

samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

ROOPE RANTALAINEN

Vesivoimalaitoksen käyttöönottokokeet

SÄHKÖ JA AUTOMAATION TUTKINTO-OHJELMA
2024

TIIVISTELMÄ

Rantalainen, Roope: Vesivoimalaitoksen käyttöönottokokeet, Harjavallan vesivoimalaitos

Opinnäytetyö, AMK

Sähkö ja automaation tutkinto-ohjelma

Toukokuu 2024

Sivumäärä: 36

Työn tavoitteen oli selvittää mitä vesivoimakoneen käyttöönottokokeet pitävät sisällään ja mitä vaatimuksia kantaverkkoon liityttäessä vaaditaan. Opinnäytetyö antaa yleisperhdytyksen käyttöönottokokeista tuleville ja jo olemassa oleville vesivoiman osaajille.

Työssä käytiin läpi voimalaitosten järjestelmätekniisiä vaatimuksia soveltavaa ohjetta ja Harjavallan vesivoimalaitoksella olevista käyttöönottomateriaaleista vuosien 2015–2017 revision ajalta. Käyttöönottomateriaaleja tutkittiin turpiin-toimittajan, generaattoritoimittajan ja sähkö- ja automaatiotoimittajan materiaaleja.

Aihealueen laajuuden takia, tutkimusta rajattiin käsittelemään vain käyttöönottovaiheessa tehtäviä kokeita. Asennustarkastukset ja muut oheistyöt on jätetty käsittelemättä tässä opinnäytetyössä.

Työn tulokseksi saatiin hyvä paketti vesivoiman käyttöönottokokeista vesivoimalaitoksilla. Työ tarjoaa teoreettisen näkökulman käyttöönotosta ja käytännön vinkkejä kokeiden tekemiseen vesivoimalaitoksella.

Asiasanat: käyttöönottokokeet, vesivoima.

ABSTRACT

Rantalainen, Roope: Commissioning tests of the hydropower plant, Harjavalta hydropower plant

Bachelor's thesis

Electrical and automation engineering degree programme

May 2024

Number of pages: 36

The goal of the work was to find out what the commissioning tests of a hydroelectric machine include and what requirements are required when connecting to the main grid. The thesis gives for new ones and existing hydropower workers a general introduction to the commissioning tests.

The work went through the guidelines applying to grid code specifications for power generating facilities and the commissioning materials at the Harjavalta hydropower plant from the revision between 2015–2017 years. Commissioning materials were examined from the turbine supplier, the generator supplier and the electricity and automation supplier.

Due to the scope of the subject area, the research was limited to dealing only with the experiments performed in the commissioning phase. Installation inspections and other side jobs have been left untouched in this thesis.

The result of the work was a good package of hydropower commissioning tests at hydropower plants. The work offers a theoretical perspective on commissioning and practical tips for conducting experiments at a hydropower plant.

Key words: commissioning tests, hydropower.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 TYÖN TOIMEKSIANTAJA	7
3 HARJAVALLAN VESIVOIMALAITOS	8
3.1 Rakennus ja koskiosuus	9
4 VESIVOIMAKONEEN TURVALLISTAMINEN	9
5 VOIMALAITOSTEN JÄRJESTELMÄTEKNISET VAATIMUKSET	10
5.1 Johdanto ja soveltamisala	11
5.1.1 Erityistarkasteluvaatimukset	12
5.2 Käyttöönottokokeissa todennettavat toiminnot	13
5.2.1 Taajuussäätö-ylitaajuustoimintatila	13
5.2.2 Taajuussäätö-alitaajuustoimintatila	13
5.2.3 Taajuussäädön ja pätötehon muutosnopeus häiriötilassa	13
5.2.4 Pätötehon muutosnopeus	14
5.2.5 Siirtyminen omakäytölle	14
5.2.6 Jännitteensäädön askelvastekoe tyhjäkäynnillä	15
5.2.7 Kanavanvaihdon testaus	16
5.2.8 Jännitteensäädön kokeet sähköverkkoon kytkettyneenä	16
5.2.9 Jännitteensäädön toiminnan rajoittimet ja suojaukset	17
5.2.10 Loistehokapasiteettikoe ja pätötehon rajoittaminen	18
5.2.11 Lähivikakestoisuus	19
5.2.12 Kaukokäytön ohjaukset	20
6 KOEKÄYTTÖOHJELMAN TEHTÄVÄLISTASTA	20
7 KÄYTTÖÖNOTTO-OHJELMAN KESKEISIMMÄT TESTAUKSET	22
7.1 Ryntäysvarolaitteiden testaus	22
7.2 JOP ja JUP mittauksen vaihto viassa	23
7.3 Jäähdytys	24
7.4 Jarrutusjärjestelmä	25
7.5 Voiteluöljyjärjestelmä	26
7.6 Korkeapainevoitelu	27
7.7 Relesuojien ensiökokeet	29
7.8 Laakeriajo	30
7.9 Lämpöajo	30
7.10 Pikasulku-, poislyönti-, ja hätäseiskokeet	30
7.11 Tuotannollinen koekäyttö	31
8 YHTEENVETO	32
LÄHTEET	34
LIITE 1	35
LIITE 2	36

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

°	Aste
bar	Baari
C	Celsius
ELY	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus
G1	Generaattori 1
G2	Generaattori 2
G3	Generaattori 3
GWh	Gigawattitunti
JOP	Johtopyörä
JUP	Juoksupyörä
kpl	Kappale
rpm	Kierrosta minuutissa
kV	Kilovoltti
kVA	Kilovolttiampeeri
kW	Kilowatti
m ³ /s	Kuutiometriä sekunnissa
Mvar	Megavari
MW	Megawatti
±	Plus-miinus merkki
%	Prosentti
f/l	Taajuuden muuntamiseen virraksi tai jännitteeksi
t	Tuhat kilogrammaa
P _{max}	Voimalaitoksen mitoitusteho
VJV	Voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset

1 JOHDANTO

Suomessa vesivoiman tuotanto on tärkeässä roolissa kantaverkon ylläpidossa. Se tuottaa arvokasta säätösähköä markkinoille jolla tuotetaan muita energian muotoja, jotka eivät pysty nopeisiin tehomuutoksiin esim. ydinvoima ja tuulivoima. Nämä koneet tulevat ajan myötä elinkaarensa päähän ja niiden revisio tulee ajankohtaiseksi.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kertoa vesivoiman revision käyttöönottokokeista ja vesivoimankoneen turvallistamisesta käyttö- ja kunnossapidon näkökulmasta. Työn pohjaksi on otettu Länsi-Suomen Voima Oy:n Harjavallan vesivoimalaitoksen Satakymppi projekti. Tuolloin rakennettiin kolmas kone vuosina 2015–2016 ja revisioitiin kaksi vanhaa konetta vuosina 2016–2017. Itse allekirjoittanut on ollut aikanaan projektissa mukana käyttö- ja kunnossapidossa, sekä käyttöönottokokeissa.

Vesivoimakoneen käyttöönottoon liittyy monia kokeita, joista jokainen täytyy läpäistä. Erityisesti Fingridin vaatimukset ovat aika tiukat, koska konetta ollaan tarjoamassa säätömarkkinoille. On myös olemassa testejä, jotka ovat ajansaatossa muovautuneet käytännöntavoiksi vesivoimankoneiden käyttöönotoissa. Tämä johtuu pitkälti siitä, ettei vesivoimalla ole ollut mitään standardia, joka ohjaisi tiettyyn kaavamaisuuteen käyttöönotossa. Vaatimukset ovat olleet lähinnä asiakkaan vaatimia asioita toimittajille, pois lukien VJV vaatimukset.

Työssä käytettiin lähteenä toimittajien käyttöönottomateriaalia, joista poimittiin olennaiset asiat opinnäytetyöhön. Tämän lisäksi käytössä oli Fingridin ”Voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset VJV2024” pdf materiaali, jossa kerrotaan tarkasti tahtivoimakoneen vaatimuksista liityttäessä kantaverkkoon. Materiaalin tukena oli myös oma henkilökohtainen päiväkirja revision ajalta. Työssä on noudatettu Satakunnan ammattikorkeakoulun eettisiä ohjeita. Materiaalit jotka eivät ole olleet julkisessa jakelussa, on omistajalta kysytty lupa niiden käytöstä. Tutkimuksissa erinäisten toimittajien liikesalaisuuksia tai ns. ”Know-how” tietoa ei ole tässä opinnäytetyössä jaettu.

2 TYÖN TOIMEKSIANTAJA

Työn toimeksiantajana toimi Caverion Industria Oy. Nykyisin Assemblin Caverion Group, joka muodostettiin huhtikuussa 2024 Assemblinin ja Caverionin yhdistyttyä Pohjois-Euroopan johtavaksi konserniksi teknisissä palveluissa ja asennuksissa. Työntekijöitä on melkein 22 000 henkilöä ja yli 216 toimipistettä 10 eri maassa (kuva 1). Liikevaihtoa on yhteensä noin 3,8 miljardia euroa.

Assemblin Caverion Group palvelee teollisuusasiakkaiden tuotantotehokkuutta, käyttövarmuutta ja kunnossapidon prosesseja. Yritys suunnittelee, asentaa, ylläpitää ja huoltaa kiinteistöjen teknisiä järjestelmiä käyttäjien tarpeet huomioiden ja hyödyntäen moderneja digitaalisia ratkaisuja.

Teollisuuden haara johon opinnäytetyö tehtiin toimii vesivoimalaitosten käyttö- ja kunnossapidossa. Tähän toimintaa kuuluu myös erinäisten projektien kilpailutus ja aliurakoitsijoiden valvontaa. Assemblin Caverion Group vastaa yli 40 vesivoiman käyttö- ja kunnossapidosta Suomessa. (Assemblin Caverion Group Oy, 2024.)



Kuva 1. Caverionin toimipisteet Euroopassa.

3 HARJAVALLAN VESIVOIMALAITOS

Vesivoimalaitos tuottaa sähköä kolmen vesiturbiinin avulla (kuva 2), joilla on yhteensä 102 MW teho. Laitos koostuu kahdesta 40 MW ja yhdestä 22 MW vesivoimakoneesta (taulukko 1). Ensimmäiset kaksi otettiin käyttöön vuonna 1939-1940 ja pienempi rakennettiin vuonna 2016. Kaikki kolme turbiinia ovat Kaplan-tyyppisiä turbiineita, jotka on toimittanut Andritz Hydro Oy. Ne käyttävät voimanlähteenään kolmea GE Renewable Energy Oy:n valmistamia generaattoreita. Laitoksen vuotuinen energiantuotanto on noin 430 GWh.

Taulukko 1. Harjavallan vesivoimalaitoksen koneiden teknisiä tietoja 5.5.2024

<u>Tekniset tiedot</u>	<u>G1/G2</u>	<u>G3</u>
Nimellisteho:	53 MVA	25 MVA
Roottorin kokonaispaino	193 t	110 t
Roottorin napojen lukumäärä:	18 kpl	32 kpl
Nimellispyörintänopeus	150 rpm	187,5 rpm
Turbiinin paino:	34,6 t	15,7 t



Kuva 2. Harjavallan vesivoimalaitoksen koneet.

3.1 Rakennus ja koskiosuus

Harjavallan vesivoimalaitoksella on 26,5 metrin putouskorkeus, ja sen suunniteltu virtaama on 360 m³/s, kun taas keskimääräinen virtaama on 230 m³/s. Tavanomainen kevättulva on 500 m³/s ja suurin mitattu virtaama voimalan rakentamisen jälkeen on ollut 918 m³/s vuonna 1966. Laitoksen käyttö sisältää päivittäisen ja viikoittaisen vedenkorkeuden säätelyn. Päivittäinen virtauksen muutos voi olla jopa 300 m³/s, ja toisinaan veden virtaus on pysäytetty kokonaan. Tämä vaatii ELY:ltä poikkeusluvan, koska laitoksen minimivirtausvaade on 40 m³/s (Etelä-Suomen aluehallintovirasto, 2013, s. 19). Virtaaman vuotuisissa mittauksissa havaitaan merkittäviä vaihteluita. Laitoksen alajuoksun vedenkorkeus vaihtelee vuoden aikana 3-3,5 metrin verran. Tällä alueella päivittäinen vedenpinnan muutos on 1,5-2 metriä ja viikkovaihtelun muutos noin kaksi metriä.

Kokemäenjoen vapaana virtaava joki osuus sijaitsee Harjavallan voimalaitoksen alapuolella, jonka pituus on noin 36 kilometrin. Alueella virtaa kaksi kivi-pohjaista koskea, Ruskilankoski ja Arantilankoski, joiden yhteinen pudotuskorkeus on 1,5 metriä. Harjavallan voimalaitoksen ja Ulvilan välisellä osuudella joen rannat ovat useassa kohdassa erittäin jyrkät. Porin alueella Kokemäenjoki jakautuu neljäksi rinnakkaiseksi haaraksi, jotka yhdistyvät jälleen ennen joen suistoa. (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. 2024.)

4 VESIVOIMAKONEEN TURVALLISTAMINEN

Työt aloitetaan koneen pysäyttämällä. Koneen pysähtyttyä, vesiteiden tyhjennys alkaa tuloputkenluukkujen alas laskulla, jolla suljetaan yläveden tulo vesiteihin. Luukkujen sulkeuduttua vesiteiden pinta laskee alaveden tasolle, elleivät luukut jää vuotamaan. Tällöin luukkujen tiivisteet joudutaan tilkitsemään sukeltamalla. Veden tasotuttua alaveden kanssa lasketaan imuputken

luukku. Nyt olemme siinä tilanteessa, että vesitiet on suljettu ylä- ja alaveden puolelta, eikä jokivesi virtaa enää vesiteihin.

Vesiteiden tyhjennyksessä avataan tuloputken ja imuputken välinen venttiili, jolloin spiraaliin jäänyt vesi laskeutuu imuputkeen. Tämän jälkeen vesitiet pumpataan tyhjäksi vedestä. Pumppauksen jälkeen vesiteihin on turvallista mennä. Vesiteiden sulku on saatu toteutettua ja koneen pyöriminen veden voimin ei ole enää mahdollista.

Kone erotetaan sähköverkosta erottimilla ja generaattori maadoitetaan maadoituserottimella tai maadoitusköysillä. Generaattori on turvallistettu ja erotettu sähköverkosta. Prosessilaitteet erotetaan sähköverkosta avaamalla turvakytkimet, sekä suljetaan jäähdytysveden tuloventtiili. Säättö-öljykoneikko tyhjenetään paineesta, jolloin juoksu- ja johtopyörää ei voi enää ohjata.

Kaikkiin turvakytkimiin ja venttiileihin joissa erotus on tehty, lisätään henkilökohtainen lukko ja kieltokilpi lukonhaltijan nimellä. Näin ollen vesivoimakone on turvallistettu ja voidaan luovuttaa esim. projektitiimin haltuun. Kun kone otetaan takaisin käyttöön, sama kaava toistetaan päinvastaisessa järjestyksessä.

5 VOIMALAITOSTEN JÄRJESTELMÄTEKNISET VAATIMUKSET

Fingrid:in voimalaitosten järjestelmätekniiset vaatimukset (VJV2024) ohjeessa määrätään voimalaitosten järjestelmätekniiset vaatimukset. Se käsittelee kattavasti Suomen sähköjärjestelmään liitettäville voimalaitoksille asetettuja teknisiä vaatimuksia, joita Fingrid Oyj määrittää sille osoitetun järjestelmävastuun perusteella. Asiakirja sisältää monitahoisia ohjeita ja määräyksiä, jotka kattavat erilaisten voimalaitosten, kuten tahtikone- ja suuntaajakytkettyjen voimalaitosten, järjestelmätekniiset ominaisuudet, vaatimusten todentamisprosessit, dokumentointivaatimukset sekä vaatimusten jatkuvan seurannan.

5.1 Johdanto ja soveltamisala

VJV testien päämääränä on luoda yhdenmukaiset ja oikeudenmukaiset toimintaedellytykset eurooppalaisille sähkön sisämarkkinoille, taata sähköverkon luotettavuus ja käyttö, sekä määritellä yhtenäiset vaatimukset verkkoon liittymiselle. Tämän kautta pyritään varmistamaan, että kaikki markkinatoimijat voivat toimia tasavertaisesti ja, että sähköverkko on vakaa ja kestävä.

Painottaen eurooppalaisen verkkosäännön vaikutusta sekä kansallisia lisäyksiä ja täsmennyksiä. Voimalaitosten on noudatettava näitä vaatimuksia kestääkseen sähköjärjestelmässä esiintyvät jännite- ja taajuusvaihtelut, tukeakseen sähköjärjestelmän toimintaa häiriötilanteissa, välttääkseen haitallisia vaikutuksia muille laitteille ja toimittakseen tarvittavat tiedot liittymispisteen verkonhaltijalle ja Fingridille.

Sähköjärjestelmään Suomessa kytkettävien tai kytkemistä suunnittelevien voimalaitosten on täytettävä tietyt järjestelmätekniset kriteerit, mikäli niiden suunniteltu teho ylittää 0,8 kW. Nämä kriteerit vaihtelevat sen perusteella, miten voimalaitos on yhdistetty sähköverkkoon, sen suunniteltu tehoon ja millä jännitetasolla se liittyy verkkoon.

Näihin vaatimuksiin kuuluvat uudet, sekä myös jo toiminnassa olevat voimalaitokset. Tämä koskee myös käytössä olevia voimalaitoksia silloin, kun niiden järjestelmätekniisiin ominaisuuksiin tehdään muutoksi.

Voimalaitoksen omistajan tai haltijan on varmistettava, että nämä vaatimukset täyttyvät silloin, kun laitoksen liittymissopimus allekirjoitetaan, ja että ne pysyvät voimassa jatkuvasti. Vaatimusten on oltava voimassa joko liittymispisteessä tai erikseen määritellyssä pisteessä, riippuen vaatimuksen luonteesta.

Standardit ja vaatimukset on jaettu eri kategorioihin voimalaitoksen tehon ja liittymispisteen jännitetason mukaan. Näiden kategorioiden määrittelyt löytyvät

taulukosta 2. Harjavalta vesivoimalaitoksen teho on yli 100 MW jolloin se kuuluu D-luokkaan. D-luokan vaatimusten todentamisprosessia kuvataan tarkemmin liitteessä 1. (Fingrid Oyj, 2024, s. 11–13.)

Taulukko 2. Voimalaitosten tyyppiluokittelu mitoitusasteen ja liittymispisteen jännitetason perusteella. 6.5.2024.

Tyyppi-luokka	Liittymispisteen jännitetaso	Ehto	Voimalaitoksen mitoitusaste P_{\max}
Tyyppi A	Liittymispisteen jännitetaso on alle 110 kV ¹	ja (*)	Voimalaitoksen mitoitusaste on vähintään 0,8 kW mutta alle 1 MW. ($0,8 \text{ kW} \leq P_{\max} < 1 \text{ MW}$)
Tyyppi B	Liittymispisteen jännitetaso on alle 110 kV ¹	ja (*)	Voimalaitoksen mitoitusaste on vähintään 1 MW mutta alle 10 MW. ($1 \text{ MW} \leq P_{\max} < 10 \text{ MW}$)
Tyyppi C	Liittymispisteen jännitetaso on alle 110 kV	ja (*)	Voimalaitoksen mitoitusaste on vähintään 10 MW mutta alle 30 MW. ($10 \text{ MW} \leq P_{\max} < 30 \text{ MW}$)
Tyyppi D	Liittymispisteen jännitetaso on vähintään 110 kV	tai (+)	Voimalaitoksen mitoitusaste on vähintään 30 MW. ($P_{\max} \geq 30 \text{ MW}$)

5.1.1 Erityistarkasteluvaatimukset

Ne voimalaitokset, jotka on luokiteltu tyyppiluokkaan D niin kuin Harjavallan vesivoimalaitos, on liittäjän velvollisuus hankkia Fingridiltä arvio voimalaitoksen tarvitsemista erityistarkasteluista jo laitoksen alkuvaiheen suunnittelussa. Tämän arvioinnin tarkoituksena on varmistaa, että kaikki verkkoon liittämisen vaatimukset täyttyvät, ja se on tehtävä ennen kuin solmitaan sopimukset voimalaitoksen liittymisestä verkkoon, sekä ennen laitoksen keskeisten osien ostosopimusten toteutusta.

Erityistarkastelun tarvetta arvioidaan ainakin seuraavan agendan osalta:

- tehoheilahtelujen vaimentuminen,
- geomagneettisesti indusoituvat virrat,
- alisykroninen vuorovaikutus,
- pieni liittymispisteen minimoikosulkuteho,
- suuntaajien vuorovaikutusilmiöt,
- sähkön laatu,

- tarve verkkosuojalle tai muulle suojausratkaisulle, ja
- tarve voimalaitoksen ulkopuolelta ohjatulle säätöratkaisulle.

(Fingrid Oyj, 2024, s. 15.)

5.2 Käyttöönottokokeissa todennettavat toiminnot

5.2.1 Taajuussäätö-ylitaajuustoimintatila

Kokeen tulee osoittaa voimalaitoksen tekninen valmius säädellä aktiivisesti tehon tuotantoa järjestelmän taajuuden merkittävässä muutoksissa, kuten taajuuden suureen nousussa. Kokeessa on todennettava säätöjen pysyvän tilan parametrit, kuten statiikka, ja dynaamiset parametrit esim. taajuuden askelmuutoksen vaste. Kokeet suoritetaan simuloimalla häiriötilanne. (Fingrid Oyj, 2024, s. 77–78.)

5.2.2 Taajuussäätö-alitaajuustoimintatila

Kokeessa todistetaan, että voimalaitos pystyy teknisesti säätämään aktiivisesti tehoa dynaamisesti mitoitustehonsa alapuolella toimiessaan, jotta se voi osallistua järjestelmän taajuuden korjaamiseen, kun koetaan merkittävä taajuuden lasku. Koe suoritetaan simuloimalla asianmukaisilla pätötehon kuormituspiisteillä pienin taajuusaskelin ja -rampein. (Fingrid Oyj, 2024, s. 78.)

5.2.3 Taajuussäädön ja pätötehon muutosnopeus häiriötilassa

Kokeessa tulee osoittaa, että voimalaitos kykenee säätämään tehontuotantoon jatkuvasti koko sen toiminta-alueella, eli välillä, joka ulottuu maksimitehosta aina alimpaan säädettävään tehoon, taajuuden hallinnan tarpeisiin. Kokeessa on todennettava pysyvät säätöjen tilan parametrit, kuten kuollut alue ja statiikka, sekä dynaamiset parametrit, kuten häiriönsieto taajuuden askelmuutoksen vasteessa ja suurten, että nopeiden taajuuspoikkeamien aikana.

Lisäksi on testattava säätöjärjestelmän kykyä siirtyä automaattisesti normaali-tilasta häiriötilaan. Testeihin lähtiessä voimalan on tuotettava vähintään 30 % mitoitustehosta, ja sen kyky säätää taajuutta on oltava vähintään ± 10 % mitoitustehosta. Koe suoritetaan verkon taajuusmittaukseen perustuen, sekä simuloimalla taajuusaskelia ja -ramppeja, jotka aktivoivat koko pätötehon taajuusvastealueen. (Fingrid Oyj, 2024, s. 78–79.)

5.2.4 Pätötehon muutosnopeus

Testissä tulee todentaa, että voimalaitos pystyy säätämään tehotuotantoaan määritellyllä alueella ja nopeudella. Saavutettavan vasteena generaattorin tai voimalaitoksen pätötehon asetteluarvon muutokselle on määritelty pätötehon muutosnopeusvaatimukset suurimpana tehon muutosnopeutena.

Vesivoimaloiden, kaasuturbiinien ja moottorivoimalaitosten on normaaleissa toimintaolosuhteissa kyettävä säätämään tehoaan vähintään ± 40 % mitoitustehostaan minuutissa. Tämä tehonmuutosnopeus tulee olla mahdollinen, kun laitoksen teho on välillä 40–100 % mitoitustehosta. Mikäli laitoksen teho on alle 40 % mitoitustehosta, tehon muutosnopeutta voidaan rajoittaa laitoksen teknisten ominaisuuksien määrittämään maksimiin.

Testausprosessi alkaa asettamalla voimalan tehotuotanto pienimpään mahdolliseen arvoon, joka sallii määritellyn tehomuutosnopeuden, minkä jälkeen tehotuotanto nostetaan korkeimpaan mahdolliseen arvoon, joka vielä mahdollistaa tämän muutosnopeuden. Sen jälkeen sama prosessi suoritetaan toisinpäin. (Fingrid Oyj, 2024, s. 79.)

5.2.5 Siirtyminen omakäytölle

Kokeessa tulee todistaa voimalaitoksen tekninen valmius toimia itsenäisesti omakäytöllä, sekä ylläpitää vakaa toiminta tällä tavoin. Testattavan voimalaitoksen on toimittava suunnitellulla teholla ja normaalin käytön aikaisella loisteholla ennen kuin se irrotetaan sähköverkosta. Irrotuksen jälkeen laitoksen on

kyettävä toimimaan itsenäisesti vähintään yhden tunnin ajan ennen kuin se synkronoidaan takaisin sähköverkkoon.

Testin katsotaan päättyneen onnistuneesti, jos voimalaitoksen siirtyminen itsenäiseen toimintaan tapahtuu sujuvasti. Sen itsenäinen toiminta säilyy vakaana vähintään tunnin ajan ja tämän jälkeen kykenee synkronoimaan itsensä uudelleen sähköverkkoon ongelmitta. (Fingrid Oyj, 2024, s. 79–80.)

5.2.6 Jännitteensäädön askelvastekoe tyhjäkäynnillä

Jännitteensäätäjän reagoitokyvyn testauksessa generaattorin, joka ei ole yhdistetty verkkoon, asetusten muutos tehdään askelittain. Kun säätäjän asetusta korjataan ylöspäin 95 prosentista 105 prosenttiin, reaktioaika eli askelvasteen muutosnopeus on tiukasti määritelty:

Staattisessa magnetoinnissa askelvasteen tulisi saavuttaa 0-90 prosenttia jännitemuutoksen kokonaisarvosta 0,2-0,3 sekunnissa. Harjattomassa magnetoinnissa sama muutos tulisi tapahtua 0,2-0,5 sekunnissa. Kun säätöä taas lasketaan päinvastaiseen suuntaan, 105 prosentista 95 prosenttiin on vaatimukset seuraavanlaiset:

Staattisessa magnetoinnissa negatiivisen askelvasteen, eli jännitteen laskun, tulisi myös olla 0,2-0,3 sekunnissa 0-90 prosentin osuudella kokonaismuutoksesta. Harjattomassa magnetoinnissa tähän sallitaan pidempi aika, 0,2-1,5 sekuntia. On tärkeää, että jännitteensäätäjän suorittama askelvaste ei aiheuta värähtelyä, ja mahdollinen ylitys saa olla enintään 15 prosenttia jännitemuutoksen kokonaisarvosta.

Tämän lisäksi jännitteensäätäjän tulee toimia tehokkaasti generaattorin normaalin tai sitä matalamman käyttölämpötilan aikana, jotta se pystyy läpäisemään generaattorin käyttöönoton yhteydessä tehtävän keskeytymättömän testijakson. Tämä varmistaa, että säätäjä on valmis vastaamaan reaaliaikaisiin käyttötarpeisiin eri lämpötiloissa. (Fingrid Oyj, 2024, s. 70–71, 80.)

5.2.7 Kanavanvaihdon testaus

Varmistaaksemme sähköjärjestelmän luotettavan toiminnan, on tärkeää ottaa huomioon useita avainseikkoja jännitteensäädön suunnittelussa ja toteutuksessa. On välttämätöntä, että jännitteensäätöjärjestelmä on suunniteltu kahdella rinnakkaisella kanavalla, jolloin se voi automaattisesti siirtyä toiseen kanavaan, jos ensisijainen kanava ei toimi kuten pitäisi.

Jokaisessa kanavassa pitää olla paitsi automaattinen säätö generaattorin liittämiseksi verkkoon, myös varalla oleva manuaalisesti säädettävä magnetointivirran vakiovirtasäätö. Tämä monipuolistaa säätömahdollisuuksia ja parantaa järjestelmän luotettavuutta.

On tärkeää, että säätökanavan vaihto tai säätötilan muutos suoritetaan siten, ettei se aiheuta merkittävää häiriötä voimalaitoksen toimintaan tai sähkön laatuun liittymispisteessä.

Magnetointijärjestelmän on toimittava tehokkaasti myös vikatilanteissa, esimerkiksi jos yksi tehopuolijohtimista vikaantuu ja niin ettei se alenna vaatimusten mukaista suorituskykyä magnetoinnilta. Jännitteensäätäjän on pystyttävä tuottamaan riittävä kattojännite, joka ylittää vähintään kaksi kertaa staattisella magnetoinnilla tai 1,6 kertaa harjattomalla magnetoinnilla generaattorin mitoituksuormituksen magnetointijännitteen. Lisäksi, sen on kyettävä ylläpitämään tätä kattojännitettä vähintään kymmenen sekunnin ajan ottaen huomioon jännitteen säädölle muut asetetut vaatimukset. (Fingrid Oyj, 2024, s. 70–71, 80.)

5.2.8 Jännitteensäädön kokeet sähköverkkoon kytkeytyneenä

Testien tarkoituksena on varmistaa voimalaitoksen kyky hallita jännitettä tehokkaasti, suorittamalla generaattorin jännitteensäätimen askelvastetestejä, kun generaattori on kytketty verkkoon. Tämän prosessin aikana tulee erityisesti todentaa, kuinka hyvin jännitteensäädin pystyy seuraamaan asetettuja ohjearvoja ja säätämään loistehoa halutulla tavalla.

Jännitteensäätimen päätehtävänä on ylläpitää generaattorin liitinjännite vakiona. Sen lisäksi säätimellä voi olla muita toimintoja, kuten vakioloistehosäätö tai vakiotehokerroinsäätö. Säätöjärjestelmän kokoonpanon tulee sisältää paitsi jännitteensäätäjä ja mahdolliset lisävakautustoiminnot, myös mekanismit generaattorin suojelemiseksi ylikuormitukselta.

Vakiojännitesäädön asetusarvojen tulee olla säädettävissä tarkasti, korkeintaan 0,01 perusyksikön välein, puitteissa jotka määrittellään generaattorin jänniterajoiksi normaalitoiminnassa. Loistehon säädön suhteen, sen pitäisi toimia lineaarisesti ja olla säädettävissä välillä 0–7 %, 0,5 prosenttiyksikön askelin. Tämä säätö voi olla joko positiivista tai negatiivista.

Jos voimalaitokselle on toteutettu loistehon vakiosäätö, sen asetusarvojen tulee olla muutettavissa enintään 1 Mvar porrassvälein. Vakiotehokerroinsäätö asetusarvojen säätöväli on puolestaan enintään 0,005 porrassvälein.

Toimintatilojen ja toimintapisteen säätöjen on oltava mahdollista tehdä sujuvasti generaattorin ollessa verkossa. Muutosten on tapahduttava ilman äkillisiä jyrkkiä muutoksia tai toistuvia suuria heilahteluja voimalaitoksen tuottamassa lois- tai pätötehoa.

Jännitteensäätäjän eri toimintamoodien ja asetusarvojen ohjaus tulee toimia yhteneväisesti, riippumatta siitä hallitaanko laitosta paikan päältä tai etänä. Kaikkien näiden säätöjen ja toimintatilamuutosten tulee olla toteutettavissa voimalaitoksen valvomosta. (Fingrid Oyj, 2024, s. 72, 80–81.)

5.2.9 Jännitteensäädön toiminnan rajoittimet ja suojaukset

Generaattorin ja voimalaitoksen jännitteen säätelyjärjestelmät tulee suunnitella ja toteuttaa niin, että ne haittaavat mahdollisimman vähän laitoksen kykyä tuottaa ja käyttää loistehoa. Lisäksi, loistehon tuotannon rajoittamiseen käytettävät magnetoinnin säätelytoimenpiteet, rajoittimet ja näihin liittyvät suojamekanismit on koordinoitava tavalla, joka mahdollistaa generaattorin

loistehokapasiteetin tehokkaan käytön ilman generaattorin poislyöntiä kantaverkosta.

Generaattorin virranrajoittimien tulee olla varustettu käänteisellä aikakarakteristiikalla, jotta jännitteensäätölaitteiden ylikuormitusalueita voidaan käyttää tehokkaasti eri operatiivisissa tilanteissa. Lisäksi rajoittimien toiminnan tulee ohjata jännitteensäätäjiä mahdollisimman suoraviivaisesti ja ilman viivettä, jotta voimalaitoksen liittymäpisteeseen ei synny vakavia yli- tai alijännitetilanteita.

Kokeessa selvitetään, pystyvätkö rajoittimet tehokkaasti hallitsemaan generaattorin loistehon tuottoa ennen kuin suojausmekanismit aktivoituvat. Tämä voidaan toteuttaa säätämällä generaattorin jännitteensäätimen ohjearvoa induktiivisesti ja kapasitiivisesti varovasti molempiin suuntiin. Säätö tehdään rajoittimen ääripäihin, kunnes rajoitin aktivoituu ja estää jatkuvan muutoksen näiden raja-arvojen kohdalla. (Fingrid Oyj, 2024, s. 69, 72–73, 81.)

5.2.10 Loistehokapasiteettikoe ja pätötehon rajoittaminen

Edellisen kappaleen loistehon rajoituksiin viitaten pitää myös voimalaitoksen teknisesti kyetä tuottaa ja käyttää loistehoa vaaditulla tavalla, sekä varmistaa loistehokapasiteetin laskenta-arvojen paikkansapitävyys. Kokeessa arvioidaan myös pätötehon rajoituskykyä ja pätötehon säätömekanismien tarkkuutta.

Ennen testin aloittamista on tärkeää, että voimalaitoksen edustaja neuvottelee liittymispisteen verkonhaltijan kanssa hyväksyttävistä jännite- ja loistehoarvoista. Loistehokapasiteettikoe tulee suorittaa verkon normaalien käyttöjännitteiden rajoissa.

Testi suoritetaan voimalaitoksen maksimaalisella induktiivisella ja kapasitiivisella loisteholla kolmella eri pätötehotasolla: täydellä mitoitusteholla vähintään 60 minuuttia, 50 % mitoitustehosta vähintään 60 minuuttia ja minimiteholla vähintään 60 minuuttia.

Koe voidaan toteuttaa säätämällä generaattorin jännitteensäätimen ohjearvoa varovasti sekä induktiiviseen että kapasitiiviseen raja-arvoon jokaisella pätötehotasolla. (Fingrid Oyj, 2024, s. 67–68, 64–65, 81.)

5.2.11 Lähivikakestoisuus

Kokeella tulee todentaa, että voimalaitos kestää lähiviat vaaditulla tavalla. Voimalaitoksen on kyettävä säilyttämään toimintansa jatkuvuus syvien jännitekuoppien aiheuttamissa sähköverkon häiriötilanteissa ja niiden päätyttyä. Lähivikakokeen suoritustapa määräytyy tapauskohtaisesti Fingridin toimesta. Jos lähivikakoetta ei suoriteta, voimalaitoksen toimintakyky lähivikatilanteissa todennetaan laskennallisesti ja seuraamalla voimalaitoksen toimintaa sen käyttöajan aikana.

Tahtikonevoimalaitos ja sen omakäyttöjärjestelmät, tulee suunnitella siten, että se kestää liittymispisteessä tapahtuvat lyhytaikaiset jännitevaihtelut ilman, että se katkeaa sähköverkosta tai menettää synkronisuutensa verkon kanssa. Tahtikoneen navan liukumista ei hyväksytä. Jännitteen tason mukaan määritellyt vaatimukset tulee ottaa huomioon suunnittelussa.

Voimalaitoksen on selviydyttävä häiriön jälkeen ilman verkkoon irtoamista mahdollisten laitossidonnaisten tai järjestelmätaajuuteen liittyvien sähkömekaanisten heilahteluiden aiheuttamien lyhytaikaisten jännitteen amplitudi- ja vaihekulmavaihtelujen aikana. Tämä lähivikavaatimus koskee sekä symmetrisiä kolmivaiheisia oikosulkuja, että epäsymmetrisiä vikoja joihin kuuluu kahden vaiheen oikosulut ja yksivaiheiset maasulut.

Voimalaitos ei saa irrottautua verkosta automaattisesti toistuvien jännitehäiriöiden seurauksena. Irtikytkentä on sallittua vain, jos voimalan transienttikulman stabiilius on vaarassa tai jos jarrutusenergian kesto ylittää suunnitteluarvon. Jännitehäiriöiden aikana ja niiden jälkeen pätötehon syöttämistä sähköverkkoon ei pidä tarpeettomasti rajoittaa. (Fingrid Oyj, 2024, s. 56–59, 82.)

5.2.12 Kaukokäytön ohjaukset

Kokeessa tulee todeksi näyttää voimalaitoksen kauko-ohjaukset ja muu kommunikaatio, kuten mittausdata ja tilatiedot, toimivat asetettujen vaatimusten mukaisesti. Kokeen täytyy kattaa kaikki ohjauspisteet, mukaan lukien Fingridin sähköiset ohjausyhteydet, ja sen tulee osoittaa, kuinka eri ohjauspisteiden väliset ohjausoikeudet on asetettu tärkeys järjestykseen.

Ohjaustestit suoritetaan lähettämällä sähköisiä ohjauskomentoja voimalaitokselle ohjauspisteestä. Kaikki ohjaussignaalit tulee testata varmistamalla, että ensisijaisen ohjausoikeuden omaavan tahon antamat ohjaukset saavat etusijan. Testit tehdään yhdessä muiden käyttöönoton testien kanssa, käyttäen voimalaitosta hallinnoivan tahon ensisijaista käyttöliittymää. Muiden ohjauspisteiden, kuten Fingridin ja voimalaitoksen hallinnan välisen sähköisen ohjausyhteyden toiminta, voidaan tarkastaa erikseen. (Fingrid Oyj, 2024, s. 37–38, 49–52, 55–56, 82.)

6 KOEKÄYTTÖOHJELMAN TEHTÄVÄLISTASTA

Alla on esimerkki koekäyttöohjelman tehtävälolistasta. Tehtäviä ei ole pakko toteuttaa järjestyksessä. Jotkut tehtävän voi suorittaa samanaikaisesti jonkun muun tehtävän ohella. Kaikki työt vievät oman aikansa, mutta eniten aikaa kuuluu releiden ensiökokeisiin. Ensikokeissa joudutaan tekemään paljon esivalmisteluita ennen kuin päästään varsinaisiin testeihin.

1. Koneautomaation tarkastus.
2. 12kv järjestelmän tarkastus suojalaitteineen.
3. Konekeskuksen tarkastus.
4. Tuloputken luukkukeskuksen tarkastus.
5. Imuputken luukkukeskuksen tarkastus.
6. Korkeapainevoitelupumppukeskuksen tarkastus.

7. Turpiinikannen vuotovesipumppujen mittaus-/tilatietojen ja ohjausten tarkastus.
8. Johtosolukkeiden rajakytkimien testaus.
9. Johtopyörän mittaus-/tilatietojen ja ohjausten tarkastus.
10. Juoksupyörän mittaus-/tilatietojen ja ohjausten tarkastus.
11. Säättö-öljyjärjestelmän mittaus-/tilatietojen ja ohjausten tarkastus.
12. Turpiinin säädön mittaus-/tilatietojen ja ohjausten tarkastus.
13. Ryntäyssuojien testaus.
14. Turpiinilaakeri mittaus-/tilatietojen tarkastus.
15. Paineakkujen mittaus-/tilatietojen tarkastus.
16. Akselitiivisteiden tilatietojen ja ohjausten tarkastus.
17. Generaattorin staattorin lämpötilamittausten tarkastus.
18. Generaattorin jäähdytyksen mittaus-/tilatietojen ja ohjausten tarkastus.
19. Generaattorin laakerien mittausten tarkastus.
20. Generaattorin jarrukoneikon mittaus-/tilatietojen ja ohjausten tarkastus.
21. Generaattorin nostokoneikon mittaus-/tilatietojen ja ohjausten tarkastus.
22. Generaattorin laakerien voitelu ja jäähdytysjärjestelmän mittaus-/tilatietojen ja ohjausten tarkastus.
23. Tärinänmittausjärjestelmän mittausten tarkastus.
24. Akselivirtasuojauksen mittauksen tarkastus.
25. Jäähdytysvesijärjestelmän mittausten tarkastus.
26. Automaation tilatietojen ja ohjausten tarkastus.
27. Tahdistuksen tarkastus.
28. Pyörimisnopeuden mittauksen tarkastus.
29. Imuputken luukun mittaus-/tilatietojen ja ohjausten tarkastus.
30. Tuloluukun mittaus-/tilatietojen ja ohjausten tarkastus.
31. Koneen pyöritys käsiohjauksella.
32. Sekvenssien testaus.
33. Laakeriajot.
34. Ryntäyskokeet.
35. Turpiininsäätäjän viritys tyhjäkäynnillä.
36. Relesuojien ensiökokeet.
37. Jännitesäätäjän viritys.
38. Sekvenssit tyhjäkäynnille.

39. Tahdistus verkkoon.
40. Relesuojien ensiökokeet, generaattorin ollessa verkossa.
41. Pikasulkukokeet 25%, 50%, 75% ja 100% kuormilla.
42. Kuorman poislyöntikokeet 25%, 50%, 75% ja 100% kuormilla.
43. Hätäseiskokeet 25%, 50%, 75% ja 100% kuormilla.
44. Turpiinin tehosäädön viritys verkossa.
45. Jännitteensäätäjän viritys verkossa.
46. Generaattorin lämpötilansäädön viritys.
47. Todetut virheet ja puutteet korjattu.
48. Kone valmis tuotannolliseen koekäyttöön.
49. Koekäyttö suoritettu.
50. Koneen luovutus.

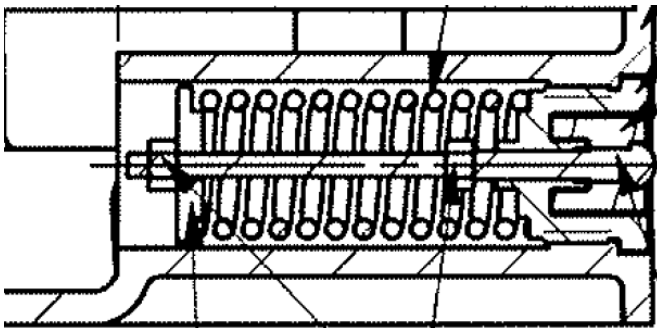
7 KÄYTTÖÖNOTTO-OHJELMAN KESKEISIMMÄT TESTAUKSET

7.1 Ryntäysvarolaitteiden testaus

Ryntäysvarolaitteet testataan tekemällä koneelle ryntäyskoe. Koneita ajetaan ilman tehoja ja turpiinia avataan käsikäytöllä, jolloin pyörimisnopeus nousee. Akselin kytkykohdassa sijaitsee mekaaninen varolaite, joka keskipakoisvoimasta pakenee ulospäin akselistä (kuva 3 & kuva 4). Varolaitteen karan vetäytyessään ulospäin tarpeeksi, se lyö sähköisen anturin vastaraudan ja mekaanishydraulisen venttiilin auki. Sähköinen ohjaus tekee laukaisun automaattiossa ja mekaanishydraulinen ohjaa suoraan hydraulisesti turpiinin kiinni ohittaen sähköiset ohjaukset. Mekaaninen ryntäysvarolaite toimintaympäristö on n. 140 % kohdalla turpiinin nimellispyörimisnopeudesta. Esim. Harjavalla G1 nimellispyörimisnopeus on 150 rpm, joten ryntäysvarolaitteen täytyy toimia n. 210 rpm kohdalla.



Kuva 3. Akselin kytky, jossa pyöreä messingin värinen ryntäysvarolaite.



Kuva 4. Ryntäysvarolaitteen halkaisukuva.

7.2 JOP ja JUP mittauksen vaihto viassa

Johtorenkkaan asentoantureita voi järjestelmässä olla yksi tai kaksi samoin kuin juoksupyörällä. Vaihto vikaantuneelta anturilta toiselle voi olla automaattinen koneiston käydessä tai pikasulun kautta. Mikäli kahdennus on tehty. Turpiinisäättäjän on kyettävä vaihtaa mittausta käyvällä koneella häiriöttä, jos käytössä oleva anturi vikaantuu.

Taajuusmittaus tehdään generaattorin jännitemuuntajan jännitteestä f/l -muuntimen avulla. Varamittauksena käytetään hammaspannalta saatavaa pulssi-tietoa muuntimen kautta. Jännitteestä saatava taajuus on aina päämittaus ja vaihto pulssimuuntimen perään tapahtuu automaattisesti jos jännite-tieto puuttuu. Tämä vaihdon toimivuus testataan myös.

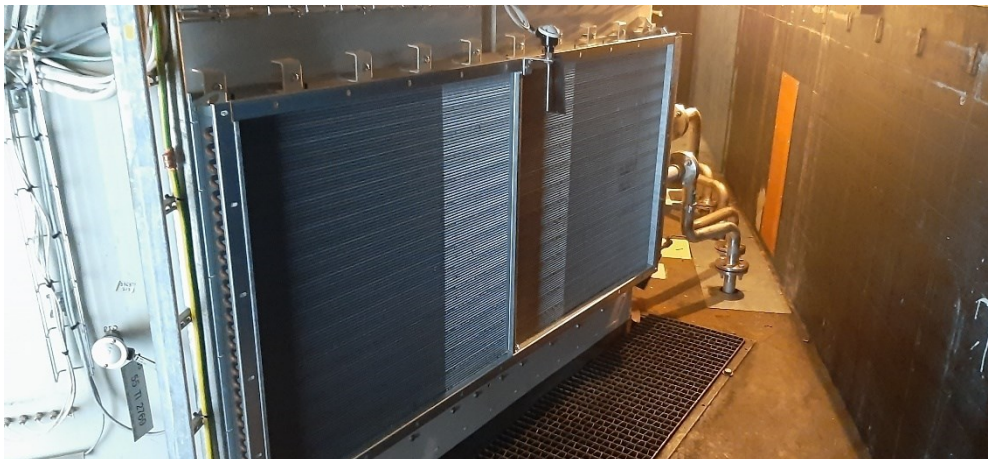
7.3 Jäähdytys

Generaattorin, laakeriöljyjen ja turpiinin akselitiivisteiden jäähdytysten toimivuus testataan eri tehoalueilla. Toimilaitteet säädetään haluttuun arvoonsa ja laitteille tehdään toimintakokeet. Lämpötilan säätö yleensä tapahtuu säätöventtiileillä, mutta on olemassa tapauksia joissa käytetään käsikäyttöistä venttiiliä ilman automaation mahdollisuutta säätää venttiiliä.

Generaattorin ympärillä on vesikiertoiset lämmönvaihtimet, joista kuumailma kulkeutuu läpi (kuva 5). Veden virtausta säädetään säätöventtiilillä, jota ohjaa staattorikäytävän lämpötilananturi. Säätöventtiili säädetään yleensä ajamaan n. 40°C. Taulukko 3:ssa on listattu staattorin lämpötila ja sille asetetut hälytys ja pysäytysrajat.

Taulukko 3. Käyttötiedot, mukaan lukien hälytys- ja pysäytysrajat. 6.5.2024.

Tieto	Mitoitus	Hälytys	Pysäytys
Staattorin käämityksen lämpötila °C	90	110	120
Staattorin sydämen lämpötila °C	70	75	85
Lämpötila, kylmä ilma °C	40	-	-



Kuva 5. G2 staattorin viilennyksen lämmönvaihdin.

Laakeriöljyillä lämmönvaihtimet ovat öljy-/vesikiertoisia lämmönvaihtimia (kuva 6). Laakeriöljynä käytetään Mobil DTE oil heavy medium öljyä, jonka kinemaattinen viskositeetti on 40°C. Säätöventtiilit säädetään ajamaan tuosta lämpötilasta hieman alhaisempaa lämpötilaa. Tarkoitus on pitää laakerien

öljysäiliöiden öljy n. 40°C lämpötilassa. Taulukko 4:ssä on listattu laakerien lämpötilat ja niille asetetut hälytys ja pysäytysrajat.

Taulukko 4. Käyttötiedot, mukaan lukien hälytys- ja pysäytysrajat. 6.5.2024.

Tieto	Mitoitus	Hälytys	Pysäytys
Aksiaalilaakerin lämpötila °C	-	72	75
Ylemmän ohjauslaakerin lämpötila °C	-	72	75
Alemman ohjauslaakerin lämpötila °C	-	70	73
Lämpötila, kylmä öljy °C	40	45	-
Lämpötila, lämmin öljy °C	-	58	-



Kuva 6. G2 generaattorin laakereiden jäähdytyksen lämmönvaihtimet.

7.4 Jarrutusjärjestelmä

Jarrutusjärjestelmiä on kahdenlaisia. On olemassa paineilma- ja hydraulistomisia jarrutuslaitteita. Harjavallassa käytetään paineilmatoimisia jarruja, joissa on mahdollista käyttää myös hydraulikkaa (kuva 7). Pääsääntöisesti hydraulikka on rakennettu roottorin nostoa varten, mutta sitä voidaan käyttää myös jarruna.

Seisovalla koneella jarrujen toiminta testataan ja tilatietojen oikeellisuus todennetaan. Pyörivällä koneella jarrujen toiminta testataan ja mitataan jarrutusaika. Jarrujärjestelmän kuuluisi käynnistyä automaattisesti, kun generaattorin nopeus on alle 30 % nimellinopeudesta pysähtymisjakson aikana.

Joihinkin koneisiin on rakennettu hätäjarrutus. Hätäjarrutusta käytetään esim. erovirtareleen laukaisussa, jossa kone täytyy saada mahdollisimman nopeasti seis. Hätäjarrutus toimii suuremmalla paineella ja yleisesti paineilmatoisessa järjestelmässä käytetään jarrujärjestelmän koko kapasiteettia. Ajatellaan, että normaalissa paineilmatoisessa jarrutuksessa paine on 6-8 bar ja kompressorin kapasiteetti on 16 bar, jolloin hätäjarrutuksessa jarrupaine on silloin 16 bar.

Roottorin nosto tapahtuu aina hydraulikalla, jota voidaan käyttää korkeapainevoitelun korvaajana, jos korkeapainevoitelua ei ole mahdollista käyttää. Tällä tavalla saadaan luotua kannatuslaakerisegmenttien päälle vaadittava öljykalvo. Hydraulista järjestelmää voidaan käyttää myös jarruna jos hydraulinen järjestelmä on rakennettu toimimaan samoilla jarrusylintereillä. Muissa tapauksissa on olemassa erilliset nostotunkit roottorille. Nämä toiminnallisuudet testataan myös.



Kuva 7. G2 jarrupainejärjestelmä.

7.5 Voiteluöljyjärjestelmä

Vesivoimakoneen laakerien voiteluöljyjärjestelmän mittaukset ja ohjaukset testataan. Tähän kuuluu yleisesti virtaus- ja lämpötilamittausten, sekä pumpujen toiminnan koestukset (kuva 8). Virtaussäädöistä vastaa oman toimialueensa toimittajat, jos niitä on. Tässä tapauksessa Andritz Hydro Oy vastaa

turpiinin voitelun säädöstä ja GE Renewable Energy Oy vastaa kannatus- ja ohjauslaakerien voiteluiden säädöistä.

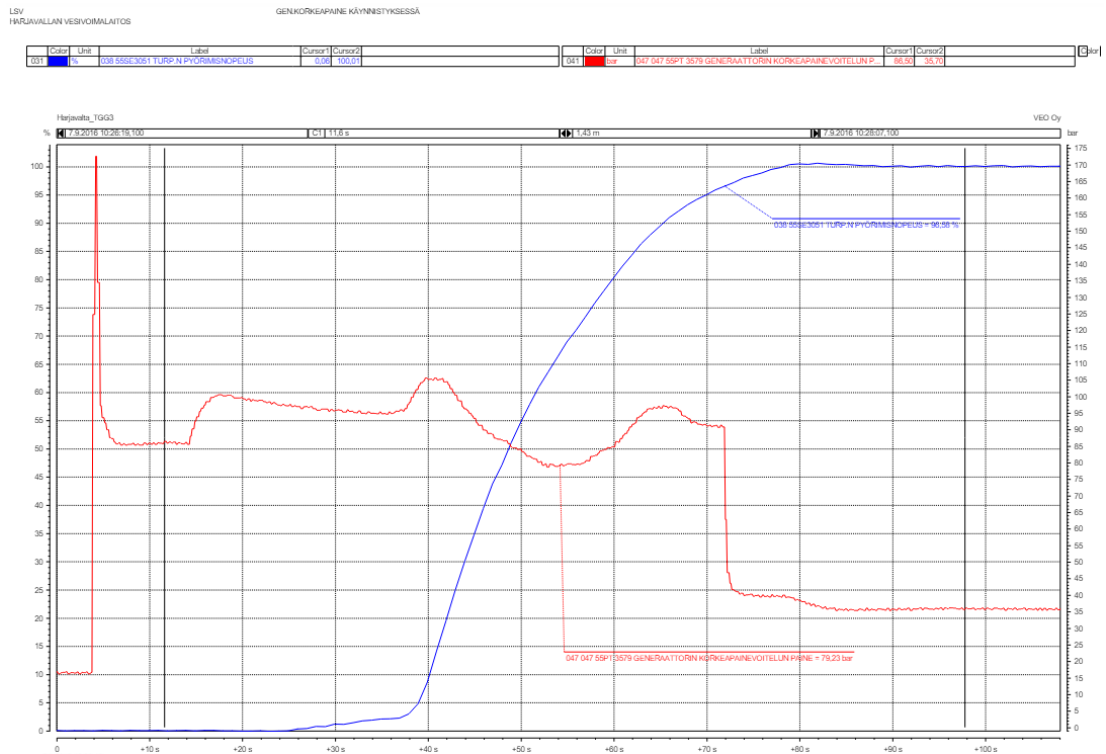


Kuva 8. G1 voiteluöljypumput.

7.6 Korkeapainevoitelu

Mikäli vesivoimakoneeseen on rakennettu korkeapainevoitelu, sen toimivuus testataan ja toimilaitteiden tilatiedot todennetaan ennen koekäynnistystä (kuva 10). Korkeapainevoitelulla luodaan kannatuslaakerisegmenttien päälle vaadittava öljykalvo. Tällä menetelmällä laakerille saadaan pidempi käyttöikä. Korkeapainevoitelun painetta seurataan ensimmäisessä käynnistyksessä ja pysäytyksessä.

Harjavallassa korkeapainevoitelupumpun nimellispaine on 220 bar. Käynnistyksessä paine kohoaa vain n.160 – 170 bar tasolle ja tippuu siitä alaspäin asteittain riippuen koneen pyörimisnopeudesta. Vaikkakin korkeapainevoitelun suurin hyöty tapahtuu koneen käynnistämisenä, on nykymallin mukaista lisätä korkeapainevoitelun käynti myös pysäytyssekvenssissä. Kuvassa 9 on kuvattu punaisella viivalla korkeapainevoitelun paine ja sinisellä koneen pyörimisnopeus.



Kuva 9. Piirto korkeapainepumpun paineesta koneen käynnistyksestä.

Joissakin vanhemmissa koneissa joissa ei ole korkeapainevoitelua, on käytetty ”automaattinostoa”. Tällöin käynnistyssekvenssissä roottoria nostetaan hetkeksi ja lasketaan takaisin ennen pyöritystä. Tämä luo öljykalvon kannatuslaakerisegmenteille.



Kuva 10. G2 korkeapainepumppu.

7.7 Relesuojien ensiökokeet

Generaattorien relesuojaukset testataan asentamalla generaattorin kiskoon oikosulkukisko (kuva 11). Koneetta ajetaan oikosulussa tyhjäkäynnillä. Generaattorin virtaa nostetaan hitaasti portaittain virransäädöllä. Tällä tavoin voidaan todeta virranmittauksen oikeellisuus ja virtasuojien toiminta. Tässä testissä testataan: generaattorisuojareleen ylivirtalaukaisu, erovirtareleen ylivirtalaukaisu, generaattorisuojareleen vinokuormalaukaisu, erovirtareleen erovirtalaukaisu ja magnetointivika laukaisun testaus.

Oikosulkukiskon poistamisen jälkeen testataan maasulkureleiden toimivuus. Kiskoon asennetaan maadoituspallo ja kytketään yksi vaihe maihin maadoitusköydellä. Tässä testissä testataan maasulkulaukaisu.

Jännite- ja taajuussuojien testauksessa ei käytetä oikosulkukiskoa tai maadoitusköysiä. Laukaisu testataan mittalaitteella. Tässä testissä testataan: generaattorisuojareleiden ylijännitelaukaisu, ylitaajuuslukaisu, alijännitelaukaisu ja alitaajuuslukaisu. Takateho- ja alimagnetointilaukaisu testataan koneen ollessa verkossa.



Kuva 11. G2 koneautomaation reletaulu.

7.8 Laakeriajo

Laakeriajossa konetta ajetaan tyhjäkäynnillä pidempi ajanjakso korkeapainevoitelun ollessa aktiivisena. Kannatus-, yläohjaus-, alaohjaus- ja turpiinilaakerin, sekä niiden öljyjen lämpötilaa seurataan aktiivisesti. Lämpöjen tasaantuessa, korkeapainevoitelu kytketään pois päältä. Tämän jälkeen lämmöt lähtevät jälleen nousemaan. Lämpöjen uudelleen tasaannuttua ilman häiriöitä, on laakeriajo suoritettu loppuun. Seurannasta ei ole olemassa yleistä ohjeistusta, mutta hyvänä aikavälinä kannattaa pitää 15 minuuttia. Jos lämpötilat eivät nouse 15 minuutin aikana, ollaan ns. turvallisilla vesillä. Liitteessä 2 on automaation piirrot laakeriajosta.

7.9 Lämpöajo

Laakeriajon jälkeen suoritetaan lämpöajo, jossa konetta ajetaan verkossa maksimiteholla. Lämpöajossa seurataan staattorikäämien/-levypakkojen, laakereiden, säätö-öljyjärjestelmän, turpiinin akselitiivisten ja jäähdytysjärjestelmän lämpötiloja, sekä öljyn pintoja. Toimintaperiaate on sama kuin laakeriajossa, mutta kokonaisuus on paljon laajempi. Toisin sanoen koko prosessia seurataan tarkasti, kunnes kaikki arvot ovat stabilisoituneet. Korkeapainevoitelun käsikäyttöä ajossa ei käytetä.

7.10 Pikasulku-, poislyönti-, ja hätäseiskokeet

Näissä kokeissa testataan koneen pysäytystä eri häiriötilanteissa. Pikasulkukokeessa kone pysähtyy normaalia pysäytystä nopeammin. Hätäseiskokeessa kone pysähtyy pikasulun tavoin, mutta sen lisäksi automaatio laskee yläluukun alas sulkien tuloveden pääsyn turpiinille.

Poislyöntikokeessa konetta ei ajeta pikasulkuun, vaan koneen täytyy jäädä tyhjäkäynnille poislyönnin jälkeen. Jos kone menee pikasulkuun, koe on epäonnistunut. Kokeen toteutus tehdään avaamalla generaattorin katkaisija verkossa olevalta koneelta, jolloin kone tippuu verkosta pois jäädessä.

tyhjäkäynnille. Tämän jälkeen vielä testataan koneen kyky palata takaisin verkkoon antamalla koneelle tahdistuskäsky, jolloin automaatio tahdistaa koneen verkkoon.

Jokaisessa kokeessa konetta testataan neljässä eri kuormaportaassa. Ensimmäisessä portaassa koneen kuorma on 25% koneen nimellistehosta, toisessa portaassa 50%, kolmannessa portaassa 75% ja neljännessä portaassa 100%.

7.11 Tuotannollinen koekäyttö

Tuotannollisessa koekäytössä konetta ajetaan yksi viikko ilman häiriöitä. Mikäli häiriöitä ilmenee koekäytön aikana, joudutaan koekäyttö aloittamaan alusta. Tilaajan kannattaa vaatia koekäyttöohjelmaan koneen pysäytys ja käynnistys kerran päivässä. Pelkkä yhtämittäinen ajo ei tuo ilmi kaikkia piileviä vikoja. Suurimmat viat tulevat yleensä ilmi käynnisty- ja pysäytyssekvenssien aikana.

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli kerätä tietoa vesivoimakoneen käyttöönottokokeista ja perehtyä Fingridin VJV-vaatimukseen, sekä jakaa omia kokemuksia niiden suorittamisesta. Perehdyttyäni aineistoon huomasin hyvinkin nopeasti aihe alueen olevan laajempi mitä odotin. Se mitä kokemus oli tuonut itselleni käyttöönottokokeista, olikin vain murto-osa siitä mitä se pitää oikeasti sisällään.

Laajuutensa takia aihealuetta oli pakko lähteä rajaamaan, ettei opinnäytetyö kasvaisi liian suureksi. Työ rajattiin vesivoimakoneen käyttöönottovaiheessa tehtäviin kokeisiin, eikä muihin VJV-ohjeistuksen vaatimuksia käyty läpi tässä opinnäytetyössä. Vesivoimakoneen suunnittelu ei ole Caverionin ydinosaamisaluetta, joten tämä oli relevantti rajaus. Caverion toimii käyttö-/kunnossapidossa ja sen vastuuna on olla mukana käyttöönotossa, joten käyttöönotossa tehtävät kokeet riittivät aihealueeksi työn tilaajalle.

Vaikkakin vesivoiman suunnittelu ei ole Caverionin ydinosaamisaluetta, on todettava muutama asia käyttöönottoajalta. Harjaton magnetointi on puhtaampi vaihtoehto verrattuna hiiliharjalliseen magnetointiin ja sen takia se on valittu Harjavallan revisiossa magnetoinnin lähteeksi. Revisiossa kuitenkin tuli ongelmia magnetoinnin kanssa, koska se ei kyennyt riittävän nopeisiin askelmuuksiin. Tämä saatiin korjattua vaihtamalla magnetointimuuntajaa isommaksi ja kasvattamaan magnetointijännitettä äärirajoille. Tämä tyyppiset ongelmat tulevat yleistymään harjattomissa magnetoinneissa VJV-vaatimusten kiristytessä.

Tulevaisuudessa tulemme näkemään vesivoimalaitoksilla energian varastointiin tarkoitettuja ultrakondensaattoreita. Näillä pystytään vastaamaan nopeaan tehontarpeeseen millisekunneissa, jolloin koneen ei tarvitse kyetä huippunopeisiin muutoksiin. Tämä on myös hyvä asia turpiinin käyttöään kannalta. Aikanaan vesivoimaturpiineita ei ole suunniteltu jatkuva liikkeisiksi komponenteiksi ja senkin takia niiden käyttöikä on pienentynyt nykyaikaisten vaatimusten

takia. Ultrakondensaattoreiden ansiosta nopeat säätöliikkeet jäävät pois ja se vähentää turpiinin liikkeiden määrää, joka pitkittää sen käyttöikä.

Kokonaisuudessaan työ oli hyvin opettavainen ja se syvensi osaamistani vesivoiman käyttöönottokeista. Prosessina työ oli hyvin teoreettista ja tekisin työn varmasti samalla tavalla. Tämä työ antaa varmasti aiheesta kiinnostuneille hyvän pohjan siitä mitä käyttöönottokeet pitävät sisällään. Tätä työtä voidaan hyödyntää tulevissa opinnäytetöissä, jossa esim. halutaan paremmin perehtyä VJV-ohjeistukseen tai automaation toteutusratkaisuihin VJV:n osalta. Tästä on hyvä jatkaa uraani vesivoiman käyttö- ja kunnossapidossa Caverion Industria Oy:llä.

LÄHTEET

Assemblin Caverion Group Oy. (2024). Haettu 11.5.2024 <https://www.caverion.fi/tietoa-meista/>

Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. (2024). Haettu 4.5.2024 osoitteesta <https://www.kokemaenjoki.fi/kokemaenjoki/voimalaitokset-ja-saannostely/harjavallan-voimalaitos>

Etelä-Suomen aluehallintovirasto. (2013). Etelä-Suomen aluehallintoviraston lupapäätös 1.10.2013. Nro 198/2013/2.

Fingrid Oyj. (2024). VJV2024. Haettu 4.5.2024 osoitteesta <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/liitynta-kantaverkkoon/tekniset-vaatimukset/voimalaitoksia-ja-sahkovarastoja-koskevien-jarjestelmateknisten-vaatimusten-paivitys-2024/>

GE Renewable Energy Oy. (2016). Harjavalta G3 käyttö- ja ylläpito-ohjeet. Julkaisematon lähde.

GE Renewable Energy Oy. (2017). Harjavalta G1 käyttö- ja ylläpito-ohjeet. Julkaisematon lähde.

GE Renewable Energy Oy. (2017). Harjavalta G2 käyttö- ja ylläpito-ohjeet. Julkaisematon lähde.

Linjamäki, J. & Kelloniemi, J. (2016). Turpiininsäätimen käyttöönottotarkastukset kone 3. Veo Oy. Julkaisematon lähde.

Linjamäki, J. & Kelloniemi, J. (2017). Turpiininsäätimen käyttöönottotarkastukset kone 1. Veo Oy. Julkaisematon lähde.

Linjamäki, J. & Kelloniemi, J. (2017). Turpiininsäätimen käyttöönottotarkastukset kone 2. Veo Oy. Julkaisematon lähde.

Linjamäki, J. & Norrena, J. (2016). Käyttöönotto-ohjelma kone 3. Veo Oy. Julkaisematon lähde.

Linjamäki, J. & Norrena, J. (2017). Käyttöönotto-ohjelma kone 1. Veo Oy. Julkaisematon lähde.

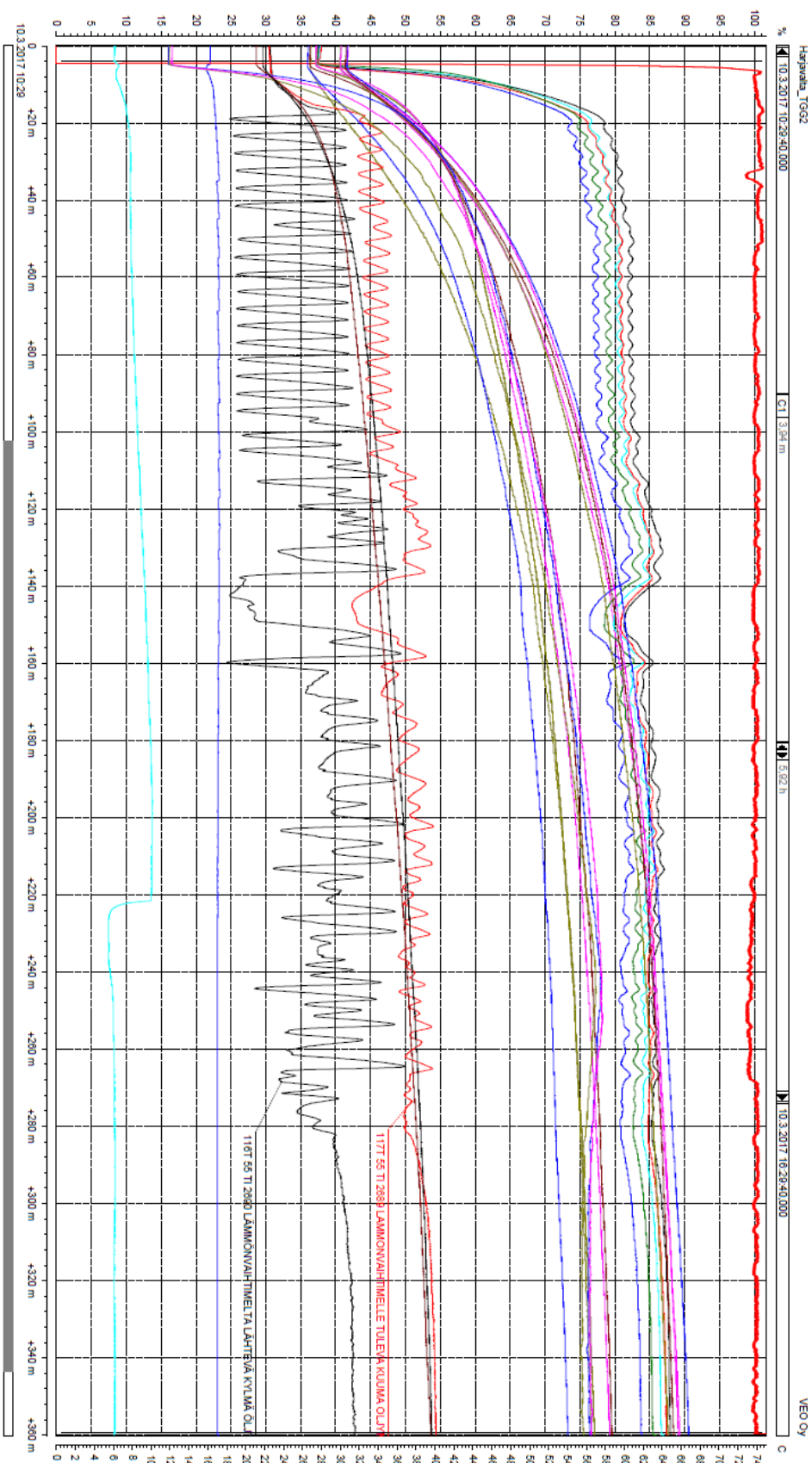
Linjamäki, J. & Norrena, J. (2017). Käyttöönotto-ohjelma kone 2. Veo Oy. Julkaisematon lähde.

LIITE 1

Prosessin vaihe	Edellytys	Aikatauluvaatimus ja lisätiedot
Vaihe 0 (Esisuunnittelu) <ul style="list-style-type: none"> • Erityistarkastelut (luku 5) • Vaatimustenmukaisuuden todentamisprosessi ml. todentamistavat ja seuranta • Tekniset määritelmät 	Voimalaitoksen toteutuksen edellyttämät tiedot ovat valmiina teknisen suunnittelun käynnistämiseksi.	Mahdollisimman varhaisessa vaiheessa ennen liittymissopimuksen tekemistä ja pääkomponenttihankintoja.
EON - kytkentäilmoitus	Fyysinen verkkoliityntä on valmis käyttöönottoon.	Liityntä tulee toteuttaa liittymissopimuksen ehtojen mukaisesti. Kytkentäilmoituksen saatuaan liittyjä saa oikeuden kytkeä sähköt liittymispisteeseen takaiseen verkkoon.
Vaihe 1 (Suunnittelu): <ul style="list-style-type: none"> • Suunnittelutiedot • Mallinnustiedot • Vaaditut laskelmat • Projektikohtaiset alustavat asetteluarvot • Reaaliaikaisten mittaustietojen toimitustapa • Vaatimustenmukaisuusilmoitus 	Liittyjä voi toimittaa vaiheen 1 tiedot heti kun ne ovat saatavilla.	Vaiheen 1 tiedot tulee toimittaa mahdollisimman aikaisin, vähintään 6 kuukautta ennen suunniteltua sähköntuotannon aloitusajankohtaa, jotta voimalaitoksen väliaikainen käyttöönottoilmoitus voidaan käsitellä. Toimitettavat tiedot on listattu luvussa 7.4.
ION - väliaikainen käyttöönottoilmoitus	Liittyjä on toimittanut vaiheen 1 mukaiset tiedot ja toteuttanut reaaliaikamittaukset. Jatkuvatoiminen tallenninjärjestelmä sekä mahdollinen kaukokäyttöyhteys on testattu ja toiminnassa. Liittymispisteiden verkonhaltija on vahvistanut vaadittujen toimenpiteiden toteuttamisen.	Väliaikaisen käyttöönottoilmoituksen saatuaan liittyjä saa oikeuden käyttää voimalaitosta ja tuottaa sähköä liittymispisteeseen enintään 18 kuukauden ajan.
Vaihe 2 (Käyttöönotto ja todentaminen): <ul style="list-style-type: none"> • Muutokset ja päivitykset vaiheen 1 tietoihin • Käyttöönottokokeiden suunnittelu ja toteutus • Koetulosten raportointi • Mallinnustietojen validointi • Säättäjien ja suojauksen lopulliset asetteluarvot • Vaatimustenmukaisuusilmoitus 	Liittymispisteiden verkonhaltija on antanut väliaikaisen käyttöönottoilmoituksen.	Liittyjän on toimitettava käyttöönotto- ja kokeiden suunnitelma liittymispisteiden verkonhaltijalle viimeistään 2 kuukautta ennen suunniteltua kokeiden aloittamista. Käyttöönottokokeet on suoritettava hyväksytysti 9 kuukauden sisällä, ja vaiheen 2 toimenpiteet 12 kuukauden sisällä, hetkestä, jolloin voimalaitos on syöttänyt ensimmäisen kerran päätötehoa sähköjärjestelmään. Toimitettavat tiedot on listattu luvussa 7.4.
Vaihe 3 (Tarkastus ja hyväksyntä): <ul style="list-style-type: none"> • Toimitettujen tietojen tarkastus • Prosessin hyväksyntä 	Liittyjä on toimittanut vaiheen 2 mukaiset tiedot ja toteuttanut toimenpiteet sekä Liittymispisteiden verkonhaltija on vahvistanut vaadittujen toimenpiteiden toteuttamisen.	Liittymispisteiden verkonhaltijan tulee tarkastaa toimitetut tiedot ja vahvistaa vaadittujen toimenpiteiden suorittaminen. Liittymispisteiden verkonhaltijan tulee toimittaa lausunto vaatimusten todentamisesta viimeistään 3 kuukauden kuluttua vaiheen 2 tietojen vastaanottamisen jälkeen.
FON - lopullinen käyttöönottoilmoitus	Liittymispisteiden verkonhaltija on vahvistanut vaiheen 3 toimenpiteiden toteuttamisen.	Lopullisen käyttöönottoilmoituksen saatuaan liittyjä saa oikeuden käyttää voimalaitosta ja tuottaa sähköä liittymispisteeseen toistaiseksi.

Voimalaitoksen vaatimusten todentamisprosessi, käyttöönottoilmoitusmenettely ja aikatauluvaatimukset tyyppin D voimalaitoksille. (Fingrid Oyj, 2024, s. 21–22.)

Color	Unit	Label	Outsort	Outsort2	Color	Unit	Label	Outsort	Outsort2	Color	Unit	Label	Outsort	Outsort2
004	%	004 55E2050 TURPININ PIVORINSKOPEUS	0,00	100,40	003	C	1007 56 TIA 2589 KANNATUSSIAAK X-	27,50	63,00	106	C	1227 56 TIA 2589 VAOHJAUSIAAK X-	30,50	66,20
001	C	1077 56 TIA 2587 KANNATUSSIAAK X+	27,60	64,80	004	C	1107 56 TIA 2587 KANNATUSSIAAK X-	27,50	63,00	112	C	1287 56T2008 TURPINILAAK	11,80	66,34
002	C	1137 56 TIA 2583 ALAOHJAUSIAAK Y-	27,40	58,40	005	C	1117 56 TIA 2587 ALAOHJAUSIAAK Y+	27,40	59,80	113	C	1307 56T2009 TURPINILAAK	11,80	66,34
003	%	003 56L2041 TURPINILAMERI OLYN PINTA	22,00	23,00	006	C	1197 56 TIA 2584 ALAOHJAUSIAAK X-	28,80	68,64	114	C	1307 56T2008 TURPINILAAK	12,10	66,50
042	C	046 56 TIA 2580 VAOHJAUSIAAMERIN LAMPO S	30,70	65,60	007	C	1187 56 TIA 2580 LAMMONVAHITIMELLE LAHTEJA KYLM	22,80	31,50	115	C	1317 56T2010 TURPININ OLYNLAKOPESSAN ...	21,10	38,50
043	C	044 56 TIA 2580 KANNATUSSIAAMERIN LAMPO S	27,70	61,70	008	C	1177 56 TIA 2880 LAMMONVAHITIMELLE TULENIA KYLMA	22,80	40,10	117	C	1337 56T2012 TURPININ AVSELIVIVESTE	6,10	6,10
044	C	083 56 TIA 2586 ALAOHJAUSIAAMERIN LAMPO ...	28,80	56,50	009	C	1007 56 TIA 2587 VAOHJAUSIAAK X+	30,70	66,70	118	C	1347 56T2013 TURPININ OLYNLAKOPESSAN ...	21,80	38,80
045	C	1007 56 TIA 2589 KANNATUSSIAAK Y+	27,70	63,00	010	C	1207 56 TIA 2587 VAOHJAUSIAAK X+	28,90	64,80					
046	C	1097 56 TIA 2589 KANNATUSSIAAK Y-	27,70	64,40	108	C	1217 56 TIA 2589 VAOHJAUSIAAK X-	30,00	65,70					



LIITE 2