seuraavasti. Ensin laskettiin muuntajan impedanssi kaavalla 1:

$$X_T = U_K \frac{U_n^2}{S_n} = 0,06 \times \frac{400^2}{1,5 \times 10^6} \Omega = 6,4 m\Omega \quad (1)$$

X_T on muuntajan impedanssi
 U_k on oikosulkujännite
 U_n on toisiopuolen nimellisjännite
 S_n on muuntajan näennäisteho.

Kaavalla 2 määritetään verkon impedanssi:

$$X_Q = \left(\frac{U_{n2}}{U_{n1}} \right)^2 \frac{U_Q / \sqrt{3}}{I_K} = \left(\frac{0,4}{6} \right)^2 \frac{6 \times 10^3 / \sqrt{3}}{12,7 \times 10^3} \Omega = 1,21 m\Omega \quad (2)$$

X_Q on verkon impedanssi
 U_{n1} on ensiöpuolen nimellisjännite
 U_{n2} on toisiopuolen nimellisjännite
 U_Q on ensiöpuolen verkkojännite
 I_K on oikosulkuvirta.

Kaavalla 3 lasketaan oikosulkuvirta uudelle alakeskukselle:

$$I_K = \frac{E_{TH}}{\sum X_i} = \frac{400 / \sqrt{3}}{7,6123 \times 10^{-3}} \Omega = 30,3 kA \quad (3)$$

I_K on oikosulkuvirta
 E_{TH} on vikakohtan jännite ennen vikaa
 X_i on kaikki impedanssit.

Keskuksen on pystyttävä kestämään koko muuntajan siirtämä teho, joten nimellisvirraksi saadaan kaavalla 4:

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3}U_n} = \frac{1,5 \times 10^6 VA}{\sqrt{3} \times 400V} = 2165 A \quad (4)$$

I_n on nimellisvirta
 S_n on muuntajan näennäisteho
 U_n on toisiopuolen nimellisjännite.

Nimellisvirraksi merkitään seuraava kokonaisluku standardiarvo: $I_n = 2500 A$

Suojauksen maksimi toiminta-ajaksi oletetaan yleinen $t_k=1,2s$, joten tästä saadaan yhden sekunnin vikavirta-arvon kaavassa 5:

$$I_{1s} = I_K \times \sqrt{t_k} = 30,3 kA \times \sqrt{1,2} = 33,19 kA \quad (5)$$

I_{1s} on yhden sekunnin vikavirta
 I_K on oikosulkuvirta
 t_k on suojauksen maksimitoiminta-aika.

Tästä valitaan standardin seuraava kokonaislukuarvo eli I_{1s} on 40 kA.

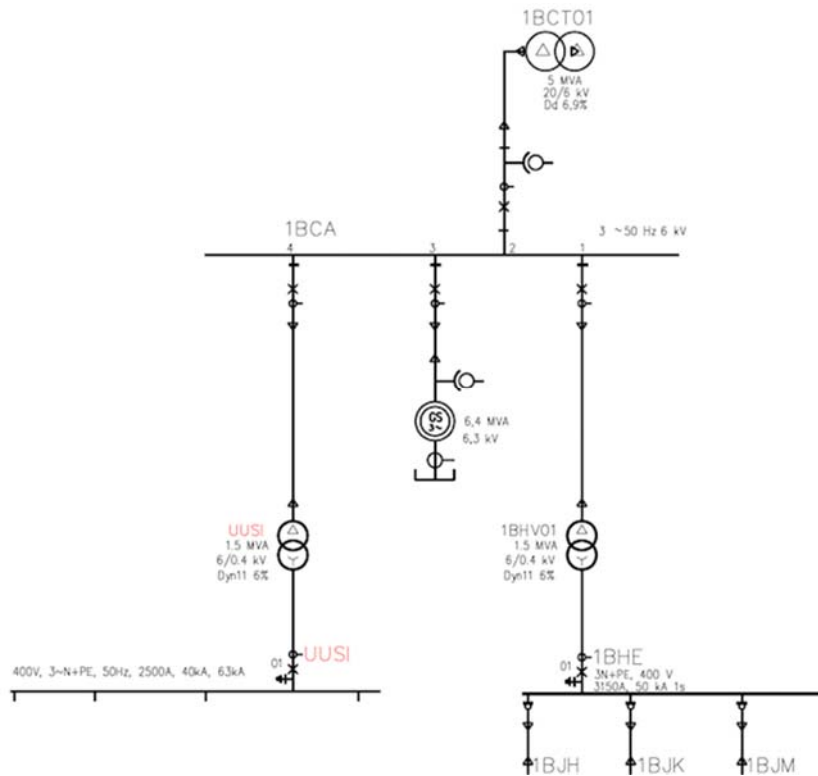
Hetkellinen maksimivirta I_p on täten kaavan 6 mukaisesti:

$$I_p = I_K \times 2 = 30,3 kA \times 2 = 60,6 kA \quad (6)$$

I_p on peak eli hetkellinen maksimivirta
 I_K on oikosulkuvirta.

Tästä valitaan standardin seuraava kokonaisluku eli I_p on 63 kA.

Alakeskukselle mitoitetut arvot ovat täten 400 V, 3~N+PE, 50 Hz, 2500 A, 40 kA, 63 kA. Hovinsaaren sähköverkon 6 kV:n modernisoidun osan sähkökaavio on kuvan 18 kaltainen.



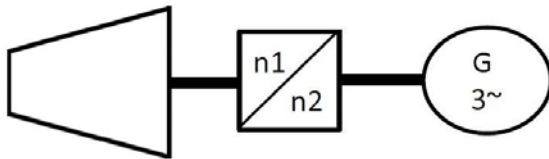
Kuva 18. Modernisoidun osan 6 kV:n piirikaavio.

Laskelmissa ei ole huomioitu alakeskusten mahdollista yhteenliittämistarvetta. Jos 1BHE-keskuksen kautta halutaan varareitti, tulee mitoituslaskelmat tehdä uudelleen ja huomioida ne keskusta tilattaessa. Myöskään kenttäselvityksissä ei käyty läpi, onko yhteenliittäminen sähkötekniisesti ja mekaanisesti edes mahdollista. Kun 3BFE-keskus on yhdistettynä 1BHE-keskukseen, symmetrisen tilan maksimi alkuoikosulkuvirta I_k on 54,4 kA (11).

5 Generaattorin modernisointi

5.1 Tekniset tiedot

Voimanlähde höyryturbiini, vaihteisto ja tahtikone ovat kaikki saman toimittajan Siemens-Schuckertin aikanaan toimittamia. Kuvassa 19 on höyryturbiinin, vaihteiston ja generaattorin periaatekuva.



Kuva 19. Höyryturbiinin, vaihteiston ja generaattorin periaatekuva.

Taulukossa 3 on voimakoneen ja vaihteiston tekniset tiedot, jotka on saatu laitteiden tyyppikilvistä.

Taulukko 3. Höyryturbiinin ja vaihteiston tekniset tiedot.

Höyryturbiini		Hammasvaihte	
Kierrosluku	8000 rpm	Muuntosuhde	8000/1500
Teho	3975/5020 kW	Teho	7500 hv
Höyryn lämpötila	480°C		
Höyrynpaine	59 kg/cm ²		
Vastapaine	2 kg/cm ²		

Vastaavasti taulukossa 4 on nähtävissä generaattoriin ja herätinkoneiden tekniset tiedot.

Taulukko 4. Generaattorin ja magnetointiosan tekniset tiedot.

Apuherätinkone		Herätinkone		Generaattori	
Tyyppi	G492-4	Tyyppi	G234/19-4	Tyyppi	PFL 380/40-4
Jännite	115 VDC	Jännite	89 VDC	Jännite	6300 V
Virta	17,5 A	Virta	600 A	Virta	586 A
Kierrosluku	1500 rpm	Kierrosluku	1500 rpm	Kierrosluku	1500 rpm
Teho	2 kW	Teho (jatkuva)	53,5 kW	Näennäisteho	6400 kVA
Magnetointijännite	87 V	Magnetointijännite	55...83 V	Tehokerroin	cosφ=0,7
Magnetointivirta	0,8 A	Magnetointivirta	3,0...4,5 A	Taajuus	50 Hz
				Magnetointijännite	54 V
				Magnetointivirta	600 A

Generaattorin suojausreleet, magnetointi ja tahdistus verkkoon tehdään myös pääosin alkuperäisillä laitteilla ja ne ovat uusinnan tarpeessa. Uusinnassa tullaan käyttämään mahdollisimman pitkälti samoja komponentteja kuin vuoden 2016 ABB GBA 1120 SG -generaattorin modernisointiprojektissa.

5.2 Suojaus

Tahtigeneraattoriin toteutettava suojaus riippuu koneen rakenteesta ja nimellistehosta. Siihen vaikuttaa myös kytkentä ja se, onko useampia rinnan käyviä generaattoreita. Kaikkien tahtigeneraattoreiden suojauksen perustana on maasulku- ja ylivirtasuojaus. Tahtikoneissa vian sattuessa on myös alas ajettava turbiini ja katkaistava magnetointi. (2, s. 398.)

Differentiaali- eli erovirtasuojaja suojaa tahtikonetta vaihekäämien välisiltä oikosuluilta. Vakioaikaylivirtarele suojaa tahtikoneen ulkopuolella tapahtuneilla oikosuluilta. Turbiinihäiriöiden varalle, jolloin generaattori alkaa toimia moottorina, käytetään takatehosuojaa. (2, s.398.) Ylijännitesuojauksella suojataan tahtikone ja liittyvät piirit ei-toivotuilta jännitteen nousuilta (13).

Staattori- ja roottoripiireille on olemassa omat maasulkusuojat. Roottorin suojaamiseksi on käytetty pientä vaihtojännitettä kondensaattorin läpi havaitsemaan maasulku. Staattorille on useita vaihtoehtoja toteuttaa suojaustoiminnot. Vaihtoehtoina on mm. jännitteen symmetrisyyden tarkastelutoiminnot tai generaattorin tähtipisteen ja maan välistä jännitettä tarkkailevat suojareleet. (2, s.398.)

Alijännitesuojauksen tehtävänä on suojata sähkökoneita ei-toivotuilta käyttötilanteilta ja stabiilisuuden kadottamiselta. Alitaajuussuojaus toimii, kun verkossa on liiallinen kuormitus tilanne, vika nopeussäätäjässä tai kun ollaan saarikäytössä ja turbiinin käyttövoima katoaa. Takatehosuojaus ei tällöin toimi (13). Taulukossa 5 nähdään generaattorin käytössä olevat suojaustoiminnot.

Taulukko 5. Nykyiset generaattorin suojaustoiminnot (14; 15).

Toiminto	ANSI	IEC 60617	IEC 61850
Differentiaalisuoja	87G	$I_b >$	PDIF
Ylivirta-aikasuoja	51	$I >>$	PTOC
Takatehosuoja	32R	-P	PDOP
Ylijännitesuoja	59	$U >$	PTOV
Staattorin maasulkusuoja	64S	-	-
Roottorin maasulkusuoja	64R, 64F	$I_o > R$	PRTR
Alijännitesuoja	27	$U <$	PTUV
Alitaajuussuoja	81U	$f <$	PTUF

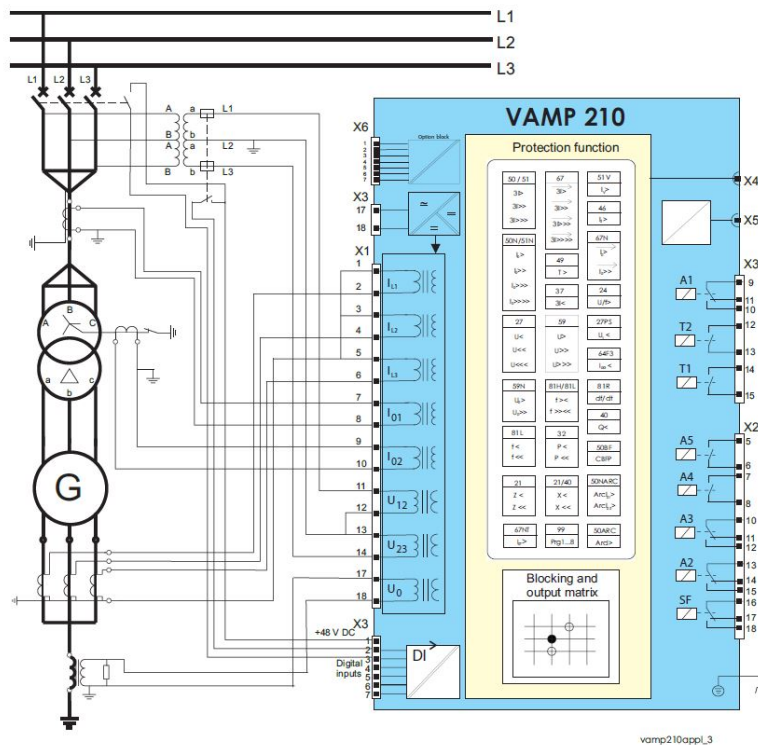
ABB GBA 1120 SG 10,5 kV:n generaattorille hankittiin vuoden 2016 modernisointiprojektissa Schneider Electric Oy:n VAMP-suojareleet kahdennettuna ja tätä samaa menetelmää on tarkoitus hyödyntää myös tässä uusinnassa.

Suojaus toteutettaisiin siten, että VAMP 265 -erovirtasuojareleet kahdennettuna suojaisivat blokkimuuntajan ja generaattorin yli ja VAMP 210 -suojareleet kahdennettuna toimisivat generaattorin suojarleenä. Uusien suojareleiden toiminnot nähdään taulukossa 6.

Taulukko 6. VAMP 265 ja VAMP 210 suojaustoiminnot (15; 16).

Toiminto	ANSI	IEC 60617	IEC 61850
Ali-impedanssi	21	$Z <, Z <<$	PDIS
Ylivirta/Alijännite	51V	$I >/U <$	PVOC
Ylivirta	50/51	$I >, I >>$	PTOC
Ylijännite	59	$U >/U >>$	PTOV
Maasulku	59N	$U_o >$	PTOV
Aliteho	32	$P <, P <<$	PDOP
Alireaktanssi (magn. katoaminen)	21/40	$X <, X <<$	PDIS
Vinokuorma	46	$I_2 >$	PTOC
Ylikuorma	49	$T >$	PTTR
Ylitaajuus	81H	$f > / f >>$	PTOF
Alitaajuus	81L	$f < / f <<$	PTUF
Alimagnetointi	40	$Q <$	PDIS
Roottorin maasulku	64R	$R <$	PRTR
Alijännite	27	$U <$	PTUV
Erovirta	87	ΔI	PDIF

Kuvassa 20 näkyy Schneider Electric Oy:n VAMP 210 -suojareleen esimerkki toiminta-periaate.

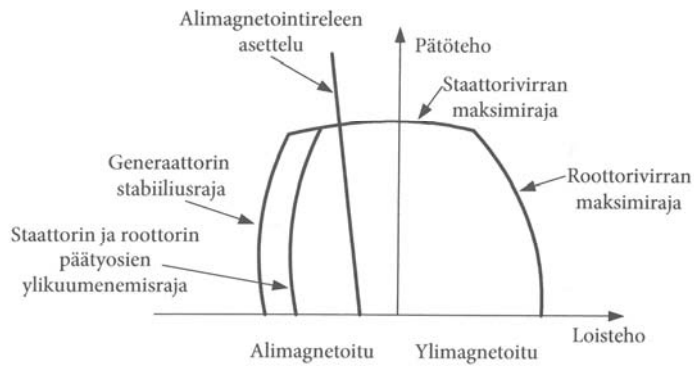


Kuva 20. VAMP 210 -suojareleen tyypillinen käyttöesimerkki (17).

Suojaus paranee merkittävästi näillä moderneilla suojareleillä ja kahdennuksella tuodaan lisää käyttövarmuutta.

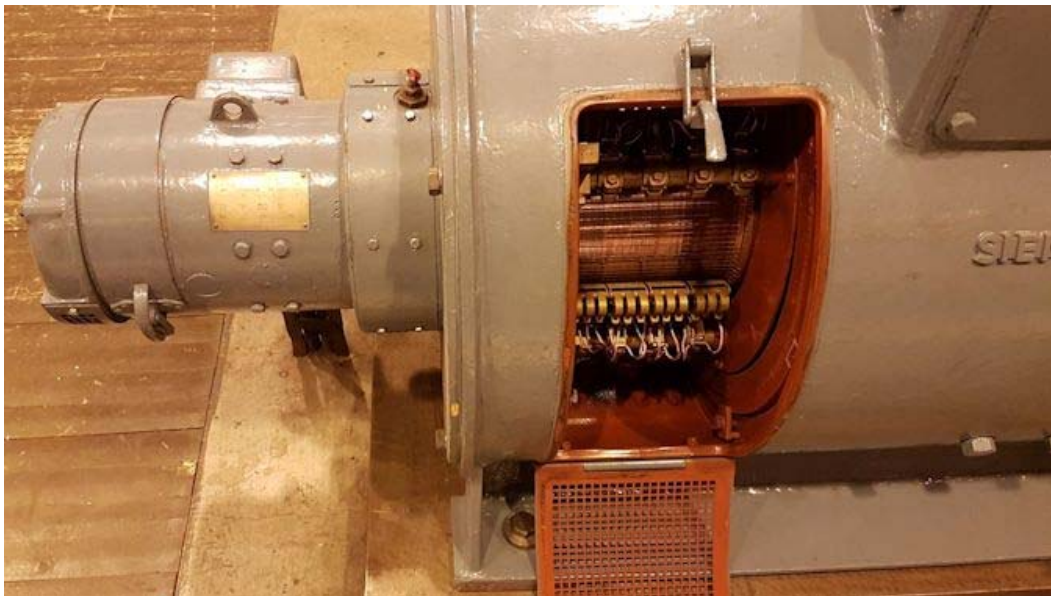
5.3 Magnetointi

Tahtikoneen toimintaa ohjataan magnetoinnilla, ja se määrää loistehon määrän. Yli-magnetointitilanteessa generaattori tuottaa induktiivista loistehoa ja alimagnetoituna tuottaa kapasitiivista loistehoa. Toisin sanoen magnetointi vaikuttaa generaattorin staattorivirran ja -jännitteen väliseen vaihekulman säätöön. Päätötehon suuruuden määrittelee ainoastaan voimakone. (18, s. 97.) Kuvassa 21 nähdään PQ-diagrammi, josta on luetta-vissa rajat loistehon suurimmalle tuotannolle ja kulutukselle (19, s. 375).



Kuva 21. Tahtigeneraattorin PQ-diagrammi (19, s. 376).

Magnetointi toteutetaan Siemens-Schuckert 6 kV:n generaattorin akselilla olevalla kahdella peräkkäisellä harjallisella magnetointiyksiköllä, kuten kuvassa 22 nähdään. Ensin magnetoidaan apuherätinkone, joka puolestaan magnetoi herätinkoneen. Varsinainen herätinkone magnetoi lopuksi generaattorin.



Kuva 22. Apuherätinkone ja herätinkone, jossa hiiliharjat näkyvissä.

Uusinnan jälkeen magnetointi on tarkoitus toteuttaa staattisella magnetoinnilla kahdennettuna ABB:n Unitrol 1010 -automaattisella jännitteen säätäjällä (AVR). Laite on varustettu kehittyneellä mikroprosessoriteknikalla, IGBT-transistoreilla sekä monipuolisilla kommunikointi liitännöillä. ABB Unitrol 1010 -yksiköllä voidaan generaattoria ohjata jännitteen säädön lisäksi tehokertoimen tai loistehon mukaan (20).

Magnetointilaitteet sijoitetaan samaan laitekaappiin suojausreiden kanssa. Kun generaattorin jännitteensäätö uusitaan, mittauspöytäkirjat tulee toimittaa Fingridille VJV2013 (voimalaitosten järjestelmätekniiset vaatimukset) -ohjeiston mukaisesti.

5.4 Tahdistus

Generaattori tulee tahdistaa sähköverkkoon oikea-aikaisesti, jotta häiriötä verkkoon eikä laiterikkoja tapahtuisi. Tahdistuksessa säädetään generaattorin taajuus ja jännite samaksi kuin verkon, johon ollaan generaattoria tahdistamassa, jonka jälkeen ohjataan generaattorikatkaisija kiinni vaihekulmien ollessa likimain samat.

Siemens-Schuckert 6 kV:n generaattorin tahdistus verkkoon hoidetaan tällä hetkellä manuaalisesti. Kuvassa 23 näkyy nykyiset tahdistuksen synkroskoopin käyttökytkimet ja tahdistinimpulssin antonapit.



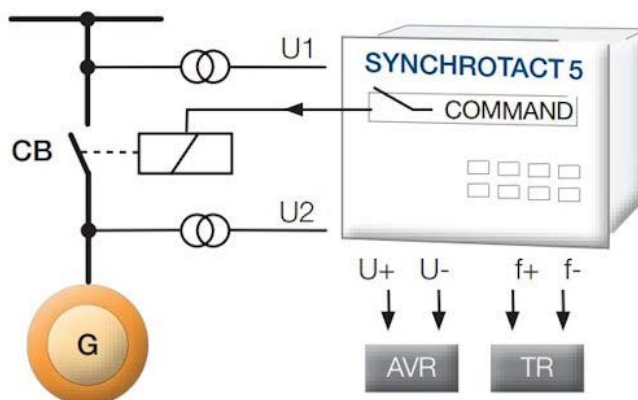
Kuva 23. Magnetoinnin ja tahdistuksen käyttötaulu.

Kuvassa 24 on nykyinen jännitemittari, taajuusmittari ja synkroskooppi, joiden avulla nähdään verkkoon kytkeytymiskohta. Kun generaattorin arvot ovat tarpeeksi lähellä verkon lukemia, voidaan antaa tahdistusimpulssi kuvan 23 painonapilla.



Kuva 24. Käytössä oleva tahdistuksen synkroskooppi ja taajuusmittaristo.

Tahdistus tehdään uusinnan jälkeen ABB Synchrotact 5201 -laitteella ja tahdistuksenvalvonta ABB Synchrotact 5100 -tahdistuksenvalvojalla. Molemmat kuuluvat ABB Synchrotact 5 -laiteperheeseen ja kuvasta 25 nähdään tahdistimen toimintaperiaate.



Kuva 25. Tahdistus tehdään uusinnan jälkeen Synchrotact 5201 -laitteella (21).

Tahdistuslaitteet sijoitetaan samaan laitekaappiin suojaus- ja magnetointilaitteiden kanssa.

5.5 Liitännät muihin järjestelmiin

Tietoliikennetekniikan kehittymisen myötä myös sähköverkkojen tiedonsiirrossa on siirtynyt digitaalitekniikkaan. Suojaustoimintoihin liittyvä tieto on kaikkein kriittisintä informaatiota sähköverkkojen tietoliikennejärjestelmissä. Sarjaväylät ja kaukokäyttöyhteydet ovat edelleen monesti käytössä, ja yhteyksien tiedonsiirtoprotokollat on määritelty IEC-standardissa 60870. (22, s.391.) Kansainvälisten standardien puuttuminen vaikutti pitkään siihen, että tietoliikennetkaisuissa oli sidottu yhden laitevalmistajan ratkaisuihin (22, s.390). Standardi IEC 60851 on kuitenkin parantanut tilannetta valmistajien välillä (23). Kuitenkaan standardin mukainen laitteiden hyödyntäminen ei takaa, että valmistajien väliset laitteet kommunikoisivat ongelmitta (22, s. 391).

Voimalaitosautomaatio perustuu Hovinsaaren voimalaitoksella pääosin Valmet Automation Oy:n DNA DCS (Distributed Control System) -pohjaiseen eli hajautettuun automaatiojärjestelmään eikä SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition System) -pohjaiseen järjestelmään. Generaattorin apujärjestelmien uusinnassa kaikki signaalit langoitetaan sähköisesti suoraan Valmet DNA DCS I/O -kaapeille. Releistä informaatiotieto viedään kahdennetulla Profibus-väylällä järjestelmän prosessiasemille, kaikki ohjaussanommat välitetään I/O-liitännöistä digitaalisina viesteinä ohjaaville releille. Väylän vikaantuminen ei täten estä ohjaussignaaleiden toimintaa.

6 Höryturbiinin modernisointi

Voimanlähteenä oleva höryturbiini ei kierrosnopeuden lisäksi ole automaatiosta ohjattavissa ja on mielekästä teettää sille modernisointi samassa yhteydessä. Tämä uusinta ei kuulu tämän opinnäytetyön selvityksen piiriin, mutta käydään tässä lyhyesti läpi, koska myös turbiinin kunto ja modernisoinnin tarve vaikuttaa koko uusintahankkeen toteutukseen.

Höryturbiini on saatava Valmet DNA DCS -järjestelmän ohjattavaksi. Nykyiset turbiinin säädöt rajoittuvat höryventtiilin ohjaamiseen eli kierrosnopeuden säätöön ja vastapainesäätöön. Tavoite olisi saada säätö-öljy- ja voiteluöljykierto omiksi järjestelmikseen. Lisäksi koko hydraulikkajärjestelmä vaatii uusinnan sekä vuotava öljysäiliö on vaihdettava.

Siemens -höryturbiinin järjestelmät käytiin 28.09.2016 Valmet Automationin Oy:n turbiiniasiantuntijan kanssa kenttäkierroksin läpi ja tutkittiin niihin liittyvät paperidokumentit. Voimalaitoksen käyttöhenkilöstö raportoi kenttäkierrosten yhteydessä, että höryturbiinia ei pystytä ajamaan täysillä kierroksilla, koska turbiini alkaa ravistamaan. Valmet Automation Oy jätti turbiiniautomaation uusinnasta ja öljy- ja hydraulikkajärjestelmien uusinnasta budjettitarjouksen 10.10.2016.

Höryturbiinin kuntokartoitus on tarkoitus tehdä keväällä 2017. Tarkistusta on valmisteltava siten, että tiedetään, mitkä osa-alueet pystytään selvittämään turbiinia avaamattain. endoskooppitutkimuksella.

7 Generaattorin kunnonselvitys

Koko modernisoinnin kannattavuuteen vaikuttaa suuresti generaattorin kunto. Jos kes-
kijännitekojeisto ja yläjännitepuolen blokkimuuntaja uusitaan, tulisi myös generaattori
olla kunnossa. Edellinen kuntotarkistus laitteelle on tehty vuonna 2004, jolloin generaat-
tori on purettu, otettu roottori ulos staattorista ja huollettu (24). Koska huollosta on pitkä
aika, päätettiin tilata mahdollisimman kattava kuntokartoitus, jonka voi tehdä generaat-
toria purkamatta.

Generaattorin kuntotarkastuksia tarjoaa useampi yritys, mutta päätettiin tilata tarkastus
ABB Oy:ltä, joka markkinoi omaa kattavaa ABB LEAP (Life Expectancy Analysis Prog-
ram) -analyysiä, joka tarkoitettu suurjännitteisten sähkökoneiden staattorikäämityksen
eristysrakenteen kunnan määrittämiseen (25).

7.1 LEAP-analyysi

ABB Oy:n LEAP -analyysi jakaantuu kahteen osaan, paikalla tehtäviin mittauksiin ja tie-
donkeruuseen sekä laboratorioanalyysiin. Varsinaiset mittaukset sisältävät:

DC-mittaukset (pintaosat)

- Varaus- ja purkausvirran analyysi (PDCA)
 - o Määritellään varauksen kuljettajien sijainti käämityksessä.
 - o Havaitaan käämityksen likaantuminen.
 - o Saadaan tietoa eristysrakenteen kunnosta, kuten vanhenemisesta ja löy-
syydestä.
- Varaus- ja purkausvirran analyysi (PDCA)

AC-mittaukset (eristeen sisäosat)

- Tan delta- ja kapasitanssianalyysi, osittaispurkausanalyysi ja eristysrakenteen epälineaarisen vasteen analyysi antavat kuntotietoa seuraavista asioista:
 - o puolijohtavasta tasauskerroksesta
 - o hohtosuojauksesta
 - o eristerakenteen delaminoitumisesta
 - o käämityksestä
 - o ilmatilojen suhteellisesta määrästä, joista seuraa osittaispurkauksia
 - o ikääntymisestä.

Varsinainen analyysiraportti kertoo osa-alueiden tulokset auki purettuna sekä generaattorin jäljellä olevan eliniän 80 %:n luotettavuudella. Arvio perustuu analyysin tuloksiin, luovutettuun huoltohistoriatietoon ja tilastolliseen aineistoon. Raportista selviää myös suositellut toimenpiteet. (26.)

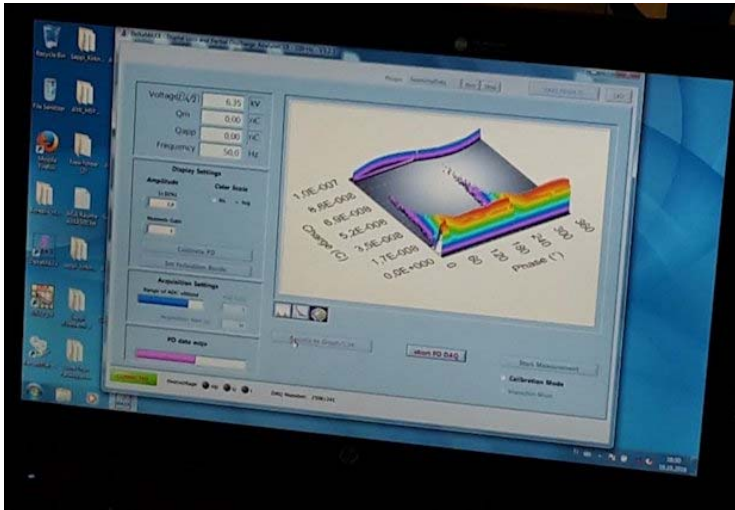
7.2 LEAP-mittaus

Generaattorin LEAP-mittaus suoritettiin 18.10.2016. Mittaukset tehtiin kuvan 26 generaattorin tähtipisteen kautta.



Kuva 26. Siemens-Schuckert -generaattorin tähtipiste tasolla +3,4 m.

Mittauksissa syötettiin jännitettä ABB Oy:n LEAP-mittausta varten valmistamalla jännitteen syöttölaitteilla, riippuen mitattavasta testistä, vaiheittain ja kolmivaiheisesti nollassa 6,3 kV:iin saakka. Mittaukset tehtiin tasa- ja vaihtojännitteellä. Mittauksen rekisteröivä tietokone, kuten kuvassa 27 nähdään, tallensi samalla käämityksen sähkövarauksen varautumis- ja purkautumisaikoja.



Kuva 27. LEAP-mittauksia rekisteröivä tietokone ja DeltaMAXX v3.2.1 -ohjelmisto.

Jo mittauksen aikana kävi selväksi, että generaattorin käämitys on huonossa kunnossa. Testien suorittamisesta häirtäsi osittain käytetty syöttävä työmaakeskus, jonka sähkön laatu oli huono ja verkon häiriöt vaikeuttivat mittauksia. Mittauksiin valmistautuminen, mittaukset ja generaattorin palautus toimintakuntoon, kestivät pitkän työpäivän verran noin 12 tuntia.

7.3 LEAP-analyysin tulokset

Raportti generaattorin kunnosta saatiin ABB Oy:ltä 19.12.2016 (27). Mittauksien ja analyysin yhteenveto ja suositukset olivat seuraavat:

Yhteenveto havainnoista:

- Eristysvastus ja polarisaatioindeksi ovat erittäin matalia. Tämä voi johtua kosteudesta tai johtavasta liasta (hiilipöly).

- Tilavuusvastusarvojen perusteella eristyksessä on halkeamia tai muita paikallisia vikakohtia, jotka aiheuttavat normaalia suurempia vuotovirtoja.
- Vyyhtien ura-alueen hohtosuojassa ei ole havaittavissa vaurioita.
- Vyyhtien uransuiden puolijohtavissa elektrodeissa on havaittavissa kulumista/vaurioita.
- Osittaispurkausanalyysi indikoi pääeristyksen delaminoitumisesta johtuvien purkausten olevan dominoivia. Myös pintapurkauksia ja vyyhdenpäiden vaiheveleissä esiintyviä purkauksia on havaittavissa.
- Purkautuva ontelotilavuus on normaalirajoissa (< 0.5 %).
- Eristys on erittäin pitkälle vanhentunut, ja käämityksen vaurioitumisriski on korkea.

Suosituksset:

- Eristys on hyvin pitkälle vanhentunut, eikä sille kannata enää suunnitella huolto-toimenpiteitä koska eristys on kulumassa sisältäpäin.
- Generaattori on suositeltavaa käämiä uudelleen tai uusia kokonaan vuoden kuluessa.

Käytännössä raportin lopputulos tarkoittaa sitä, että jos 6 kV:n jännitetasoa halutaan voimalaitoksessa hyödyntää, tulisi generaattori uusia kokonaan.

8 Yhteenveto

Modernisointiprojektin selvitystyö oli monin paikoin haastava, mutta samalla erittäin opettavainen. Ymmärrys kasvoi, kun tajusi, mikä liittyy mihin asiaan. Sain myös onnistumisen tunteita, kun esimerkiksi löysin kadoksissa olleet keskijännitekaapelireiitit.

Solmin ammatillisia kontakteja selvitystyön aikana ja verkostoiduin usean sähkövoimatekniikan ammattilaisen kanssa. Osallistuminen generaattorin elinkaarianalyysin tekemiseen oli yksi projektin mieleenpainuvimpia yksityiskohtia.

Haastavaa selvitystyössä oli se, että dokumentaatiosta valtaosa oli 1960-luvun alun keltaistuneita papereita eikä kaikista teknisistä yksityiskohdista ollut tietoa. Syksyllä 2016 voimalaitoksen ABB GBA 1120 SG 10,5 kV:n generaattorille tehty suojauksen, tahdistuksen ja magnetoinnin modernisointiprojekti auttoi ymmärtämään tämän 6,3 kV:n generaattorin selvitystyön asioita. Kun tavoite oli käyttää vastaavia laitteita tässäkin uusinta-projektissa, pääsin tutustumaan komponentteihin käytännössä.

Tarvittavat muutokset voimalaitoksen 6 kV:n järjestelmään ovat laajat. Modernisoimalla saatava lisätila ja pienjännitelähtökapasiteetin lisäys olisi tarpeellinen, mutta uusimisen kustannus nousee korkeaksi. Kun otetaan huomioon uudet muuntajat, uusi 6 kV:n kojeisto, IV- ja rakennustekniset työt, generaattorin ja turbiinin modernisointityöt, nousee kustannus yli 800 000 euron. Uusinnan pilkkominen useaan pienempään osaan ei tunnu järkevälle ja todennäköisesti edelleen nostaisi kustannuksia.

Lisäksi, kun generaattorin käämityksen heikko kunto selvisi, on näin suureen uusintaan panostaminen arveluttavaa. Modernisoinnin takaisinmaksuaika on pitkä, koska generaattoria on käytetty pääasiassa talven lämmityskaudella, jolloin sähkönjakeluverkon haltijalla on korotetun tariffin kausi. 6 kV:n generaattorilla on estetty, että päätuotantokoneen, 10,5 kV:n generaattorin häiriöissä ei jouduta ottamaan tehoa verkosta.

Lopputuloksena suosittelisin, että Kotkan Energialle perustetaan työryhmä, joka selvittää 6 kV:n jännitetasosta luopumista.

Lähteet

- 1 Kotkan Energia Oy kotisivut. 2016. <<http://www.kotkanenergia.fi/fi/hovinsaaren-voimalaitos>>. Luettu 11.11.2016.
- 2 Elovaara, Jarmo; Laiho, Yrjö. 1999. Sähkölaitostekniikan perusteet. Helsinki: Ota-tieto.
- 3 Kotkan Energia Oy kotisivut. 2016. <<http://www.kotkanenergia.fi/fi/historia>>. Luettu 29.11.2016.
- 4 KKS-sovellutusohje. Roponen Antti, SST-asiantuntija, Kotkan Energia Oy, Kotka, ohjeistus. 17.11.2016.
- 5 Hakkarainen, Tuomo. 2016. Suunnittelupäällikkö, Kymenlaakson Sähköverkko Oy, Elimäki. Sähköpostiviesti 08.06.2016.
- 6 Korhonen, Timo. 2016. Sales Engineer, ABB Oy, Lappeenranta. Sähköpostiviesti 15.06.2016.
- 7 ABB Sähkönjakelun RoadShow. 2016. Sunilantie 1, Kotka. Esittelytilaisuus. 29.09.2016.
- 8 Lepistö, Petri. 2016. Sales Manager, VEO Oy, Vaasa. Sähköpostiviesti 13.09.2016.
- 9 Arte, Anders. 2016. Sales Manager, Multirel Oy, Espoo. Sähköpostiviesti 06.06.2016.
- 10 Näveri, Einari. 2016. Energy Management, Siemens Oy, Espoo. Sähköpostiviesti 06.06.2016.
- 11 ÄF-Consult Oy, Olli Kara. 2015. Kotkan Energia Oy, Hovinsaaren voimalaitos, Vi-kavirtalaskenta ja suojausten tarkastelu –raportti. 19.05.2015.
- 12 Arte, Anders. 2016. Sales Manager, Multirel Oy, Espoo. Sähköpostiviesti 10.10.2016.
- 13 Siemens SIPROTEC Multifunctional Machine Protection 7UM62. 2010. <https://www.downloads.siemens.com/download-center/Download.aspx?pos=download&fct=getasset&id1=DLA06_1595>. Luettu 11.01.2017.

- 14 ABB Numerical Generator Protection. 2005. <https://library.e.abb.com/public/949b4a92885343e4c12570ab0032edf9/1MRB520004-BEN_A_en_Numerical_Generator_Protection_REG216___REG216_Classic.pdf>. Luettu 09.01.2017.
- 15 Generator protection functions. 2016. <<https://www.svri.nl/en/ansi-iec-protection-functions-for-generators/>>. Luettu 09.01.2017.
- 16 VAMP 210 Leaflet. 2014. < <https://m.vamp.fi/dmsdocument/257>>. Luettu 12.01.2017.
- 17 VAMP 210 User Manual. 2016. < <https://m.vamp.fi/dmsdocument/14>>. Luettu 13.01.2017.
- 18 Hietalahti, Lauri. 2011. Muuntajat ja sähkökoneet. Tampere: Tammertekniikka.
- 19 Elovaara, Jarmo; Haarla, Liisa. 2011. Sähköverkot I. Helsinki: Otatiето.
- 20 UNITROL® 1000 Compact and powerful Automatic voltage regulators. 2013. < https://library.e.abb.com/public/767e4cdd90664ee3c1257b4f0028a64d/3BHS353843_E01_B_O.pdf>. Luettu 20.01.2017.
- 21 SYNCHROTECT® 5. 2010. < https://library.e.abb.com/public/a2ad39074d00eaafc125775e0050dae6/3BHT490301_E01_C_O.pdf >. Luettu 21.01.2017.
- 22 Elovaara, Jarmo; Haarla, Liisa. 2011. Sähköverkot II. Helsinki: Otatiето.
- 23 IEC 61850 Edition 2 Communication Protocol Manual. 2014 < https://library.e.abb.com/public/d12b928653b5c627c1257d940039f26a/1MRK511303-UEN_-_en_Communication_protocol_manual__IEC_61850_Edition_2__670_series_2.0__IEC.pdf >. Luettu 23.01.2017.
- 24 Kaakon Sähkökone Oy. Korjausraportti. 21.10.2004. Lappeenranta.
- 25 Karjalainen, Lasse. 2016. ABB Service, ABB Oy, Voikkaa. Sähköpostiviesti 06.07.2016.
- 26 LEAP Standard-analyysi suurjännitteisten moottoreiden ja generaattoreiden staattorikäymityksille. 2012. < https://library.e.abb.com/public/f79d390d33d09d0ac12579b10054bdc2/Case%20Note%20Standardianalyysi%20LEAP%20low%20res_2.pdf >. Luettu 24.01.2017.
- 27 Monthan, Jarkko. 2016. ABB Motors and Generators Service, ABB Oy, Voikkaa. Sähköpostiviesti 19.12.2016.

Projektin alustava aikataulusuunnitelma

