



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Juha Väisänen

FAT- JA SAT- TESTAUKSIEN KUVAUKSET

Tekniikka
2019

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Juha Väisänen
Opinnäytetyön nimi	FAT ja SAT testauksien kuvaukset
Vuosi	2019
Kieli	suomi
Sivumäärä	63 + 3 liitettä
Ohjaaja	Jari Koski

Opinnäytetyön tarkoitus on kuvata sähköaseman laitteiden ja järjestelmien testauskäytännöt, sisällöt ja periaatteet tyypillisessä kotimaan sähköasemaprojektissa. Tarve opinnäytetyön käsittelemään aiheeseen on tullut myynnin havaitsemista ongelmista joidenkin projektien kohdalla.

Asiakaskunta kotimaassa on laajentunut viime vuosina uusiutuvaa energiaa tuotaviin yrityksiin. Tyypillisesti nämä yritykset kilpailuttavat hankkeen kokonaisuutena yhdelle yritykselle, joka on usein infra-rakentamiseen erikoistunut yritys. Kokonaisurakan voittanut yritys kilpailuttaa sähköaseman rakentamisen sähköasemia rakentavien yritysten kesken. Joidenkin hankkeiden toteutuksessa ja laitteiston käyttöönottovaiheessa on ollut erimielisyyttä sähkölain tulkinnoista ja lain edellyttämistä vastuuhenkilöiden nimeämisestä. Nämä erimielisyydet ovat johtuneet maalikkojen tulkinnoista velvoittavista sähköalan laista ja määräyksistä.

Lähdeaineistona ja tiedon hankintaan käytettiin sähköalan standardeja, lakeja, sisäisiä ohjeita ja laitevalmistajien ohjeita. Standardit ja lait määrittävät suurelta osin laitteistolle tehtävät testit ja tarkastukset. Taustatietoa ja käytäntöjä kerättiin myös keskustelemalla kokeneiden projekti-insinöörien vetämistä projekteista. Aiheen laajuuden vuoksi kaikkia testejä ei voida kuvata tarkasti. Keskeisimpien testien tarkoitus ja testaustapa kuvataan yksityiskohtaisemmin. Työtä ei ole tarkoitettu työohjeeksi ja kuvaukset ovat yleisiä

ABSTRACT

Author	Juha Väisänen
Title	FAT and SAT Test descriptions
Year	2019
Language	Finnish
Pages	63+ 3 Appendices
Name of Supervisor	Jari Koski

The purpose of this thesis is to describe testing practices and principles of devices and systems in a typical domestic substation project. The need for this thesis originated from ABB's sales department experiences and problems in some domestic projects.

The customer base in the domestic sale has expanded during the last few years to companies that produce renewable energy. Typically, these companies tender an entire project to one company which, is the main contractor. The main contractor then puts out tenders to companies that build substations. In some projects there have been some disagreement of interpretation of electrical laws and responsibilities regarding the commissioning of the electrical equipment and naming an accountable person who is in charge of the electrical equipment. These disagreements have originated from non-professional interpretation of electrical laws and specifications.

The source of information was mainly industry standards, laws, the company's internal guidelines and the manufacturer's manuals. Information and actual practices was gathered from experienced project engineers. Electrical standards and laws specify most mandatory tests and inspections that electrical devices need to undergo before system is ready and safe to take into use. Because the scope of this topic is so broad, it is not possible to represent all of the tests and inspections in detail. Most essential tests and the purpose of these test are described in detail. The purpose of this thesis is not be a guideline for testing and all the descriptions are general descriptions.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

LIITELUETTELO

KÄYTETYT LYHENTEET

1	JOHDANTO.....	8
1.1	Kehitystyön tausta.....	8
1.2	ABB lyhyesti.....	9
2	STANDARDIT.....	10
2.1	Standardoinnin tarkoitus	10
2.2	Mitä vaatimustenmukaisuus tarkoittaa	11
2.3	Vaatimustenmukaisuusarviointien eri tasot	11
2.4	Standardeista poikkeaminen	12
3	TEHDASTESTAUS (FAT).....	13
3.1	Relepaneelien ja kytkentäkotelojen tarkastus ja vastaanotto	13
3.2	Testauksien valmistelu	13
3.3	Suojaus- ja ohjauslaitteiden testaus	14
3.4	Signaalitestausta.....	16
3.5	Lukitukset ja ohjaukset	17
3.6	Raportit ja pöytäkirjat	19
3.7	Työturvallisuus	19
3.8	Asiakastestaus	21
4	TOIMINTA TYÖKOHTEESSA JA KÄYTTÖÖNOTTOTESTAUS	23
4.1	perehdytys Työmaahan	23
4.2	Työturvallisuus, riskien arviointi ja ympäristö	24
4.3	Testaussuunnittelu.....	26
4.4	Käyttöönottotestaukset (SAT)	26
4.5	Kaasueristeiset kytkinlaitokset (GIS)	27
4.5.1	SF6- kaasun kosteus ja täyttöpaine	29
4.5.2	SF6 kaasun tiheysmittaukset	31
4.5.3	Kaasutilojen tiiveys	32
4.5.4	Kiskon ja kojeiden jännitteenalennuksen mittausta.....	33

4.5.5	Paikallisohjauspaneelien testaus	35
4.5.6	Katkaisijoiden testaus.....	35
4.5.7	Erottimien testaus.....	37
4.5.8	Virtamuuntajat.....	39
4.5.9	Jännitemuuntajien tarkastukset	40
4.5.10	HV- testaus.....	41
4.5.11	SF6- kaasun käsittely	43
4.6	Ilmaeristeinen kytkinlaitos.....	44
4.6.1	Katkaisija.....	44
4.6.2	Erottimet.....	45
4.6.3	Virta- ja jännitemuuntajat	45
4.7	Maadoitusten ja kaapeloinnin tarkastus	46
4.8	Tehomuuntaja	47
4.9	Suojaus- ja ohjausyksiköiden testaus.....	47
4.10	Suojaus- ja muiden ohjauspaneelien tarkastus.....	48
4.11	Keskijännitekojeistot.....	48
4.12	Omakäyttö AC	49
4.13	Tasasähköjärjestelmä	50
4.14	Signaalitestaus.....	50
4.15	Muut järjestelmät	51
4.16	Maadoitukset.....	51
4.17	Raportit ja pöytäkirjat	53
4.18	Käyttökoulutus	54
5	KÄYTTÖÖNOTTO	56
6	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	60
	LÄHDELUETTELO.....	61

LIITELUETTELO**LIITE 1. Lukituskaavio 110 kV sähköasema****LIITE 2. GIS- pääkaavio****LIITE 3. Fingrid- verkkoon liittyjän kaavio****LIITTEET OPINNÄYTETYÖN 2. OSASSA**

Lyhenteet

AC	Vaihtosähkö
DC	Tasasähkö
EA1	Ensiapukurssi 1
FAT	Tehdastesti
GIS	Kaasueristeinen kojeisto
GOOSE	Generic Object Oriented Substation Events
HMI	Human Machine Interface
HV	Korkeajännite
LCC	Paikallisohjauskaappi
PD	Osittaispurkaus
RTU	Kaukokäytön ala- asema
SAT	Käyttöönottestaus
SCADA	Valvonta – ja ohjausjärjestelmä
SF6	Rikkiheksafluoridikaasu
VnA	Valtioneuvoston asetus

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö on tehty ABB PGGI Power Grids & Grid Integration Vaasan yksikölle. Yksikkö suunnittelee ja rakentaa asiakkaille sähköasemia kotimaahan ja ulkomaille. Yksikön asiakkaina ovat yleensä sähköverkkoyhtiöt, voimayhtiöt ja teollisuusyritykset. Projektit sisältävät tyypillisesti uuden sähköaseman suunnittelun ja toteutuksen, vanhan sähköaseman laajennuksen tai pelkästään suunnittelun ja komponenttitoimituksen. Suomen yksikkö työllistää noin 100 työntekijää /1/.

Opinnäytetyön aihe on tullut yksikön jatkuvan parantamisen kehitysideana. Kehitysideana on ollut saada myyntitarjouksen liitteeksi kuvaukset testausprosesseista ja niiden sisällöistä. Kuvauksien tarkoitus on antaa asiakkaalle yksityiskohtainen yleinen kuvaus tarjoukseen sisältyvistä laite- ja järjestelmäkohtaisista testauksista ja tarkastuksista. Tarjouksen liitteen tarkoitus on antaa asiakkaalle selkeä ja yksityiskohtainen kuva tarjouksen sisällöstä.

Aiheen laajuuden vuoksi opinnäytetyö rajattiin kotimaan projekteihin, sekä testien tärkeimpiin pääkohtiin. Opinnäytetyössä käsitellään myös testaukseen liittyviä standardeja. Opinnäytetyötä ei ole tarkoitettu työohjeeksi, vaan yleiseksi kuvaukseksi laitteiston testauksista ja sähkölaitteiston rakentajan ja haltijan vastuista sähköasemaprojektin eri vaiheissa.

1.1 Kehitystyön tausta

Joissain projekteissa on ollut epäselvyyttä, tai väärinkäsityksiä asiakkaan ja ABB:n välillä sovitun toimituksen sisällöstä ja sähkölaitteiston käyttöönottoon liittyvistä vastuukysymyksistä. Epäselvyydet ovat johtuneet sopimustekstien tai sähköalan lakien ja standardien erilaisista tulkinnoista. Tulkinnat eivät aina vastaa ABB:n ja sähköalan vakiintuneita käytäntöjä. Kehitysideana on saada tarjoukseen liitteeksi dokumentti, jossa kuvataan testausmenetelmät, standardit, lait, määräykset ja vaatimukset eri komponenteille ja laitteistoille. Tämän opinnäytetyön työn pohjalta laaditaan tarjoukseen liitettävä tiivistelmä tyypillisen kotimaan sähköaseman sähkölaitteiston testauksista ja lakeihin ja määräyksiin pohjautuvista tilaajan ja urakoitsijan vastuista.

1.2 ABB lyhyesti

ABB toimii kansainvälisesti noin sadassa eri maassa, kaikilla mantereilla ja on johtava yritys eri teollisuuden ja teknologian aloilla. ABB syntyi vuonna 1988, kun ruotsalainen ASEA ja Sveitsiläinen Brown Boveri yhdistyivät. Nykypäivänä ABB työllistää noin 147 000 henkilöä. Yrityksen liikevaihto vuonna 2018 oli 27,6 miljardia dollaria. ABB:n päätuoteryhmiä ovat sähköverkkoratkaisut, sähköistystuotteet, teollisuusautomaatio ja robotit /2-3/

Brown Boveri on perustettu vuonna 1891 Sveitsissä, kun Charles E. L. Brown ja Walter Boveri perustivat yrityksen, joka alkoi valmistaa sähkön tuottamiseen ja siirtoon tarvittavia laitteita. ASEA oli ruotsalainen yritys, joka perustettiin Tukholmassa vuonna 1883, kun Ludvig Fredholm perusti generaattoreita ja sähkövoiloja valmistavan Elektriska Aktiebolagetin /2/.

2 STANDARDIT

Tässä työssä tukeudutaan standardoinnin tuomiin hyötyihin laadun, suunnittelun ja testauksen yhdenmukaistamisen näkökulmasta. Standardoinnin tarkoitus ei ole kuvata tuotteen suunnitteluun liittyviä seikkoja, vaan tuotteen toimintaa ja käyttäytymistä. Standardointi antaa tuotteelle tarkat ja mitattavissa olet määrittelyt. Standardi määrittelee luotettavat ja toistettavissa olevat testausmenetelmät ja testauksen raja-arvot /5/.

Standardit eivät ole lakeja, eivätkö pakottavia ohjeita, vaan niiden tarkoitus on parantaa turvallisuutta, laitteiden yhteen sopivuutta ja kansainvälistä kauppaa. Standardoinnin pyrkimys on yhtenäistää tuotteiden, toimintojen ja käsitteiden moninaisuutta. Standardointi voidaan jakaa maailmanlaajuiseen, alueelliseen ja kansalliseen tasoon. Kansainvälisiä sähkötekniikan standardeja laatii IEC International Electrotechnical Commission, alueellinen sähköalan standardointijärjestö Euroopassa on Genelec European Committee for Electrotechnical Standardization ja kansallinen sähköalan standardointijärjestö Suomessa on SESKO. Alueellisen tason standardeja sovelletaan kansallisissa standardeissa ja niitä täydennetään niiltä osin, mitä kansainväliset standardit eivät määrittele. Standardoinnissa määritellään myös käsitteitä, mittayksiköitä, tunnuksia ja merkkejä. Näitä standardeja kutsutaan perusstandardeiksi. Perusstandardien tarkoitus on yhtenäistää käytettävää termistöä ja käsitteitä. Menetelmästandardit käsittelevät mittaus-, testaus- ja analyysimenetelmiä, toimitusehtoja ja työmenetelmiä. Tuotestandardit käsittelevät tuotteiden mitoitus- ja lajivalikoimaa, sekä ominaisuuksia kuten laatua, koostumusta, rakennetta ja turvallisuutta /5/.

2.1 Standardoinnin tarkoitus

Standardoinnilla on tärkeä rooli teknologian ja laitteistojen käytössä ja hankinnassa. Standardien tarkoitus on varmistaa, että valmistetut koneet ja laitteet täyttävät niille asetetut vaatimukset. Standardointi mahdollistaa vapaamman kilpailun yhteisillä säännöillä, tinkimättä tuotteiden tai palveluiden laadusta ja turvallisuudesta. Standardit yksinkertaistavat tuotteiden vertailua ja madaltavat kansainvälisen kaupan ja hyödykkeiden liikkuvuuden esteitä /5/.

2.2 Mitä vaatimustenmukaisuus tarkoittaa

Vaatimustenmukaisuuden arviointi tarkoittaa arviointia, joka määrittää, vastaako laite tai toiminta sille määritellyjä vaatimuksia. Määrittelyt tulevat tyypillisesti standardeista. Määrittely on tekninen kuvaus, jonka tuote, laite tai palvelu täytyy täyttää /5-8/.

2.3 Vaatimustenmukaisuusarviointien eri tasot

Vaatimustenmukaisuuden arviointeja on kolmea tasoa:

- valmistajan suorittama arviointi
- toisen osapuolen suorittama arviointi esim. asiakas tai valtio
- kolmannen osapuolen suorittama arviointi, jota yleensä kutsutaan sertifiointiksi.

Valmistaja tai toimittaja suorittaa yleensä itse kaikki laitteeseen liittyvät standardien mukaiset vaatimustenmukaisuusarviointit. Valmistaja tai toimittaja suorittaa vaaditut testit ja tarkastukset. Testeillä ja tarkastuksilla todetaan, että laite täyttää standardien sille asettamat vaatimukset. Valmistaja tai toimittaja tekee tästä arvioinnista raportin, tätä raporttia kutsutaan valmistajan vaatimustenmukaisuusvaikutukseksi /6-8/.

Toisen osapuolen suorittamalla vaatimustenmukaisuusarvioinnilla varmistetaan, että laite täyttää kaikki sitä koskevat standardit. Toisen osapuolen suorittama vaatimustenmukaisuusarviointi suoritetaan, kun lait tai määräykset sitä vaativat, mutta toisen osapuolen suorittamat vaatimustenmukaisuuden arvioinnit ovat harvinaisia. Toisen osapuolen suorittama vaatimustenmukaisuusarviointi korvataan yleensä kolmannen osapuolen vaatimustenmukaisuusarvioinnilla /6-8/.

Kolmannen osapuolen suorittaman vaatimustenmukaisuusarvioinnin tekee puolueeton osapuoli tai henkilö. Kolmannen osapuolen suorittamaa vaatimustenmukaisuusarviointia kutsutaan usein sertifiointiksi. Sertifikaatti on puolueeton ja itsenäisesti tuotettu vakuutus siitä, että tuote tai prosessi on turvallinen ja se täyttää kaikki sitä koskevat standardit /6-8/.

2.4 Standardeista poikkeaminen

Standardeja pyritään noudattamaan kaikissa tilanteissa, mutta niistä voidaan myös poiketa sähkölain ja valtioneuvoston asetuksen sähkölaitteista asettamin ehdoin. Standardeista voidaan poiketa sähköturvallisuuslain 1135/2016 34. § ja VnA sähkölaitteistoista 1434/2016 3.§ vaatimusten mukaisesti, jos voidaan todeta, että vaatimusten mukainen turvallisuustaso voidaan saavuttaa muilla keinoilla. Standardista poikkeaminen vaatii aina ennen työn aloittamista tehtävän kirjallisen selvityksen, jossa kuvataan miten valitut ratkaisut täyttävät kohteen olennaiset turvallisuusvaatimukset. Standardeista poikkeavaa ratkaisua ei saa tehdä ilman asiakkaan hyväksyntää ja kirjallista selvitystä, joka täyttää 1435/2016 3. § ja 1135/2016 34.§ vaatimukset. Standardeista poikkeamisesta tehty asiakirja on liitettävä sähkölaitteiston käyttöönottopöytäkirjaan. Ennen standardeista poikkeamisen toteuttamista on syytä pyytää ennakkohyväksyntä tai lausunto standardeista poikkeamisesta sähkölaitteiston tarkastukseen valtuutetulta laitokselta tai tarkastajalta /16,31/.

3 TEHDASTESTAUS (FAT)

FAT- testauksen tarkoitus on varmistaa, että laitteet ovat valmistettu suunnitelmien mukaan ja ne toimivat käyttötarkoituksen mukaisesti. Lähtökohtaisesti FAT- testauksessa suoritetaan kaikki ne testit ja tarkastukset, jotka voidaan testitiloissa järjestää. FAT- testauksessa tehtyjä testejä ei suoriteta uudelleen käyttöönottestauksessa (SAT) ilma perusteltua syytä. Asiakkaalla on mahdollisuus osallistua niin sanottuun asiakas FAT- testaukseen, jossa käydään läpi testausohjelman mukaiset testit ja laitteiden toiminnallisuudet. Asiakas voi tässä vaiheessa esittää mahdollisia korjauksia testattaviin järjestelmiin. ABB:n sisäisessä ohjeessa FAT- tehdastarkastuksista kuvataan yksityiskohtaisesti testauksen käytäntöjä ja laitteille tehtäviä tarkastuksia /9/.

3.1 Relepaneelien ja kytkentäkotelojen tarkastus ja vastaanotto

Ensimmäisenä testattavat paneelit ja kotelot tarkastetaan mahdollisten kuljetusvaurioiden varalta. Tarkastus tehdään heti laitteiden saavuttua testialueelle, mahdolliset kuljetusvauriot reklamoidaan kuljetuksesta vastaavalle yritykselle. Tavaroitten vastaanotossa tarkastetaan myös, että kaikki tilatut paneelit on toimitettu.

Tehtävät tarkastukset:

- paneelien kalustus
- merkintöjen ja kilpien vastaavuus
- paneelien pintakäsittely ja värisävy
- pulttien ja osien kireys ja kiinnitys
- kääntökehysten ja oven toiminta
- laitteiden IP- luokan vastaavuus
- kojeiden ja laitteiden nimellisarvo
- testipöytäkirjat ja asennuksessa käytetyt piirustukset /9/.

3.2 Testauksien valmistelu

Ennen testauksien aloittamista kaikki testattavat paneelit maadoitetaan. Ennen apusähköjen kytkemistä tarkastetaan paneelien testauspöytäkirjoista, että paneel-

lien eristysvastusmittaus ja jännitekoe on tehty standardin IEC 61439-1 mukaan ja testit on tehty tarkoituksenmukaisella mittalaitteella. Releiden ja muiden asema-verkkoon kytkettävien laitteiden kommunikointien kytkentä tehdään ennen testauksien aloittamista. Kommunikoinnin kytkentä ja releiden IP- osoitteiden asettelu helpottaa ja nopeuttaa releiden konfigurointia, kun se voidaan tehdä ns. asema-verkon kautta, samalla varmistetaan, että laitteiden kommunikointi toimii aseman SCADA- järjestelmän ja releiden välillä /9/.

3.3 Suojaus- ja ohjauslaitteiden testaus

Suojaus- ja ohjauslaitteiden toiminta ja asettelujen oikeellisuus testataan numeeristen releiden testaukseen tarkoitettulla testilaitteella. Suojaus- ja ohjauslaitteiden asettelut testataan ns. toisiotestauksena. Toisiotestauksessa simuloidaan vika- tai käyttötilanne syöttämällä suojaus- tai ohjauslaitteeseen kentän mittamuuntajien muuntosuhteiden mukaisesti virtaa ja jännitettä eri vaihekulmissa ja amplitudilla. Toisiotestauksessa simuloidaan todellisia käyttö- tai vikatilanneita. Testilaitteessa on lisäksi ohjelmoitavia tuloja ja lähtöjä. Kuvassa 1 on esimerkki vaatimukset täyttävästä reletestauksen testilaitteesta ja sen ominaisuuksista.

CMC 356: 6 Phase Current + 4 Phase Voltage Test Set and Commissioning Tool

Protection Relay Test Set

- High-burden electromechanical relays
- Static relays
- Numerical relays
- IEC 61850 IEDs (GOOSE and Sampled Values)
- Relay panels
- End-to-End testing with GPS or IRIG-B
- Busbar protection (up to 22 signal generators)

Power System Simulator

- Transient fault simulation
- Power swing
- CT saturation simulation
- CB simulation
- Rogowski coil simulation
- Compensated network
- Transient playback (COMTRADE, PL4 (EMTP), ...)

Programmable Voltage and Current Source

- Research & development
- Production quality assurance

Universal Tool for Substation Commissioning

- Checking SCADA annunciations
- Burden measurement
- CT/VT polarity checker
- Wiring checker
- Plausibility check for CT/VT with primary injection

Portable 10-Channel Measurement Device¹

- Transient recording (trigger: binary, PQ, GPS)
- Multimeter for: I, V, f, S, P, Q, cos φ ...
- Trend recording for: I, V, f, S, P, Q
- Harmonics analysis

Kuva 1. Omicron CMC 356 ominaisuudet.

ABB:n käyttämät suojaus- ja ohjauslaitteet täyttävät niitä koskevat standardit ja mallisarja on tyyppitestattu standardin vaatimusten mukaisesti. Suojaus- ja ohjauslaitteet on valittu joko omasta valikoimasta tai asiakkaan projektin vaatimusten mukaisen valmistajien valikoimasta.

Nykyaikaiset suojaus- ja ohjauslaitteet ovat monipuolisia ja sisältävät paljon toimintoja, joten on haastava tehdä lyhyttä ja yksiselitteistä kuvausta niiden testaukseen. Suojaus- ja ohjauslaitteita kutsutaan puhekielessä usein myös suojareleiksi, tai vain releiksi. Releiden testauksessa otetaan huomioon asiakkaan vaatimukset relesuojaukselle, relevalmistajan tekniset manuaalit ja testauksessa käytettävän mittalaitteen ohjeet.

Reletestauksessa testataan seuraavat suojareleen toiminnot

- suojausien toiminta
- asetteluiden testaus, jos käytettävissä

- konfigurointi

Reletestauksessa käytettävien testilaitteiden tulee olla tarkastettuja ja laitteiden ka-
libroinnin tulee olla voimassa. Syöttämällä virtaa ja jännitettä tarkistetaan, että
releiden mittauksen sekä suojaus- ja jännitepiirit ovat piirikaavion mu-
kaisia ja niiden skaalaukset ovat oikein.

Reletestauksessa otetaan huomioon asiakkaan vaatimukset ja ohjeet reletestauk-
sesta, relevalmistajan ohjeet, ABB:n sisäiset ohjeet ja testilaitteen valmistajan oh-
jeet /9/.

Releiden testauksista tallennetaan raportti, jossa on tiedot testattavasta laitteesta,
testitapahtumasta, testauksessa käytetyistä asetteluista ja lopputuloksesta. FAT-
testauksessa testataan simulaattorin avulla releen ohjaus- ja laukaisupiirien toi-
minta, sekä katkaisijoiden ja erottimien ohjauspiirit ja asentoindekoinnit.

3.4 Signaalitestausta

Sähköaseman ohjaukseen ja valvontaan käytetään SCADA- tai RTU- laitteita, joi-
ta kutsutaan yleisnimityksellä ala-asema. SCADA, josta käytetään myös HMI
nimitystä, mahdollistaa sähköaseman ohjaus- ja suojausreleiden keskitetyn Win-
dows- pohjaisen paikallisohjauksen ja hälytysten käsittelyn. RTU:n kautta sähkö-
asemaa voidaan valvoa ja ohjata etävalvomosta. RTU liikennöi tyypillisesti säh-
köaseman ja asiakkaan valvomon välillä IEC 60870-5-104 tai IEC 60870-5-101-
protokollaa käyttäen. RTU muuttaa sähköasemilla käytettävän IEC 61850- proto-
kollan IEC 60870-5-104- tai 60870-5-101- protokollaksi. Pienellä sähköasemalla
on tyypillisesti vain RTU, mutta esimerkiksi kantaverkon sähköasemilla on yleen-
sä RTU- ja SCADA- järjestelmät.

Signaalitestausta testataan, että suojaus- ja ohjausyksiköiden signaalit tulevat
ala- asemalle, eikä signaalilistasta puutu signaaleja. Ala- asemalaitteiden konfigu-
raatio, ohjaukset ja asentoindekoinnit testataan simulaattorin avulla. Aseman käyt-
töliittymän toiminnot ja hälytykset testataan ja todetaan, että kaikki toimii suunni-
tellusti. Signaalitestausta tehdään yhteistyössä SCADA- tai RTU- järjestelmän
suunnittelijan kanssa. Signaalitestausta suoritetaan projektille laaditun signaalilistan

mukaan. Kaikki signaalilistan signaalit testataan ja todetaan niiden toiminta suo-
jaus- ja ohjausyksiköltä asemaväylän kautta ala-asemalle. Signaalitestauksessa
havaitut viat ja puutteet korjataan testauksen aikana.

Signaalilista tehdään projektikohtaisesti, joko asiakkaan spesifikaation mukaan,
tai ABB:n vakiintuneiden käytäntöjen mukaan. Asiakaskohtaisten määrittelyjen
mukaisesti valmiiseen signaalilistaan lisätään IEC 60870-5-104 signaalien osoite-
teet signaalilistan IEC 61850 signaalien riveille. Signaalilista lähetetään asiakkaal-
le tarkastettavaksi ennen FAT- testien aloittamista, jotta mahdolliset korjaukset
ehditään tekemään ennen testien aloittamista. Asiakkaan kaukokäytöstä vastaavat
henkilöt ohjelmoivat asiakkaan kaukokäyttöjärjestelmään signaalit projektin sig-
naalilistan IEC 60770-5-104 osoitteiden mukaisesti /32/.

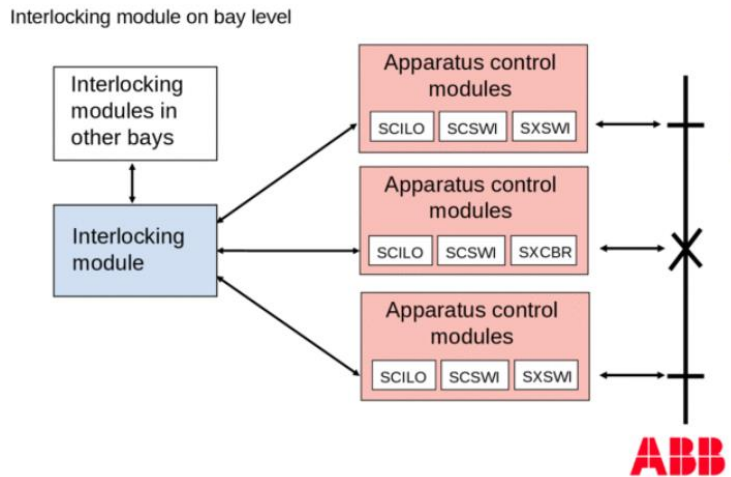
Signaalitestausta tehdessä asiakkaan käyttökeskukseen käyttäen
väliaikaista viestiyhteyttä, on havaittu kustannustehokkaaksi ja luotettavaksi ta-
vaksi toteuttaa signaalitestausta. Signaalitestausta tehdessä on projek-
tien tarjoukseen sisältyvä käytäntö, ellei toisin mainita. Käyttöönototestauksessa
(SAT) ei tarvitse testata signaalilistan kaikkia signaaleja ala-aseman ja ylätasen
välillä, tämä vähentää päällekkäistä testausta ja nopeuttaa aseman SAT- testausta.

3.5 Lukitukset ja ohjaukset

Ohjauslaitteen ohjelmoitujen lukitusten on tarkoitus olla viimeinen este virheellis-
ten kytkentöjen tekemiselle sähköasemalla. Lukitusten testauksella varmistetaan
niiden toiminta laaditun lukituskaavion mukaan. Ohjausyksikön lukitukset ovat
ohjelmallisia ja yksi ohjausyksikkö hoitaa tyypillisesti yhden kentän laitteiden lu-
kitukset kuvan 2 mukaisesti. Lukitusten testaukset suoritetaan simulaattorin
avulla. Simulaattorilla simuloidaan HV- laitteiden asentoindikoinnit ja ohjaukset.
Mahdolliset ulkoiset lukitukset simuloidaan kytkentäjohdoilla tai PCM600- oh-
jelmalla jos lukitussignaaleja tulee GOOSE- signaalina. Lukitusten testauksessa
simuloidaan kaikki mahdolliset käyttötilanteet ja lukituskaavion mukaisten luki-
tusehtojen toiminta. Lukitusten testaus dokumentoidaan maalaamalla piirikaavi-
osta testatut ja toimivaksi todetut piirit ja signaalit. Kuvassa 3 on esimerkki kentän
laitteiden lukituksista. Kuvassa nähdään, että kentän kaikki laitteet katkaisijaa

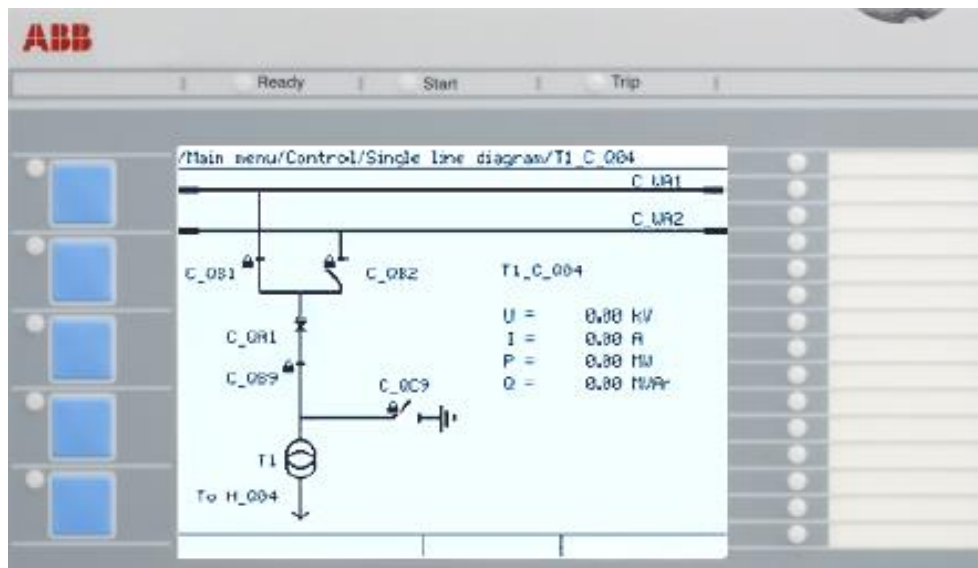
QA1 lukuun ottamatta, ovat lukittu. Ohjelmallista lukitusta symboloi lukon kuva laitteen symbolin kohdalla /9,10/.

Interlocking



Kuva 2. REC670- lukituslohkon toiminta.

Ohjaukset testataan paneelin riviliittimille kytkettävän simulaattorin avulla. Simulaattoriin on ohjelmoitu ohjattavat HV- kytkinlaitteet ja niiden nimellinen toiminta-aika. Simulaattorilla varmistetaan, että suojareleen ohjaukset, asentoindikoinnit toimivat piirikaavion mukaisesti ja Local HMI- näytöllä näkyvät kytkinlaitteiden asentotiedot. Lukitukset, asentoindikoinnit ja ohjaukset testataan samalla Local HMI- näytöstä ja aseman SCADA- järjestelmästä. Opinnäytetyön 2. osassa liitteessä 1. on esimerkki tyypillisestä lukituskaaviosta /9, 10/.



Kuva 3. REC 670 HMI- lukitukset.

3.6 Raportit ja pöytäkirjat

Raportit ja pöytäkirjat ovat tärkeä osa työn dokumentointia ja laadun varmistamista. Kaikista testatuista releistä tallennetaan testilaitteen testiraportit, viimeisin versio signaalilistasta ja relekonfiguraatioista.

- FAT- pöytäkirja
- reletestien testipöytäkirja
- piirikaaviot maalattuna ja punakynämerkinnöin
- päivitetyt signaalilistat
- viimeisimmät relekonfiguraatiot.

Punakynämerkityt piirikaaviot skannataan FAT- testien jälkeen ja piirikaavioihin tehdyt muutokset ja korjaukset päivitetään sähköisiin piirikaavioihin ja tiedostoihin.

3.7 Työturvallisuus

ABB:n ohje määrittelee työturvallisuudesta ja testitiloissa toimimisesta, sekä vaatimukset testitiloissa työskentelevien henkilöiden perehdytyksestä, vaadituista

koulutuksista ja riittävästä ammattitaidosta. FAT- testauksesta ja testitilojen turvallisuudesta vastaa yrityksen sähkötöiden johtaja. Sähkötöiden johtaja varmistaa, että jokainen testialueella työskentelevä työntekijä on saanut perehdytyksen testialueella työskentelyyn ja on suorittanut kaikki vaadittavat koulutukset. SFS 6002-sähköturvallisuusstandardin määritelmä: ”Testaus sisältää kaikki toiminnot, joilla tarkistetaan sähkölaitteiston toimintaa tai sen sähköistä, mekaanista tai termistä kuntoa. Testaus sisältää myös toiminnot, joilla kokeillaan esimerkiksi sähköisten suoja- ja turvapiirien toimiminen. Testauksen tekijöiden pitää olla ammattihenkilöitä tai opastettuja henkilöitä. Maallikot esimerkiksi harjoittelijat saavat tehdä testauksia vain ammattihenkilön välittömästi ohjaamana ja valvomana” /9,11/.

Testitiloissa saa työskennellä itsenäisesti vain sähköalan ammattilaiset. Testialueella työskentelevät harjoittelijat/ kesätyöntekijät tarvitsevat esimiehen myöntämän ABB:n ohjeiden mukaisen harjoitteluluvan. Testitiloissa sähkötöitä tekevillä henkilöillä on oltava voimassa seuraavat koulutukset ja pätevyudet:

- työturvallisuuskortti
- sähkötyöturvallisuuskortti
- sähkötöiden hätäensiapukoulutus tai EA1 koulutus
- jännitetyökoulutus.

Testialueella työskentelevät henkilöt vastaavat, että sähkötöissä käytettävät työkalut ovat työhön soveltuvia, turvallisia ja asianmukaisessa kunnossa. Rikkinäiset tai vialliset työkalut, laitteet ja kytkentäjohdot poistetaan käytöstä ja raportoidaan tilasta vastaavalle henkilölle /9,11/.

Projektikohtaisten sähköturvallisuusorganisaation vastuuhenkilöiden yhteystiedot asetetaan testialueella näkyvälle paikalle ennen testauksien aloittamista. Vastuuhenkilöillä on oikeus purkaa kytkennät, jotka eivät ole määräysten mukaisia. Jokaisella on velvollisuus puuttua sähköturvallisuuteen liittyviin puutteisiin ja epäkohtiin ja niistä on informoitava testitilan sähköturvallisuudesta vastaavaa henkilöä. /14/.

Kaikki testialueelle tulevat henkilöt perehdytetään ABB:n ohjeiden mukaan. Perehdytyksestä on laadittu erillinen muistilista, joka tallennetaan projektihakemistoon, tai esimiehen toimesta asianmukaiseen tiedostoon. Testialueelle tulevat vieraat perehdytetään vierailevien henkilöiden ja alueella työskentelevien henkilöiden turvallisuuden parantamiseksi. Vierailusta vastaava isäntä vastaa vierailijoiden perehdyttämisestä /9/.

Vierailevien henkilöiden mukana on oltava aina sähköalan ammattilainen. Vieraillevien ryhmien koko on rajattava sellaiseksi, että isäntä pystyy valvomaan ja ohjaamaan ryhmää jatkuvasti /9/.

3.8 Asiakastestaus

Asiakastestauksella tarkoitetaan tilaisuutta, jossa laitteisto tarkastetaan ja testataan asiakkaan, tai asiakkaan edustajan valvonnassa ennalta sovitun ohjelman mukaan. ABB laatii asiakastestauksesta suunnitelman ja aikataulun, joka toimitetaan asiakkaalle hyväksyttäväksi. Asiakastestauksen kesto riippuu testattavan laitteiston määrästä ja asiakkaan vaatimuksista testauksien laajuuteen. Ennen asiakastestauksen suorittamista kaikilla teknisillä ratkaisuilla ja piirikaaviolla tulisi olla asiakkaan hyväksyntä. Näin vältetään epäselvyydet laitteiston asennuksessa ja käyttöönotossa.

Tyypillisesti asiakastestaus kestää yhden päivän ja sisältää

- aloituspalaverin ja turvallisuusinfon
- asiakastestausohjelman läpikäynnin
- testattavien laitteiden visuaalisen ja mekaaninen tarkastuksen
- tyyppikenttien releiden indikoinnit, ohjaukset, lukitukset ja hälytykset
- tyyppikenttien relesuojauksen testauksen
- energiamittauksien testauksen
- SCADA- testauksen
- piirikaavioiden ja raporttien tarkastuksen

- lopetuspalaverin
- FAT- pöytäkirjan laatimisen.

Asiakastestaus on asiakkaalle ja ABB:lle tärkeä tilaisuus, koska se on mahdollisuus tarkastaa laitteisto ja varmistaa, että laatu ja toiminnallisuudet vastaavat laitteistoa koskevia standardeja ja projektin teknisessä kuvauksessa asetettuja vaatimuksia.

Asiakastestauksen yhteydessä laaditaan puutelista laitteistossa kohteista tai teknisistä ratkaisuista, jotka asiakkaan tai asiakkaan edustajan mielestä eivät ole standardien tai projektin teknisen kuvauksen mukaisia. Listan kohteiden korjauksesta ja korjauksien hyväksyttämistä sovitaan asiakkaan kanssa tapauskohtaisesti. Jos asiakas ei ole vakuuttunut laitteiston toiminnasta tai teknisistä ratkaisuista, voidaan asiakastestaus suorittaa tarvittaessa uudestaan /12/.

4 TOIMINTA TYÖKOHTEESSA JA KÄYTTÖÖNOTTO-TESTAUS

SAT-testauksilla tarkoitetaan työmaalla tehtävää sähköaseman ABB:n toimituksen sisältävien järjestelmien testausta. SAT-testaukset sisältävät kaikkien sopimukseen sisältyvien järjestelmien testauksen. SAT-testausten laajuuden vuoksi testauksia voi olla suorittamassa useita eri järjestelmien asiantuntijoita. Testauksia johtaa projektin pääsuunnittelija tai vastaava henkilö, jolla on riittävän laaja kokemus ja osaaminen sähköaseman käyttöönotto tehtävistä.

4.1 perehdytys Työmaahan

Työmaapäällikkö tai muu työmaasta vastaava henkilö vastaa työmaaperehdytyksen antamisesta työmaalle saapuville työntekijöille. Työturvallisuuslaki 2002/738 14 § velvoittaa, että jokaiselle työntekijälle on annettava riittävät tiedot työpaikan haitta- ja vaaratekijöistä sekä huolehdittava, että työntekijä perehdytetään työhön ja työskentelypaikan työolosuhteisiin. Päätoimeksittäjä vastaa aliorakoitsijoiden työntekijöiden perehdytyksestä. /13,14/.

Perehdytys sisältää:

- työntekijän pätevyyksien ja osaamisen arvioinnin
- työturvallisuuden, turvallisten työtapojen ja henkilökohtaisten suojavälineiden käytön
- työturvallisuusorganisaation läpikäynnin
- työmaan esittelyn
- perehdytyksen työmaan vaarojen tunnistamiseen
- työntekijöiden puku- ja taukutilojen esittelyn
- työkohteen kulkureittien ja käytäntöjen läpikäynnin
- käytännöt vaaratilanteista ilmoittamiseen ja niihin puuttumiseen.

Perehdytyksessä käydään läpi työmaalla työskentelevien henkilöiden ja urakoitsijoiden vastuut ja työtehtävät. Suoritettua perehdytyksestä täytetään lomake, jonka perehdytettävä tarkastaa ja allekirjoituksellaan vahvistaa /13-15/.

4.2 Työturvallisuus, riskien arviointi ja ympäristö

Työntekijöiden terveys, työturvallisuus, ympäristö ja kestävä kehitys ovat keskeinen osa yrityksen strategiaa ja arvoja, joiden edistämiseen ja kehittämiseen on sitouduttu ABB:n kaikilla toiminnan tasoilla ja osa-alueilla. ABB:n tavoitteena on eliminoida työtapaturmat ja työperäiset sairaudet. ABB pyrkii minimoimaan toiminnasta aiheutuvan ympäristön kuormituksen sekä kehittämään toimintaa ilmastomuutoksen ehkäisemiseksi. ABB edistää ”don’t look the other way” työkultuuria osana jokaisen työntekijän velvollisuutta puuttua havaittuun riskiin tai vaaralliseen toimintaan, sekä aktiivista riskien tunnistamista työturvallisuutta /17/.

ABB:n keskeinen tavoite on tilatun kokonaisuuden toimittaminen turvallisesti ”nolla tapaturmaa”- periaatteen mukaan. ”Nolla tapaturmaa”- periaatteen mukaisesti jokainen tapaturma on estettävissä /15/.

Jokaiselle projektin suunnitteluvaiheessa laaditaan valtioneuvoston asetuksen 205/2009 rakennustyön turvallisuudesta mukainen turvallisuus- ja ympäristöasiakirja. Turvallisuus- ja ympäristösuunnitelman tarkoitus on tunnistaa projektin riskit ihmisten terveydelle, turvallisuudelle ja hyvinvoinnille, sekä mahdolliset ympäristövaikutukset. Turvallisuus- ja ympäristösuunnitelmaan kirjataan myös tilaajan ja toimittajan vastuut turvallisuudesta /15/.

Turvallisuus- ja ympäristöasiakirjaan kirjataan työmaan

- työmaapäällikön vastuut
- turvallisuusasioiden yhteyshenkilöt
- työsuojeluorganisaatio
- tilaajan ja toimittajan vastuut turvallisuudesta
- projektipäällikön vastuut
- suunnittelijoiden vastuut
- käyttönottajien vastuut
- sähkötöiden johtaja.

Riskien tunnistaminen ja havaittujen riskien hallintatoimenpiteet tulee olla riittäväällä tasolla havaittujen riskien poistamiseksi tai pienentämiseksi. Turvallisuusasiakirja- ja ympäristösuunnitelma laaditaan tarjousvaiheessa rakennuttajan laatiman turvallisuusasiakirjan ja työmaan tutustumiskäyntien pohjalta. Turvallisuusasiakirja pidetään ajan tasalla projektin edetessä ja siirryttäessä projektin vaiheista toiseen, esimerkiksi rakennustöiden, asennustöiden ja testauksien alkaessa. Projektipäällikkö vastaa turvallisuus- ja ympäristösuunnitelman ylläpidosta /15/.

Työkohteen jokaisen työntekijän vastuulla on havainnoida mahdolliset riskikohteet ennen työskentelyn aloittamista. Työskentely tunnistettujen riskien kohteissa suunnitellaan kuvan 4 toimenpidehierarkian mukaan. Tarvittaessa tehdään kirjallinen riskikartoitus ja työskentelyohje tällaisissa työkohteissa työskentelevälle henkilöstölle.



Kuva 4. Työturvallisuuden toimenpidehierarkia.

Sähköturvallisuuslain 1135/2016 54. § mukaan: ”sähkötöillä tarkoitetaan sähkölaitteen korjaus- ja huoltotöitä sekä sähkölaitteiston rakennus-, korjaus- ja huoltotöitä”. Sähkötöityturvallisuuslain 73.§ määrittelee vaatimukset sähköalan ammattihenkilölle, jotta henkilö on riittävän ammattitaitoinen valvomaan ja työskentelemään itsenäisesti /16/.

Sähkötöiden johtaja vastaa, että

- sähkötöissä noudatetaan sähköturvallisuuslakia

- sähkölaitteet- ja laitteistot ovat sähköturvallisuuslain edellyttämässä kunnossa ennen käyttöönottoa tai toiselle luovuttamista
- sähkötöitä tekevät henkilöt ovat ammattitaitoisia ja riittävästi tehtäviinsä opastettuja /16/.

4.3 Testaussuunnittelu

Testauksien suunnittelu lisää työturvallisuutta, parantaa testauksia tekevän työryhmän ja työmaalla työskentelevien työryhmien yhteistyötä. Testauksien suunnittelulla pyritään välttämään päällekkäisyyksiä testauksessa. Suunnitelmassa käydään läpi kohteessa suoritettavien testit, testien vaatimukset ja testitulosten kirjaaminen. Suunnittelulla vältetään mahdollisia väärinkäsityksiä ja parannetaan työturvallisuutta testauksista vastaavan henkilöstön ja aliurakoitsijoiden välillä.

4.4 Käyttöönottotestaukset (SAT)

Käyttöönotto- eli SAT- testaukset voidaan aloittaa, kun kaikki sähköaseman tärkeimmät komponentit on asennettu ja työmaapäällikkö tai muu työmaasta vastaava henkilö on tarkastanut ja hyväksynyt asennukset, apusähköjärjestelmät ovat valmiina, tarkastettu ja testattu standardien mukaan. SAT- testauksista käytetään ABB:llä joskus puhekielessä termiä käyttöönotto, tällöin tarkoitetaan käyttöönottotestauksia. Käyttöönottotestauksien ja käyttöönoton ero käsitellään yksityiskohdaisesta kappaleesta viisi.

SAT- testaukset voidaan jakaa yksittäisiin ja integroituihin testeihin. Yksittäinen testi on katkaisijan toiminnan testaus ja integroitu testi, esimerkiksi katkaisijan ohjaus SCADA järjestelmän kautta. Kaikkien aseman laitteiden asennus ja toiminta tarkastetaan ja varmistetaan erikseen laitekohtaisesti ennen integroitujen testien aloittamista /18/.

Tyyppihyväksytyjen tehdasvalmisteisten laitteiden ja kojeiden tarkastus ja testaus tehdään lähtökohtaisesti valmistajan ohjeiden mukaan. Sähköaseman laitteille on suoritettava laitestandardeissa ja hankekuvauksessa määritellyt tarkastukset ja tes-

tit. SFS 6001:2018- standardi suurjänniteasennuksista kappaleessa 14 ja liitteessä NA 14 on luettelo sähkölaitteelle yleensä tehtävistä tarkastuksista ja testauksista. /4,18,19/.

4.5 Kaasueristeiset kytkinlaitokset (GIS)

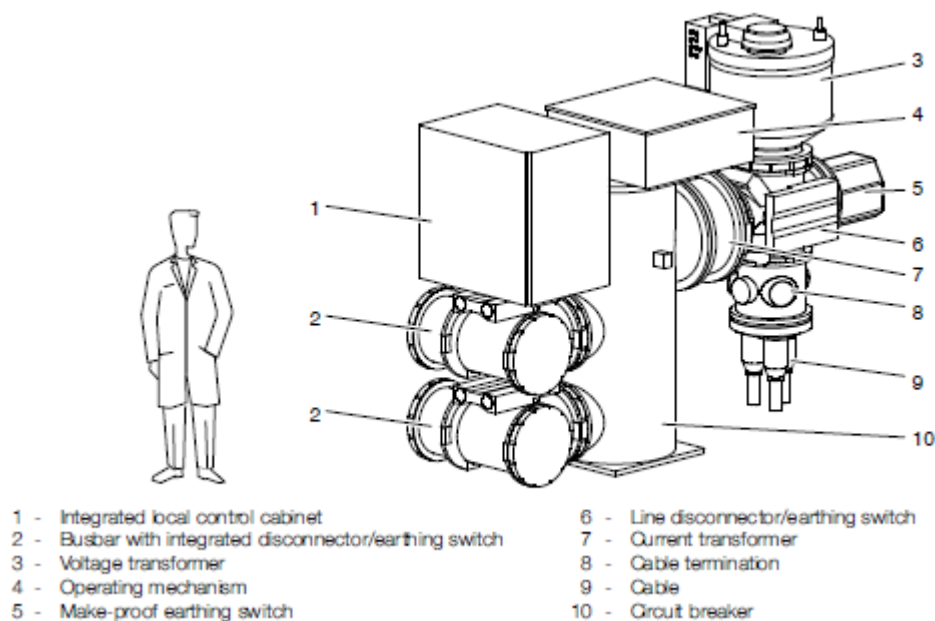
GIS- kojeisto on suljettu SF6- kaasulla eristetty kojeistokokonaisuus, jolla saadaan aikaan kompakti sähköasema. GIS- kojeiston koko on vain noin 5 % vastaavan kokoisen ilmaeristeisen kytkinkentän koosta. Pienemmän kokonsa vuoksi GIS- kojeisto on hyvä vaihtoehto kaupungeissa tai kohteissa, missä käytettävissä oleva tila on rajallinen. ABB ELK-04 145 kV GIS- kojeisto toimitetaan kuvan 5 mukaisina moduuleina, jotka liitetään toisiinsa työmaalla. Kaikki ABB:n valmistamat GIS- kojeistot täyttävät niitä koskevat IEC- ja VDE- standardit /19/.

Tässä kappaleessa käytetään esimerkkinä ABB ELK-04 145 kV GIS- kojeiston ohjeita testeistä ja tarkastuksista. Testeillä ja tarkastuksilla varmistetaan, että kojeistoon ei ole tullut vaurioita kuljetuksen aikana ja kojeisto ja sen komponentit toimivat standardien ja määräyksien mukaan. Integroituja testejä ei käsitellä tässä kappaleessa. Kaikki testit ja tarkastukset tehdään ennen korkeajännitteen kytkemistä laitteistoon /19,21/.

GIS- kojeiston moduuleille suoritetaan tehtaalla IEC- 62271- 203- standardin mukaiset rutiinitestit, joihin sisältyy mm. GIS- kojeiston PD- eli osittaispurkauskoe. Osittaispurkauskokeella voidaan havaita GIS- kojeiston kaasutilassa olevien kiskojen pinnoilla tapahtuvia koronapurkauksia, tai mahdollisia kaasutilassa tapahtuvia osittaispurkauksia.

Osittaispurkaus SF6 kaasueristeisen kojeiston kaasussa on erittäin epätodennäköinen, koska SF6- kaasu on homogeeninen eristeaineine. Osittaispurkaus tapahtuu, kun sähkökentän voimakkuus ylittää kyseisen eristyskohdan sähkölujuuden. Osittaispurkaus tapahtuu tyypillisesti kiinteän eristemateriaalin ontelossa, kun sähkökentän voimakkuus ylittää eristemateriaalin ontelossa olevan ilman tai muun materiaalin sähkölujuuden /31/.

SAT- testaus ei lähtökohtaisesti sisällä osittaispurkauskoetta, ellei sitä ole erikseen mainittu projektin tarjouspyynnössä ja asiakkaalle tehdyssä tarjouksessa. Osittaispurkauskoetta voidaan silti suorittaa asiakkaan niin vaatiessa, tällöin kokeesta aiheutuvat kustannukset laskutetaan asiakkaalta /19,21/.



Kuva 4. ABB GIS ELK-04 145 kV moduulin komponentit.

Standardit ja laitteiston valmistajan ohjeet määrittelevät GIS- kojeiston SAT- testauksien sisällön. Paikallisia ja kansallisia turvallisuusmääräyksiä täytyy noudattaa, jos niiden vaatimukset ovat tiukemmat kuin valmistajan ohjeiden- tai standardien vaatimukset. Kaasueristeiselle kojeistolle tehtävät testit ja tarkastukset perustuvat standardeihin IEC 62271- 203 ja IEEE C37.122 /19/.

GIS- kojeiston käyttöönotto-ohje sisältää kojeiston valmistajan laatimat yksityiskohtaiset ohjeet kojeistolle tehtävistä testeistä, tarkastuksista ja pohjat käyttöönotosta tehtävistä pöytäkirjoista.

GIS- kojeistolle tehtävät testit ja tarkastukset:

- kaasun kosteus ja täyttöpaine
- kaasun tiheysmittareiden tarkastus
- SF6 kaasutilojen tiiveys
- kiskon jännitteenalenema (ylimenovastus)
- ohjauskaappien tarkastus
- katkaisijan toiminta-ajat ja yleiset tarkastukset
- erottimien tarkastus
- maadoituseroittimien tarkastus
- maadoituskytkimen tarkastus
- HV- testi /19/.

4.5.1 SF6- kaasun kosteus ja täyttöpaine

Kaasun kosteuden ja täyttöpaineen tarkastuksessa mitataan jokaisen kaasutilan täyttöpaine ja SF6- kaasun kastepiste. Taulukossa 1 on esimerkki kosteuden ja täyttöpaineen pöytäkirjasta /19,20/.

Taulukko 1. SF6- kaasutilojen kosteus ja painemittaukset.



On-Site Test
Protocols for Commissioning

Moisture and filling pressure measuring

Measuring instrument type.....: Dilo 3-038R-R303

Inventory no.....: 2000004328

Conversion (pressure).....: 100 kPa = 1 bar

Table 1: Measuring of moisture and filling pressure

Bay	SF ₆ -Gas compartment	Filling pressure kPa	Date of Filling	Dew point at filling pressure (°C)	Ambient temperature (°C)	Date of measurement	Signature	Remarks
AE12	BH01	700	10.4.2018	-19,1	20	18.4.2018		
	BH05	700	10.4.2018	-39,5	20	18.4.2018		
	BH09	600	10.4.2018	-35,1	20	18.4.2018		
	BH11	600	10.4.2018	-39,5	20	18.4.2018		
	BH12	600	10.4.2018	-41,1	20	18.4.2018		
	BH21	600	10.4.2018	-40,4	20	18.4.2018		
	BH22	600	10.4.2018	-40,9	20	18.4.2018		
	BH101	600	10.4.2018	-42,1	20	18.4.2018		
	BH102	600	10.4.2018	-41,8	20	18.4.2018		
	BH103	600	10.4.2018	-41,3	20	18.4.2018		
	BH201	600	10.4.2018	-41,1	20	18.4.2018		
	BH202	600	10.4.2018	-42,0	20	18.4.2018		
	BH203	600	10.4.2018	-41,1	20	18.4.2018		
AE13	BH01	700	10.4.2018	-18,9	20	18.4.2018		
	BH05	700	10.4.2018	-39,8	20	18.4.2018		
	BH09	600	10.4.2018	-36,5	20	18.4.2018		
	BH11	600	10.4.2018	-39,0	20	18.4.2018		
	BH12	600	10.4.2018	-40,6	20	18.4.2018		
	BH21	600	10.4.2018	-39,3	20	18.4.2018		
	BH22	600	10.4.2018	-41,7	20	18.4.2018		
	BH101	600	10.4.2018	-41,0	20	18.4.2018		

Note The graph of dewpoint can be found in appendix A

Tested:

Approved:

4.5.2 SF6 kaasun tiheysmittaukset

Kaasun tiheysmittauksien tarkastuksessa testataan kaikkien kaasutilojen tiheysmittauksien toiminta ja hälytysrajojen asettelu. Taulukossa 2 on esimerkki kaasun tiheysmittareiden testipöytäkirjasta /20/.

Taulukko 2. SF6- kaasun paine- ja hälytysrajat.



On-Site Test
Protocols for Commissioning

Gas density relay

Measuring instrument type:..... DILO SK-509-R010

Inventory no.:..... 359

SF₆ pressure (measured actual value):..... see table 1

SF₆ filling pressure (default value):..... see appendix B

Table 1: SF₆ pressures

Bay	Gas density relay	Contact / signal level	T _u °C	SF ₆ - filling pressures		Remarks
				Default	Actual	
				at ambient temperature		
kPa (100 kPa = 1 bar)						
AE18	BH22	11 – 12	20	540 + 10	555	Alarm I
		21 – 23	20	520 + 10	535	Alarm II
		31 – 33	20	520 + 10	535	Spare
	BH101	11 – 12	20	540 + 10	550	Alarm I
		21 – 22	20	520 + 10	535	Alarm II
		31 – 32	20	520 + 10	535	Spare
	BH201	11 – 12	20	540 + 10	550	Alarm I
		21 – 23	20	520 + 10	535	Alarm II
		31 – 33	20	520 + 10	535	Spare
AE19	BH01	11 – 12	20	620 + 10	630	Alarm
		21 – 23	20	600 + 10	615	Trip Block I/ Close Block
		31 – 33	20	600 + 10	615	Trip Block II
	BH05	11 – 12	20	620 + 10	635	Alarm I
		21 – 22	20	600 + 10	615	Alarm II
		31 – 32	20	600 + 10	615	Spare
	BH09	11 – 12	20	540 + 10	555	Alarm I
		21 – 22	20	520 + 10	535	Alarm II
		31 – 32	20	520 + 10	535	Spare
	BH11	11 – 12	20	540 + 10	555	Alarm I
		21 – 22	20	520 + 10	535	Alarm II
		31 – 32	20	520 + 10	535	Spare

T_u = Ambient temperature (indoor design), temperature of housing (outdoor design)

Note The pressure levels as well as the formula for calculation of the required pressure can be found in appendix B.

Tested:

Approved:

4.5.3 Kaasutilojen tiiveys

Kaasutilojen tiiveyden tarkastamiseen käytetään SF₆- kaasun vuodon ilmaisuun tarkoitettua mittalaitetta ns. haistelijaa. Taulukossa 3 on pöytäkirja kaasun tiiveyden testauksesta ja testauksessa käytettävä mittalaite /20/.

Taulukko 3 Kaasutilojen tiiveys.



On-Site Test
Protocols for Commissioning

Gas tightness test

Measuring instrument type:..... INFICON D-TEK

Inventory no.:..... M060607

Table 1: Gas tightness test

Gas compartment identification by:		o.k.	Remarks
Bay	Electrical designation of gas density relay		
AE15	BH01	ok	
	BH11	ok	
	BH12	ok	
	BH21	ok	
	BH22	ok	
AE16	BH104	ok	
	BH105	ok	
	BH204	ok	
	BH205	ok	
AE17	BH01	ok	
	BH09	ok	
	BH11	ok	
	BH12	ok	
	BH21	ok	
	BH22	ok	
	BH101	ok	
	BH201	ok	

4.5.4 Kiskon ja kojeiden jännitteenaleneman mittaus

Jännitteenaleneman mittauksella tarkastetaan GIS- kojeiston kiskostojen liitoksien ylimenovastus. Kiskoston ylimenovastus tulee olla valmistajan ohjearvojen mukainen. Mittalaitteella syötetään suurta virtaa kahden kentän välillä kaikkien kentän komponenttien kautta. Mittalaite mittaa kiskoston ja komponenttien jännitteenaleneman, josta lasketaan liitoksien ja komponenttien ylimenovastus. Kuvassa 9 on esimerkki jännitteenaleneman mittauspöytäkirjasta. Opinnäytetyön 2. osassa liitteessä 2 on GIS- kojeiston pääkaavio, jossa näkyy kaikki kojeiston kytkinlaitteet ja mittamuuntajat. /19,20/.

Taulukko 4. Pääpiirin ylimenovastuksen mittauspöytäkirja.



On-Site Test
Protocols for Commissioning

Voltage drop

Measuring instrument type.....: Micro Ohmmeter 600 A

: _____

Inventory no.: 88020017

Calculation formula.....: $U(mV) = \frac{I(A) \times R(\mu Ohm)}{1000}$

(adjusted current range: 200 A DC)

Note The procedures associated with the measurement of the voltage drop and the related default values for the individual components are listed in the product manual in chapter "Commissioning" in document "Tests Prior to Commissioning".

- A. Phasing checked acc. to primary drawings.....
- B. Values of voltage drop measured (see table 1).....

Table 1: Measurement of voltage drop


Designation of measuring point in accordance with the circuit diagram	Phase	Actual value (measured)		Injection points
		mV	μOhm	
AE14: Q93, Q3, Q0, Q2 AE15: AEW2 Q91	L1	25,8	129	AE14: Q93
	L2	28,1	140	AE15: AEW2 Q91
	L3	25,8	128	
AE15: AEW1 Q91, Q91, Q0 Q92, AEW2 Q91	L1	25,4	126	AE15: AEW1 Q91
	L2	26,3	130	AE15: AEW2 Q91
	L3	25,1	124	
AE15: AEW1 Q91 AE17: Q1, Q0, Q3, Q93	L1	28,9	144	AE15: AEW1 Q91
	L2	28,4	141	AE17: Q93
	L3	29,7	148	
AE15: AEW2 Q91 AE17: Q2, Q0, Q3, Q93	L1	28,4	141	AE15: AEW2 Q91
	L2	29,1	145	AE17: Q93
	L3	29,8	149	
AE17: Q93, Q3, Q0, Q1 AE18: Q1, Q0, Q3, Q93	L1	39,1	194	AE17: Q93
	L2	39,2	195	AE18: Q93
	L3	40,2	200	

Tested:

Approved:

4.5.5 Paikallisohjauspaneelien testaus

Jokaisen kentän paikallisohjauskaapit testataan valmistajan ohjeiden mukaisesti. LCC on paikallisohjauspaneeli, johon tulee kaikki kentän laitteiden ohjaukset ja tilatiedot. Testauksista ja tarkastuksista täytetään kuvan 5 mukainen pöytäkirja. GIS-kojeisto voidaan suunnitella myös ilman paikallisohjauskaappia, jolloin kentän kaikki ohjauskaapelit kaapeloidaan suoraan kentän relepaneelille /19,20/.

	On-Site Test Protocols for Commissioning
Control cubicle	
Bay.....: AE12	
Customer designation.....:	
	O.K. at commissioning
A. Visual check for external damages.....	<input checked="" type="checkbox"/>
B. Bay interlocking.....	★
C. Station interlocking.....	★
D. Antipumping circuit breaker.....	<input checked="" type="checkbox"/>
E. All messages checked acc. to signal list.....	<input checked="" type="checkbox"/>
F. Circuit breaker blocking (operating mechanism)	
AR.....	<input checked="" type="checkbox"/>
CLOSE.....	<input checked="" type="checkbox"/>
OPEN I.....	<input checked="" type="checkbox"/>
OPEN II.....	<input checked="" type="checkbox"/>
G. Protection trip on relay or terminal block.....	<input checked="" type="checkbox"/>
H. Electrical plug connections (plugs) secured with screws.....	<input checked="" type="checkbox"/>
I. Check of position indicators	
Circuit breaker.....	<input checked="" type="checkbox"/>
Disconnecter / earthing switch.....	<input checked="" type="checkbox"/>
Disconnecter.....	<input checked="" type="checkbox"/>
Earthing switch.....	<input checked="" type="checkbox"/>
Make-proof earthing switch.....	<input checked="" type="checkbox"/>
J. Check of control circuits acc. to function chart.....	<input checked="" type="checkbox"/>
K. Functional check of anti-condensation heaters.....	n.a
L. Adjustment of time relays acc. to operating schematics.....	<input checked="" type="checkbox"/>

Kuva 5. Paikallisohjauskaapin tarkastuspöytäkirja.

4.5.6 Katkaisijoiden testaus

Katkaisijoiden tarkastus ja testaus suoritetaan kuvien 6 ja 7 mukaisen testipöytäkirjan mukaan. Jokaisen katkaisijan toiminta-ajat testataan ja testitulokset kirjataan kuvan 7 mukaiseen testiraporttiin. Katkaisijan toiminta-aikoja verrataan teh-

taalla testattuun aikaan ja katkaisijan teknisissä tiedoissa annettuihin toiminta- aikojen raja-arvoihin /19,20/.



On-Site Test
Protocols for Commissioning

Circuit breaker (general)

Bay.....: AE13

Customer designation.....:

Device designation.....: Q0

Component no.....: 210005539682

CB chamber type.....: ELK - 145

Measuring instrument type.....: EGIL

Inventory no.....: 1102215

CAUTION The circuit breaker shall only be operated when filled with SF₆ (min. 600 kPa)!

O.K. at commissioning

- A. Visual inspection for external damages.....
- B. Check counter for operating hours..... n.a
- C. Check that the locking varnish on the throttle screw for setting the operating mechanism speed is undamaged.....
- D. Functional check of anti-condensation heater (if available)..... n.a
- E. Check if the stored operating sequence is enabled from control cubicle without blocking.....
- F. Visual check of operating mechanism elements: Rotary bushing on the operating mechanism.....
- G. Visual check of operating mechanism elements: Auxiliary switches, position indicator.....
- H. Check of the electrical plug connections for secure contacting.....
- I. Check the numbers of operations and pump starts.....
 - Operations: [10_Data](#); 24.5.2018
 - Pump Starts: [11_Data](#); 24.5.2018
- J. Functional test acc. to circuit diagram (engineering document).....
- K. Charging time of hydro-mechanical operating mechanism from 0 to operating pressure 25s.....
- L. Setting time relays:
 - ⌘ 210 Actual value: 58s Specified value: 60s
 - ⌘ 301 Actual value: 20s Specified value: 20s

Kuva 6. Katkaisijan testi- ja tarkastuspöytäkirja.


Circuit breaker (general)

O.K. at commissioning

 M. Check for simultaneity of contact separation: ≤ 3 ms

 N. Functional check of circuit breaker (table 1)

Table 1: Functional check of circuit breaker

	OPEN I *	OPEN II *	OPEN III *	OPEN IV *	CLOSE I *	CLOSE II *
Functional check	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
40 / 50 / 63 kA	t_{OPEN} = From opening impulse until contact separation, t_{CLOSE} = From closing impulse until contact touch, Check of simultaneity of contact separation ± 3 ms.**					
Phase L1 (ms) factory / on site	26,0 / 25,4	25,4 / 24,5			51,6 / 54,1	
Phase L2 (ms) factory / on site	26,5 / 26,0	25,7 / 25,1			51,3 / 53,7	
Phase L3 (ms) factory / on site	26,0 / 25,5	25,2 / 24,6			51,6 / 53,9	
Δt (ms) O.K. [YES/NO]	YES	YES			YES	

* Measurements performed with fully charged operating mechanism and 100% supply voltage.

** The switching cycle times are described in detail in the product documentation in chapter "Equipment and Functional Descriptions" in document "Circuit Breaker".

Protocol strips of time measurement -> please refer to the following page(s)

Kuva 7. Katkaisijan toiminta- aikojen mittauspöytäkirja
4.5.7 Erottimien testaus

Yhdessä kentässä on tyypillisesti neljä erotinta, jotka testataan ja tarkastetaan kuvien 8 ja 9 testauspöytäkirjojen mukaan. Kuvassa 5 komponentit 2 ja 7 ovat kolmiasentoisia maadoituserottimia. Kolmiasentoisen maadoituserottimen testit ja tarkastukset suoritetaan kuvan 8 pöytäkirjan mukaan. Kuvan 5 komponentti 5 on johtolähdön nopeatoiminen maadoituskytkin. Maadoituskytkin kykenee oikosulkemaan rinnakkaisesta johdosta indusoituvan jännitteen. Maadoituskytkin tarkastetaan ja testataan kuvan 9 pöytäkirjan mukaan. Testeihin kuuluu toiminnallisuuden ja lukituksien testaus sekä visuaaliset tarkastukset /19/.



On-Site Test
Protocols for Commissioning

Disconnecter / earthing switch

Bay.....: AE12
 Customer designation.....:
 Device designation.....: Q1/Q91
 Component no.....: 210005539719
 Type.....: ELK-DE0-145
 Location.....: BB1 BB2 BB3 Feeder

Note All default values for the disconnector / earthing switch are listed in the product manual in chapter "Equipment and Functional Descriptions" in document "Disconnecter / Earthing Switch".

O.K. at commissioning

- A. Visual inspection for external damages.....
 B. Visual inspection of operating mechanism elements.....
 C. Functional mechanical check of operating mechanism (with hand crank) CLOSE / OPEN.....
 D. Functional check of limit switch, interlocking switch (hand crank), position indicator.....
 E. Check of interlocking with hand crank.....
 F. Check of key interlocking.....
 G. Functional check of operating mechanism electrical CLOSE / OPEN.....
 H. Electrical plug connections (plugs) secured with screws.....
 I. Functional check of anti-condensation heater (if available)..... n.a
 J. Check of auxiliary switch, optical check of electrical connections.....
 K. Functional check acc. to circuit diagram (planning standard).....
 L. Lead-seal and warning signs fixed on insulated maintenance earthing switch (if available)..... n.a

Kuva 8. Erottimen testi- ja tarkastuspöytäkirja.



Make-proof earthing switch

Bay.....: AE14
 Customer designation.....:
 Device designation.....: Q93
 Component no.....: 2GGPA0032640
 Type.....: ELK-ES0-145
 Location.....: BB1 BB2 BB3 Feeder

Note The default values for the make-proof earthing switch are listed in the product manual in chapter "Equipment and Functional Descriptions" in document "Make-proof earthing switch"

O.K. at commissioning

- A. Visual inspection for external damages.....
- B. Visual inspection of operating mechanism elements.....
- C. Functional mechanical check of operating mechanism (with hand crank) CLOSE / OPEN.....
- D. Functional check of limit switch, interlocking switch (hand crank), position indicator.....
- E. Check of interlocking with hand crank.....
- F. Check of key interlocking.....
- G. Functional check of operating mechanism electrical CLOSE / OPEN.....
- H. Electrical plug connections (plugs) secured with screws.....
- I. Functional check of anti-condensation heater (if available)..... n.a
- J. Check of auxiliary switch, optical check of electrical connections.....
- K. Inspection of contact bands: Phase - enclosure
- Phase L1.....
- Phase L2.....
- Phase L3.....
- L. Functional check acc. to circuit diagram (planning standard).....

Kuva 9. Erotuskytkimen testi- ja tarkastuspöytäkirja.

4.5.8 Virtamuuntajat

Integroitu virtamuuntaja sijaitsee moduulissa katkaisijan ja johtolähdön erottimen välissä. Virtamuuntaja tarkistetaan visuaalisesti, johdotukset ja maadoitukset tulee olla kytketty piirikaavion mukaisesti. Virtamuuntajien tarkastuksesta täytetään kuvan 10 mukainen pöytäkirja.



On-Site Test
Protocols for Commissioning

Current transformer

Bay.....: AE20
 Customer designation.....:
 Current transformer type.....: ELK-CTO 145LG 449
 Location.....: integrated
 Manufacturer.....: ABB
 Manufacturer type.....: ELK-CTO 145LG 449
 Fabrication no.....: 1VLT5717001226
 Current transformer ratings.....: See table 1

Table 1: Current transformer ratings

	Core I	Core II	Core III	Core IV	Core V
Ratio	300-600-1200/1A	600-1200/1A	600-1200/1A	600-1200/1A	
Burden	5-10-20 VA	10-20 VA	10-20 VA	10-20 VA	
Accuracy	0.2 S FS 5	10 PR 50	10 PR 50	10 PR 50	

O.K. at commissioning

A. Inspection of connections and earthing by ABB.....
 B. Inspection of connections and earthing by:n.a
 |

Kuva 10. Virtamuuntajien tarkastuspöytäkirja.

4.5.9 Jännitemuuntajien tarkastukset

ABB:n ELK-04- kojeistoissa käytetään induktiivisia jännitemuuntajia. Jännitemuuntajassa on kaksi toisiokäämiä, joiden liittynät ovat kytkentäkotelossa jännitemuuntajan päällä. Kojeistossa on tyypillisesti jännitemuuntaja jokaisessa johtolähdön kentässä ja kiskojännitteenmittauskentässä mittaamassa molempien kiskojen jännitettä. Kaikissa jännitemuuntajissa on integroitu manuaalisesti lukittava erotuslaite, joka erottaa jännitemuuntajan kiskosta tai johtolähdöstä, esimerkiksi huollon ajaksi. Jännitemuuntajien testaukset ja tarkastukset tehdään kuvan 11 mukaisesti.



On-Site Test
Protocols for Commissioning

Voltage transformer with integrated isolation device

Bay : AE13
 Customer designation :
 Voltage transformer type : EGK 145-3 / VT
 Location : Feeder
 Manufacturer : Pfiffner
 Manufacturer type : EGK 145-3 / VT
 Fabrication no. : 2017.3525.01/004
 Voltage transformer ratings : See table 1

Table 1: Voltage transformer ratings

		Winding I	Winding II	Winding III	Winding IV
Ratio	Primary	110 kV / $\sqrt{3}$			
	Secondary	100V / $\sqrt{3}$	100V / 3		
Burden		100 VA	100 VA		
Accuracy		0.2 + 3P	3P		

O.K. at commissioning

- A. Visual inspection for external damages
- B. Visual inspection of shock indicator
- C. Inspection of connections and earthing by ABB
- E. Inspection of fuses
- F101.1
- F101.2
- F101.3
- F102.1
- F102.2
- F102.3
- F103
- F104
- F. Inspection of Integrated Isolation device
- Continuity check isolation device open (no passage):
- Continuity check isolation device closed (passage):

Tested:

Approved:

Kuva 11. Jännitemuuntajan testi- ja tarkastuspöytäkirja.

4.5.10 HV- testaus

Ennen GIS- kojeiston käyttöönottoa suoritetaan GIS- kojeistolle käyttötaajuinen jännitetesti, niin sanottu HV- testi. HV- testillä varmistetaan, että kojeisto on koonpanttu oikein, havaitaan mahdolliset kuljetusvauriot moduulien kiskostossa ja epäpuhtaudet kaasutiloissa, jotka voisivat aiheuttaa läpilyönnin.

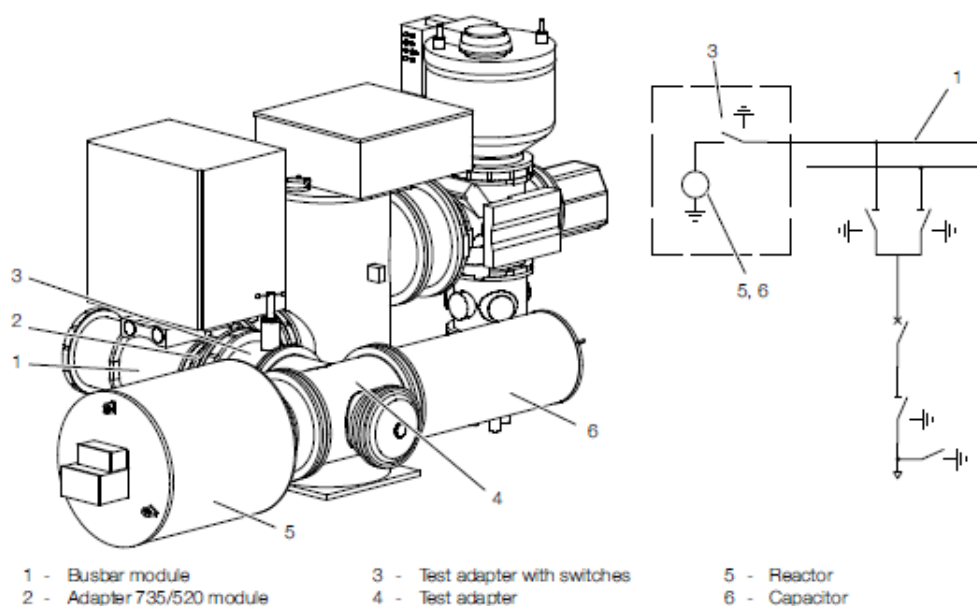
HV- testi suoritetaan yleensä ennen HV- kaapeleiden kytkemistä kojeistoon. Jos HV- kaapelit ovat kytketty kojeistoon HV- testiä tehtäessä, on ne erotettava linjaerottimella kojeistosta HV- testien ajaksi /19,21/.

Standardin mukainen, kuvan 12 mukaisella jännitteellä suoritettu HV- testi, on havaittu luotettavaksi tavaksi varmistaa, että GIS- kojeisto on luotettava- ja turvallinen käyttöön otettavaksi. HV- testauksen jännitteet ja testimenetelmät määritellään standardissa IEC 62271- 203 kappaleessa 7.1. Kuvassa 13 on esimerkki HV- testilaitteesta ja sen kytkennästä GIS- kojeistoon /19,21/.

Turvallisesti suoritettu HV- testaus vaatii erikoisosaamista testilaitteilta ja testausjärjestelyiltä. Vain ABB:n valtuuttama henkilö saa suorittaa HV- testauksen ABB:n valmistamille GIS- kojeistoille /19,21/.

Rated values	72,5 kV	100 kV	123 kV	145 kV	170 kV
Power frequency voltage used for factory test IEC, IEEE (Duration of application: 1 min)	140 kV	185 kV	230 kV	275 kV	325 kV
Power frequency voltage used for on-site test IEC (Duration of application: 1 min)	120 kV	165 kV	200 kV	235 kV	270 kV
Power frequency voltage used for on-site test IEEE (Duration of application: 1 min)	112 kV	148 kV	184 kV	220 kV	260 kV

Kuva 12. HV- testien testausjännitteet



Kuva 13. GIS- kojeiston HV- testilaite.

4.5.11 SF6- kaasun käsittely

GIS- kojeiston SF6- kaasun käsittelyyn on oltava erityinen täyttö- ja talteenotto- laitteisto, jolla kaasutäytteisiä kojeita täytetään ja tyhjennetään. Täyttö- ja talteen- ottolaitteiston tulee pystyä tallettamaan laitteiston sisältämä kaasu varastosäiliöön ja tyhjentämään laitteisto vaadittuun tyhjiötasoon. Laitteiston on kyettävä palaut- tamaan uusi tai regeneroitu eristekaasu kojeistoon ja kierrättämään käytetty kaasu suodattimien läpi /4/.

GIS- laitteiston kokoamisen ja testauksen suorittaa aina laitteiston valmistajan kouluttama ja sertifioitu asiantuntija. GIS- järjestelmissä käytettävän SF6- kaasun käsittelyssä noudatetaan seuraavia standardeja IEC 62271-4, IEC 60376, IEC 60480 ja SFS 6001. SF6- kaasua käsittelevien henkilöiden pitää olla sertifioituja käyttämään kaasunkäsittelylaitteita sekä tuntea SF6- kaasua koskevat yleiset ja kansalliset standardit sekä määräykset /4,19,21,22/.

4.6 Ilmaeristeinen kytkinlaitos

Ilmaeristeinen kytkinlaitos on perinteisempi ja edullisempi tapa toteuttaa sähköasema. Ilmaeristeisellä kytkinkentällä sähköaseman suurjännitekojeet asennetaan ulos teräsrakenteiden päälle, jotta lakien vaatimat turvaetäisyydet jännitteisiin osiin täyttyvät. Komponenttien pääpiirit yhdistetään toisiinsa tyypillisesti paksuilla alumiinijohtimilla.

4.6.1 Katkaisija

Katkaisijan tarkastukset ja testaus voivat vaihdella eri katkaisijatyyppeiden välillä. Valmistajan ohjeissa on kuvaukset tehtävistä testeistä ja tarkastuksista. Ennen katkaisijan testausta tarkastetaan, että katkaisija ja ohjain on asennettu valmistajan ohjeiden mukaan ja kaikki pultit on kiristetty ohjeiden mukaisesti /18/.

Katkaisijan katkaisukammio on täytetty tyypillisesti SF₆- kaasulla. ABB:n valmistamat ulkokentän katkaisijat toimitetaan kuljetuspaineella ja katkaisija kaasutetaan asennuksen jälkeen nimelliseen valmistajan ohjeiden mukaiseen paineeseen. Katkaisijan kaasutuksen yhteydessä tarkastetaan katkaisijan kaasuntiheysmittarin näyttämä lukema ja hälytysrajojen toiminta. SF₆- kaasua saa käsitellä vain koulutetut ja sertifioidut henkilöt /18,22,23/.

Kaasun tiheysmittari valvoo katkaisijan katkaisukammion SF₆- kaasun painetta. Tiheysmittarissa on kaksi hälytysrajaa, joista ylempi raja on kaasun paineen hälytys ja alempi raja on katkaisijan ohjauksen lukitusraja. Kaasun tiheysmittari hälytysrajojen kaapelointi testataan oikosulkemalla tiheysmittarin liittimet jumpperilla. Tarvittaessa kaasuntiheysmittarin toiminta testataan irrottamalla se katkaisijasta ja kytkemällä se SF₆- kaasun täyttölaitteeseen. Täyttölaitteistolla voidaan säätää kaasun painetta hälytysrajojen testaamiseksi, samalla voidaan tarkistaa tiheysmittarin hälytys- ja lukitusrajojen sekä hälytykset ja mittaukset kentän ohjausyksiköltä. Jos katkaisijan kaasun tiheysmittarissa on mA lähetin, joka on kytketty kaasun valvontajärjestelmään tai ohjauslaitteelle, testataan mittaus ja todetaan lähettimen toiminta ja mittauksen skaalaus valvontajärjestelmässä /18,22-24/.

Katkaisijan pääpiirin ylimenovastus mitataan mahdollisten kuljetusvaurioiden havaitsemiseksi. Mittauksen suorittaa urakoitsija katkaisijan asennuksen jälkeen, ennen pääpiirin johtimien kytkemistä. Pääpiirin ylimenovastuksen mittaukseen käytetty mittalaite syöttää katkaisijan läpi suurta virtaa, laite mittaa katkaisijan pääpiirin koskettimissa tapahtuvaa jännitteenalenemaa, josta mittalaite laskee katkaisijan ylimenovastuksen. Katkaisijan mitattu ylimenovastus tulee olla valmistajan ilmoittamissa rajoissa, tai korkeintaan 49 mikro-ohmia /18,24/.

Katkaisijan toiminta-ajat ja viritysmoottorin toiminta mitataan, mittauksia verrataan valmistajan ilmoittamiin ohjearvoihin. Katkaisijoiden tarkastuksesta laaditaan pöytäkirjat. Pöytäkirjaan kirjataan testatun laitteen tiedot, testilaitteet, tarkastukset ja testitulokset. /18,24,25/

4.6.2 Erottimet

Erottimien asennus ja säädöt tarkistetaan, niiden tulee olla asennettu valmistajan ohjeiden mukaisesti. Erottimia ohjataan ensin käsin ja tarkastetaan erottimen tilatietojen ja rajakytkimien toiminta. Erottimen pääpiirin ylimenovastus ja toiminta-ajat mitataan, mittaustulokset tulee olla valmistajan ohjearvojen mukaiset. Erottimien integroidut testit tehdään ohjaamalla moottorihjattua erotinta kentänohjauslaitteelta, samalla tarkastetaan moottori ja käsin ohjattavien laitteiden asennonosoitusten toiminta. Erottimien tarkastuksista ja testeistä täytetään laitekohtainen pöytäkirja, johon kirjataan mittaustulokset ja tarkastuskohteet. /18,24,25/.

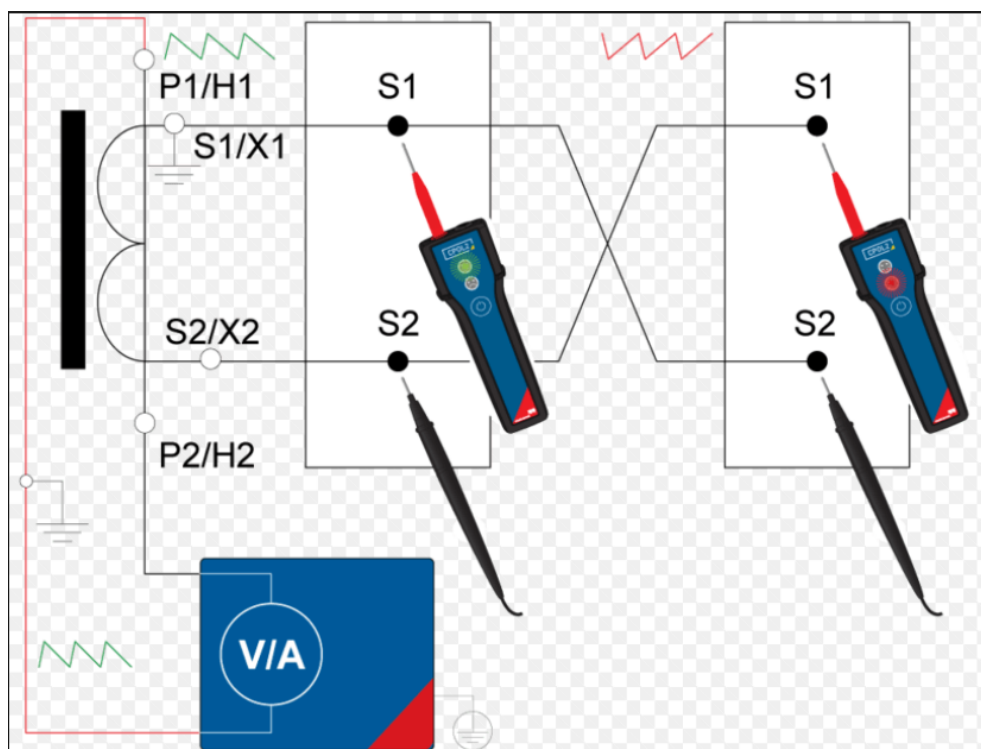
4.6.3 Virta- ja jännitemuuntajat

Mittamuuntajien eristysvastukset tulee mitata heti mittamuuntajan asennuksen jälkeen. Mittauksista tulee tehdä pöytäkirja, josta selviää käytetty mittalaite, mittaustulokset ja mittauksen tekijä. Virta- ja jännitemuuntajat tulee olla asennettu valmistajan ohjeiden mukaisesti sekä toisiopiirien kytkennät ja maadoitukset on tehty piirikaavioiden mukaisesti /18/.

Mittamuuntajien ensiö- ja toisiopiirin mittaus eritysvastusmittarilla tehdään mittamuuntajien mahdollisten kuljetusvaurioiden havaitsemiseksi. Eristysvastukset mitataan ensiö- ja toisiopiirin sekä ensiön ja mittamuuntajan rungon väliltä 5 kV

jännitteellä. Toisiopiirit mitataan 1 kV jännitteellä toisiopiirien väliltä ja yhteen kytkettynä ja maadoitettuna /18,24/.

Mittamuuntajien testaukseen käytetään Omicron CT- analyzer testilaitetta. Laitteella mitataan mittamuuntajien magnetointikäyrät, muuntosuhde, toisiopiirin taavirtaresistanssi ja toisiopiirin kaapeloinnin napaisuus. Kuvassa 19 on virtamuuntajan toision johdotuksen ja polariteetin tarkistus Omicron CT- analyzer ja CPOL- laitteella. /9,18/.



Kuva 14. Virtamuuntajan napaisuuden ja johdotuksen testaus.

4.7 Maadoitusten ja kaapeloinnin tarkastus

Ulkokentän laitteiden maadoitukset ja kaapeloinnit tarkastetaan laitteiden testauksen yhteydessä. Maadoitukset tulee olla tehty asiakkaan- ja ABB:n laitekohtaisten vaatimusten ja määräyksien mukaisesti. Tarkastetaan laitteiden ohjauskaapelien

kytkennät, reitit ja kaapelien merkinnät. Tarkistetaan urakoitsijan tekemien maadoitusten jatkuvuusmittauksien pöytäkirjat /18/.

4.8 Tehomuuntaja

Tehomuuntajan testaukset ja muuntajan suojalaitteiden toiminta ja asetteluiden testit tehdään integroituina testeinä. Hälytykset, ohjaukset ja mittaukset testataan muuntajaa suojaavalle laitteelle. Muuntajavalmistajan ohjeissa on yksityiskohtaiset ohjeet suojalaitteiden testausmenetelmistä. Muuntajan käämien eristysvastuksen mittaus suoritetaan heti muuntajan asennuksen jälkeen mahdollisten kuljetusvaurioiden havaitsemiseksi.

Tehomuuntajalle tehtävät testit ja tarkastukset:

- tehomuuntajan asennus ja maadoitukset
- käämien eristysvastusmittaus
- kaasureleen testaus
- käämin lämpötilanmittauksen testaus
- öljyn lämpötilan mittaukset
- paineventtiilin toiminta
- muuntosuhde ja erovirran mittaus
- käämikytkimen toiminta ja asennonosoitus
- öljytason mittaus ja rajakytkimet
- jäähdytyslaitteiden toiminta
- öljytilan ilmankuivaimen tarkastus /18/.

4.9 Suojaus- ja ohjausyksiköiden testaus

Sähköaseman suojareleet, ja niiden ohjaus- sekä suojaustoiminnot ovat keskeisessä tehtävässä aseman toiminnassa ja niiden toiminnan testaus on erityisen tärkeää. Ennen reletestauksen aloittamista, kaikki releeseen liittyvät komponentit tulee olla testattu yksittäin ja niiden toiminta ja asennus tarkastettu. Aseman laitteiden ohjaukset, indikoinnit ja laukaisut tapahtuvat suojareleiden kautta. Releiden testaus aloitetaan releeseen kytkettyjen laitteiden ohjauksien ja tilatietojen testauksella.

Näiden tarkastuksien tarkoitus on todentaa, että kaapeloinnit ja kytkennät on tehty piirikaavioiden mukaisesti ja laitteen ohjaukset ja laitteen tilatiedot tulevat releelle. Kun piiri on testattu ja todettu toimivaksi piiri ns. maalataan korostuskynällä piirikaavioihin. Kaikki piirikaavion piirit testataan ja toiminta todetaan. Havaitut viat kaapeloinnissa selvitetään ja korjataan. Tehdyt muutokset piirretään piirikaavioihin punakynällä /26/.

Suojaus- ja ohjausyksiköiden toiminta testataan niiltä osin, mitkä jäivät testaamatta FAT- testeissä. SAT- testeihin kuuluu suojareleiden asetteluiden testaus vain siinä tapauksessa, että asetellut ovat muuttuneet asiakkaasta johtuen, tai lopulliset asetellut eivät ole olleet käytettävissä FAT- testauksen aikana. Kaikki työmaalla tehdyt kaapeloinnit tarkastetaan ja testataan /26/.

4.10 Suojaus- ja muiden ohjauspaneelien tarkastus

Paneeleista tarkastetaan työmaalla tehdyt asennukset tai korjaukset. Tehdyt asennukset tulee olla tehty hyvien asennustapojen, määräysten ja ohjeiden mukaisesti. Paneelien tarkastuksiin kuuluu seuraavat asiat niiltä osin, joita ei ole FAT- testeissä suoritettu:

- kilvet ja laitetunnukset
- maadoitukset
- kaapeleiden maadoitukset
- asennusten siisteys
- puutelistan korjaukset
- testit ja testiraportit
- vaatimustenmukaisuuden arviointi /4/.

4.11 Keskijännitekojeistot

Kojeiston tarkastukset ja testaukset perustuvat valmistajan kojeistokohtaisiin ohjeisiin. Ennen testien aloittamista tarkistetaan, että kojeisto on asennettu valmistajan ohjeiden mukaisesti, eikä laitteistoon ole tullut vaurioita asennuksessa /27/.

Alla olevat testit ja tarkastukset tehdään ennen kojeiston kytkemistä suurjännitetyötyöhön:

- Tehdastestipöytäkirjojen tarkastus
- Kojeston silmämääräinen tarkastus
- Kojeston puhdistaminen
- Mekaanisten ja sähköisten lukitusten toiminnan tarkistus
- Kiskoston jännitteenaleneman mittaus (ylimenovastus)
- Kytkinlaitteiden toiminta ja asennosoittimien tarkastus
- Ulosvedettävien laitteiden toiminta
- Kommunikoinnin testaus
- Valokaarisuojien testaus
- Kennokohtaisten suojalaitteiden testaus testilaitteella /27/.

Tarkat ja yksityiskohtaiset ohjeet kojeistolle tehtävistä testeistä löytyvät kojeiston asennus, huolto- ja käyttöönotto-ohjeesta /27/.

4.12 Omakäyttö AC

Aseman omakäyttö AC- sähköasennuksista vastaavalla urakoitsijalla on vastuu huolehtia sähkölaitteiston käyttöönotto-ohjeesta. Käyttöönotto-ohjeen tarkoitus on varmistaa, että sähköasennukset on tehty standardien ja määräyksien mukaan ja täten on turvallisia otettavaksi käyttöön.

Sähköturvallisuuslaki velvoittaa sähkölaitteiston rakentajan tarkastamaan rakennetun sähkölaitteiston ja laatimaan laitteiston haltijalle käyttöönotto-ohjeesta tarkastuspöytäkirjan. Aseman AC- apusähköjärjestelmän tulee täyttää SFS 6000 standardin vaatimukset pienjänniteasennuksista./16/.

Aseman AC- sähköjärjestelmän käyttöönoton jälkeen tarkastetaan, että AC järjestelmän syötöt on kytketty sähköaseman keskeisiin järjestelmiin piirustusten mukaisesti. Piirustuksiin merkitään punakynällä tehdyt muutokset, tai korjaukset ja maalataan korostuskynällä tarkastetut syötöt.

4.13 Tasasähköjärjestelmä

Tasasähköjärjestelmät ovat kytkinlaitokset toiminnan kannalta keskeisin järjestelmä. Kaikki aseman keskeiset järjestelmät toimivat akkuvarmennetulla tasasähköllä. DC- järjestelmä koostuu varaajista ja akustoista. Akustolle tehdään kuormitustesti testilaitteella, joka kuormittaa järjestelmää valitulla vakiovirralla. Testin aikana mitataan jokaisen kennon napajännite ja akuston jännite viiden minuutin välein. Kuormitustestillä voidaan todeta akuston kunto ja mahdolliset viat, sekä arvioida akuston todellinen toiminta- aika aseman omakäytön sähkökatkoksen aikana. Akuston kapasiteetti mitoitetaan pääsääntöisesti riittämään normaalissa käytössä 10 tuntia kestävänsä sähkökatkon ajan.

DC- apusähköjärjestelmän testaukset ja tarkastukset:

- järjestelmän visuaalinen tarkastus
- kestovarausjännitteen asettelu
- pikavaruksen asettelu
- virtaraja
- hälytysrajat
- maasulun indikointi
- mittauksien toiminta
- sulakkeiden ja kaapeleiden mitoitus.

4.14 Signaalitestausta

Signaalitestausta testataan sähköaseman jokainen signaali laitteilta ja järjestelmistä asiakkaan ns. ylätasoon järjestelmään. Signaalilistan tulee olla valmis ennen kuin signaalitestausta voidaan aloittaa. Signaalitestausta voidaan aloittaa, vaikka laitteistojen asennukset ja testaukset ovat kesken. ABB ITT SA Synthesizer- ohjelmistolla voidaan simuloida sähköaseman kaikki ohjaus- ja suojareleet ja niiden signaalit IEC 61850- väylään. Väylään simuloidut signaalit todetaan alatasemalta sekä asiakkaan valvomojärjestelmästä. Signaalitestausta testauksessa asiakkaan kaukokäyttöjärjestelmäasiantuntijan tulee olla mukana testauksessa, jotta testauksen aikana ilmenevät ongelmat saadaan korjattua välittömästi. /32/.

Signaalien simulointi nopeuttaa signaalitestausta ja mahdollistaa testauksen suorittamisen, vaikka ohjaus- ja suojausyksiköiden asennukset eivät olisi valmiit. Signaalitestausta voidaan saattaa loppuun, kun kaikki järjestelmät on asennettu ja testattu. Signaalitestausta suoritetaan loppuun rele- ja laitetestien yhteydessä, tällöin signaalit testataan kojeilta suojaus- ja ohjausyksikön kautta ala-asemalle /32/.

4.15 Muut järjestelmät

Sähköasema voi sisältää monia rakennus- ja turvallisuusjärjestelmiä. Erikoisjärjestelmien suunnittelu, asennus ja tarkastus ostetaan tyypillisesti tällaisiin järjestelmiin erikoistuneilta yrityksiltä. Joidenkin järjestelmien suunnittelu, asennus ja tarkastaminen voi vaatia erikoiskoulutusta tai osaamista ja ovat osittain luvanvaraisia. Näiden syiden vuoksi on perusteltua hankkia alihankintana tällaiset järjestelmät erikoistuneilta yrityksiltä.

Tällaisia järjestelmiä ovat:

- paloilmoitusjärjestelmät
- kulunvalvontajärjestelmä
- rikosilmoitusjärjestelmä
- rakennusautomaatio
- automaattiset palosammutusjärjestelmät
- ilmanvaihtojärjestelmät.

4.16 Maadoitukset

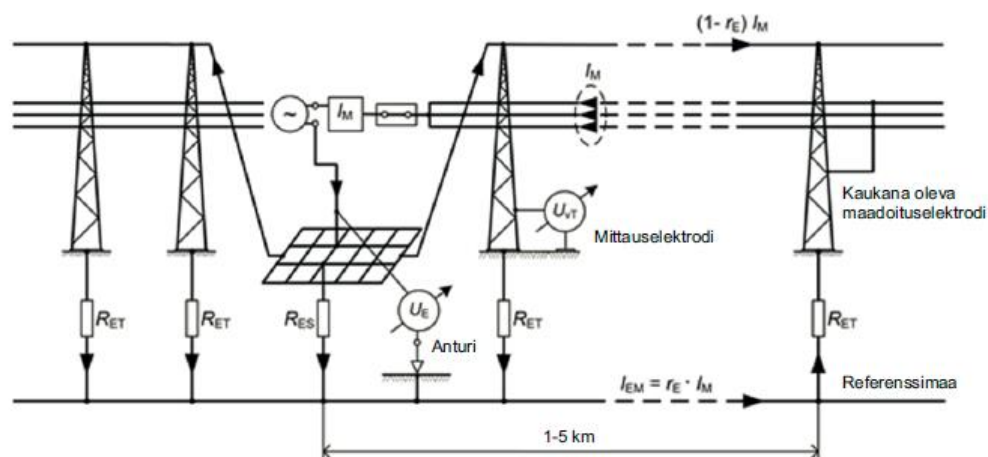
Sähköaseman maadoitus on tyypillisesti toteutettu alueen kattavalla vaakaelektrodilla, joka muodostaa alueelle maadoitusverkon ja alueen potentiaalintasauksen. Maadoitusverkko tulee olla tehty standardien, määräyksien ja asiakkaan vaatimusten mukaisesti. Maadoitusverkon rakenne ja liitokset tulee tarkastaa ennen niiden peittämistä /4,11,16,18/.

SFS-EN 50522 7.3- standardi vaatii, että kaikki sähköjärjestelmän jännitteelle alttiit johtavat osat on maadoitettava. Ulkona olevat laitteet ja metalliset rakenteet maadoitetaan maadoitusverkkoon standardien ja ohjeiden mukaisesti. Asemaa

ympäröivä aita ja aidan tolpat maadoitetaan standardien ja hankekuvauksen vaatimusten mukaisesti /4,18,28/.

Aidan, sähköaseman ulkolaitteiden ja metallisten rakenteiden maadoitusten jatkuvuus mitataan ja mittauksista tehdään pöytäkirja. Maadoitusten jatkuvuus mitataan micro- ohmimittarilla suurella virralla 100- 200 A /4,16,18/.

SFS 6001:2018- standardin mukaan: ”maadoitusimpedanssin mittauksia tehdään tarvittaessa riittävän suunnittelun varmistamiseksi”. Maadoitusimpedanssin ja maadoitusjännitteen mittaukset on tyypillisesti kuvattu projektin tarjouspyynnössä tai hankekuvauksessa. Maadoitusimpedanssi voidaan laskea, mutta laskennassa käytettävät maaperän johtavuuden arvot ovat usein arvioita, joten laskennalliseen maadoitusimpedanssiin tulee suhtautua varauksella. Ainoa varma tapa on mitata maadoitusimpedanssi, jolloin voidaan todeta mittauksin ja laskelmin vikatilanteessa syntyvien kosketusjännitteiden suuruus. Maadoitusimpedanssin mittauksen suorittaa tyypillisesti mittauksiin erikoistunut yritys. Mittausten raportti ja lausunto maadoitusjärjestelmän vaatimustenmukaisuudesta liitetään aseman tarkastuspöytäkirjoihin. Maadoitusimpedanssi mitataan kuvan 20 mukaisella tavalla. Maadoitusimpedanssia tai vikatilanteessa syntyvää maadoitusjännitettä ei tarvitse todeta mittaamalla, jos sähkölaitteisto muodostaa tai liittyy SFS 6001 määrittelyjen mukaiseen laajaan maadoitusjärjestelmään. /4,16,18/.



- I_M Testivirta (yleensä mitataan vain jännitteen ja virran itseisarvo)
- I_{EM} Mittauksen aikainen maavirta (tässä tapauksessa ei suoraan mitattavissa)
- r_E Kaukaiseen maadoituselektrodiin yhdistetyn johdon reduktiokerroin
- R_{ES} Maadoitusruudukon maadoitusresistanssi
- R_{ET} Pylvään maadoitusresistanssi
- U_E Mittauksen aikainen maadoitusjännite
- U_{VT} Mittauksen aikainen prospektiivinen kosketusjännite

Kuva 15. Maadoitusimpedanssin mittaus.

Kaikkien laitteiden ja kojeiden maadoitukset pitää tarkastaa ennen sähköaseman mahdollisia käyttöjännitteisiä testejä ja tarkastuksia. Maadoitusten tulee olla tehty standardien, asiakkaan ja ABB:n ohjeiden mukaan.

SFS 6001- standardin mukaan ”Sähköaseman maadoitusresistanssin arvon sopivuus on yleensä varmistettava ennen kuin se otetaan käyttöön ja arvon pysyvyys on varmistettava mittaamalla tai muulla sopivalla tavalla”.

4.17 Raportit ja pöytäkirjat

Kaikille suurjänniteasennuksille ja asennusten muutoksille ja laajennuksille pitää tehdä ennen käyttöönottoa sähköturvallisuuslain 1135/2016 mukainen käyttöönottotarkastus. Tarkastuksesta tulee tehdä tarkastuspöytäkirja /4,16/.

Sähköasemalla toimitukseen kuuluvien laitteiden testeistä ja tarkastuksista tehdään sähköturvallisuuslain vaatima laite- tai järjestelmäkohtaiset pöytäkirjat. Pöytäkirja sisältää laitteen tärkeimmät mittaukset, listan tarkastuksista ja huomioitavaista asioista. Pöytäkirjassa voidaan viitata erilliseen testi- tai mittausraporttiin, esimerkiksi urakoitsijan suorittamaan mittaukseen.

Yleensä suoritettavia tyypillisiä tarkastuksia ovat esimerkiksi:

- laitteiden ominaisuuksien (mitoitusarvot mukaan lukien) tarkastus käyttöolosuhteet huomioon ottaen
- jännitteisten osien välisten, sekä jännitteisten osien ja maan välisten etäisyyksien tarkastus
- suojuksien korkeusmittojen ja vaadittujen etäisyyksien tarkastus
- sähkölaitteiden ja laitteiston osien silmämääräiset tarkastukset ja/tai käyttökokeet
- suojaus-, valvonta-, mittaus- ja ohjauspiirien tarkastus
- merkintöjen, turvakilpien ja turvalaitteiden tarkastus
- rakennusten ja kotelointien paloluokituksen tarkastus
- hätäuloskäyntien toimivuus
- maadoitusjärjestelmän tarkastus.

SAT- testien loputtua kohteessa pitää olla ajan tasalla olevat sähkölaitteistojen piirikaaviot ja dokumentit. Piirustukset voivat olla punakynällä korjattuja /4,11,16/.

Sähköaseman loppudokumentointi toimitetaan asiakkaalle projektin valmistumisen jälkeen. Loppudokumentit sisältävät testauksen yhteydessä tehdyt piirikaavioiden punakynäkorjaukset, aseman laitteiden käyttö- ja huolto- ohjeet, sekä laite- ja järjestelmäkohtaiset testiraportit ja pöytäkirjat.

4.18 Käyttökoulutus

Käyttökoulutus sähköaseman laitteiston käyttöön annetaan ennen sähkölaitteiston käyttöönottoa. Käyttökoulutukseen on hyvä osallistua ainakin laitteiston kytken-

nöistä ja huollosta vastaavat henkilöt sekä sähkölaitteiston nimetty käytönjohtaja. Tyypillisesti suppea kojeiden käyttökoulutus kuuluu jokaisen sähköaseman toimitukseen. Suppeaan käyttökoulutukseen sisältyy tyypillisesti sähköaseman kojeiden toiminnan ja ohjausten koulutus. Laaja kaikkien toimitussisältöön kuuluvien laitteistojen kattava käyttökoulutus ei kuulu projektin sisältöön, ellei siitä erikseen mainita. Laajan käyttökoulutuksen tarkoitus on opastaa laitteistoa käyttävä henkilökunta ja käytönjohtaja sähköaseman kaikkiin ABB:n toimitukseen sisältyviin järjestelmiin, niistä koostuvan kokonaisuuden toimintaan ja turvalliseen käyttöön. Koulutus pidetään ennen sähkölaitteiston käyttöönottoa, jotta kojeita voidaan ohjata turvallisesti erilaisissa simuloituissa käyttö- tai vikatilanteissa.

Käyttökoulutukseen voi sisältyä myös sähköaseman kirjallinen käyttöohje. Käyttöohjeessa kuvataan sähköaseman ABB:n toimitukseen sisältyvien järjestelmien kuvaus, tekniset tiedot ja laitteiden ohjaus.

5 KÄYTTÖÖNOTTO

Sähköaseman käyttöönotolla tarkoitetaan tilannetta, jolloin sähkölaitteistoon kytketään jännite varsinaista käyttöä varten. /16/

Sähköturvallisuuslain vaatimus käyttöönotettavasta sähkölaitteiston on ”Sähkölaitteisto saadaan ottaa käyttöön vasta, kun käyttöönototarkastuksessa on riittävässä laajuudessa selvitetty, että siitä ei aiheudu sähkölain 6. §:ssa tarkoitettua vaaraa tai häiriötä.” /1135/2016/ Sähkölaitteiston rakentaja vastaa aina sähkölaitteiston käyttöönototarkastuksesta. Valtioneuvoston asetus sähkölaitteistosta 1434:2016 4. § momentti määrittelee käyttöönottopöytäkirjaan kirjattavat sähkölaitteistoa koskevat tiedot /16,31.

Sähkölaitteiston käyttöönotto on sähkölain 42. § ja 62. § mukaan sähkölaitteiston käytönjohtajan vastuulla. Vastuu työturvallisuudesta, sekä sähkö- ja käyttötoista siirtyy toiminnanharjoittajan käytönjohtajalle, kun sähkölaitteistoon kytketään jännite laitteiston käyttöä varten. Pykälien 42. § ja 62. § vaatimuksien vuoksi on välttämätöntä, että rakennettavalle sähkölaitteistolle nimetään käytönjohtaja ennen sähkölaitteiston käyttöönottoa. Käytönjohtajan lain määrittelemistä vastuista ja velvoitteista johtuen, käytönjohtajalla pitää olla tosiasialliset ja riittävät mahdollisuudet valvoa ja johtaa käyttötoita. Käytönjohtajalla tulee olla riittävät tiedot sähkölaitteistoon liittyvistä töistä ja tarkastuksista. /4,16,28/

Vastuu rakenteilla olevan sähkölaitteiston turvallisuudesta on laitteiston rakentajalla. Laitteiston testit ja mahdolliset valvotut käyttötilanteet, jotka ovat tarpeellisia sähkölaitteiston toiminnan ja turvallisuuden varmistamiseksi ovat myös laitteiston valmistajan vastuulla. Sähkölain 42. § mukaan ”sähkölaitteisto katsotaan otetuksi käyttöön ajankohtana, jolloin laitteistoon kytketään jännite sen käyttöä varten.” ”Varsinaiseen käyttötarkoitukseen sähkölaitteiston katsotaan otetuksi, kun rakennettu sähkölaitteisto otetaan suunniteltuun käyttötarkoitukseensa. Sähkölaitteiston käyttöönottona ei kuitenkaan pidetä sellaisia valvottuja käyttötilanteita, jotka ovat tarpeen laitteiston koekäytössä tai käyttöönototarkastuksessa” /16/.

Sähkölaitteiston rakentajan sähkötöiden johtaja on vastuussa sähkölaitteiston ja työmaalla tehtävien sähkötöiden turvallisuudesta sähkölaitteiston rakentamisen ja testauksien aikana. Testauksiin voi kuulua sähkölain mukaisia valvottuja sähkölaitteiston koekäyttöjä /16/.

Sähkölaitteiston rakentaja laatii sähkölaitteiston käyttöönottotarkastuksesta pöytäkirjan, jossa todetaan sähkölaitteiston turvallisuus ja vaatimustenmukaisuus. Asiakas voi tarvittaessa pyytää lisäselvityksen havaitsemistaan epäkohdista tai puutteista sähkölaitteistossa. Sähkölaitteiston käyttöönotto voidaan aloittaa, kun asiakas tai asiakkaan edustaja on hyväksynyt, että sähkölaitteisto on vaatimusten ja standardien mukainen /16/.

Sähköaseman käyttöönotto-ohjelman laatimisesta ei ole vakiintunutta käytäntöä, vaan ohjelman laatimisesta sovitaan asiakkaan kanssa tapauskohtaisesti, ellei sitä ole projektin hankekuvauksessa määritelty. Sähkölaitteiston kytkentäohjelma on sähkötyöturvallisuusstandardissa SFS 6002 määritelty kansallinen lisävaatimus suurjännitelaitteistoissa tehtävissä kytkentätehtävissä. Kansallinen lisävaatimus ei koske yksittäisen laitteen kytkemistä tai hätäkytkentöjä. Kytkentäohjelma on yksityiskohtainen suunnitelma, jossa kuvataan kytkentöjen eri vaiheet ja vaiheissa laitteistolle tehtävät tilojen todennukset /11/.

ABB voi avustaa tai konsultoida sähkölaitteiston haltijaa käyttöönotto-ohjelman ja siihen liittyvän kytkentäsuunnitelman laadinnassa. Vastuu kytkentätöistä on aina sähkölaitteiston käytönjohtajalla. Kytkentäohjelman laatiminen, noudattaminen ja kytkentätöiden aikainen työturvallisuus on aina sähkölaitteiston käytönjohtajan vastuulla.

Käytönjohtaja on luonnollinen henkilö, jonka sähkölaitteiston haltija nimeää luokan 2 ja 3 sähkölaitteille. Käytönjohtajalla tulee olla riittävä pätevyystodistus. Sähkömarkkinalain 588/2013 mukaan sähköverkkoluvanhaltijalla pitää olla palveluksessa käytönjohtaja, sekä sähkötöiden johtaja, jos sähköverkkoluvanhaltija suorittaa sähkötöitä /16,29/.

Sähköturvallisuuslain 61. § mukaan käytönjohtaja tulee olla sähkölaitteiston haltija tai tämän palveluksessa. Sähköturvallisuuslain 61.§ mukaan, ”sähkölaitteistoa koskevalla kunnossapitosopimuksella voidaan siirtää käytön johtajan vastuut ja velvollisuudet ulkopuoliselle yrityksen palveluksessa olevalle henkilölle.” Kunnossapitosopimus voidaan tehdä vain yrityksen kanssa, jolla on oikeus tehdä sähkötöitä. Yrityksellä on oltava riittävä henkilöstö tavanomaisten ylläpitohuollon ja viankorjausten suorittamiseen /4,16,28/.

Fingrid hallitsee ja kehittää Suomen kantaverkkoa. Fingridin vastuulla on huolehtia, että kantaverkkoon liitettävät sähkötuotantolaitokset ja energiaa käyttävät laitokset täyttävät asetetut lait ja määräykset. Fingrid WWW- sivuilla on ohje kantaverkkoon liittyvälle toimijalle. Ohjeessa käydään läpi kantaverkkoliitynnän eteneminen suunnittelusta kytkentään. Opinnäytetyön 2. osan liitteessä 3 on kaavio, miten liittyminen kantaverkkoon etenee /29,30/.

Sähköturvallisuuslain 6. § määrittelee kaikkia sähkölaitteita ja sähkölaitteistoja koskevat yleiset vaatimukset. Sähköturvallisuuslain 36. § sähkölaitteistojen kytkemisestä yhteen: ”sen, joka kytkee sähkölaitteistot yhteen, on varmistettava, ettei toimenpiteestä aiheudu 6 §:ssa tarkoitettua vaaraa tai häiriötä. Tämän varmistamiseksi yhteen kytkettävien sähkölaitteistojen haltijoiden on annettava toisilleen riittävät sähkölaitteistonsa rakennetta koskevat tiedot” /16/.

Sähköturvallisuuslain 42. §, 60. §, 61. § ja 62. § mukaan sähkölaitteiston haltijan palveluksessa oleva, tai huoltosopimuksen kautta solmittu käytönjohtaja on vastuussa sähkölain 61. § ja 62. § mukaisesti sähkölaitteiston käyttöönotosta ja henkilöstöstä, joka osallistuu sähkölaitteiston käyttöönototehtäviin, tai muihin sähkölaitteiston kytkentätehtäviin /16/.

ABB:n ohjeiden mukaan yrityksen työntekijät voivat osallistua sähkölaitteiston käyttöönottovaiheessa tapahtuviin testauksiin ja tarkastuksiin vain jos ABB:n sähkötöiden johtaja on tarkastanut ja hyväksynyt sähkölaitteiston käyttöönottosuunnitelman ja kytkentäsuunnitelman. ABB:n työntekijät voivat ottaa käyttöön rakennetun sähkölaitteiston, jos laitteiston haltija on solminut ABB:n kanssa laitteistoa

koskevan huoltosopimuksen ja siirtänyt täten käytönjohtajuuden vastuut ja velvollisuudet ABB:lle

6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Opinnäytetyö käsittelee sähköasemaprojektin testauksia ja standardien ja turvallisuuden vaatimuksia sähkölaitteistoille. Sähköasema sisältää paljon erilaisia sähkö- ja automaatiojärjestelmiä, joiden tulee toimia suunnittelulla tavalla ja ennalta asetettujen vaatimusten mukaisesti. Sähkölaitteiden toiminta ja turvallisuus voidaan varmistaa vain tarkoituksenmukaisin ja luotettaviksi todetuin testein ja tarkastuksin. Laitteiden ja järjestelmien testauksesta vastaavien henkilöiden tulee tuntee riittävän laajasti laitteistoja ja järjestelmiä koskevia standardeja ja järjestelmiin liittyviä lakeja ja määräyksiä.

Aiheen laajuuden vuoksi opinnäytetyössä ei voitu kuvata testauksia yksityiskohtaisesti, vaan työssä keskityttiin luetteloimaan ja perustelemaan testien tarpeellisuus ja sähköaseman eri järjestelmiä ja kojeita koskevat standardit ja vaatimukset. Opinnäytetyössä kerättiin yleistietoa ja tarkempia kuvauksia sähköaseman kojeiden ja järjestelmien testauksesta. Opinnäytetyö on tarkoitettu lukijalle, jolla ei ole välttämättä alan koulutusta, mutta tarvitsee tietoa laitteiden ja järjestelmien testauksista ja tarkastuksista.

Sähköaseman käyttöönottotestausten järjestys vaihtelee projekteittain, eikä tässä työssä ole otettu huomioon aivan kaikkia mahdollisia järjestelmiä, mitä sähköaseman toimitukseen voi kuulua. Esimerkki tällaisesta on maakaapeleista johtuvien maakapasitanssien kompensointilaitteisto keskijänniteverkossa, tai reaktorit jakeluverkon loistehon kompensoinnissa.

Lopuksi haluan kiittää kaikkia ABB:ltä jotka ovat osaamisellaan ja neuvoillaan mahdollistaneet tämän työn tekemisen. Erityisesti haluan kiittää opinnäytetyön ohjaajaa HSE asiantuntijaa Lassi Karppista neuvoista ja tuesta työn aikana.

LÄHDELUETTELO

- /1/ ABB Suomessa. Yksikön tietoja. ABB OY. Viitattu 8.4.2019.
<https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa/yksikot/grid-integration>
- /2/ Historia ja taustatietoa. ABB OY. Viitattu 8.4.2019.
<https://new.abb.com/fi/yhtyma>
- /3/ Talousluvut ja muuta yritystietoa. ABB OY. Viitattu 9.4.2019.
<https://new.abb.com/investorrelations/company-profile/facts-figures>
- /4/ SFS 6001:2018. Suurjänniteasennukset. 5. painos. Helsinki: SESKO ry. 2018. 155 s.
- /5/ SFS ry. 1988. Käsikirja 1. Standardointi. Tarkoitus ja hyödyntäminen 2. painos.
- /6/ Standardoinnin tasot. IEC. Viitattu 11.2.2019.
https://www.iec.ch/conformity/what/ca_types.htm
- /7/ Standardoinnin tarkoitus. IEC. Viitattu 11.2.2019
<https://www.iec.ch/conformity/what/?ref=menu>
- /8/ Vaatimustenmukaisuusarviointi. IEC. Viitattu 11.2.2019.
<https://www.iec.ch/conformity/>
- /9/ Laaksoharju, J. 2018. Tehdastarkastusohje PGGI/ PGGA projektit. ABB Vaasa
- /10/ Tekninen manuaali. ABB REC670 Control Unit. Version 2.2 IEC Technical manual. ABB OY.
- /11/ SFS 6002:2015+A1:2018. sähkötyöturvallisuus. 4. painos. Helsinki: SESKO ry. 2018. 67 s.
- /12/ Tehdastestauksen vaiheet. LabAutopedia. Viitattu 19.2.2019
[http://www.labautopedia.org/mw/Factory_Acceptance_Testing_\(FAT\)](http://www.labautopedia.org/mw/Factory_Acceptance_Testing_(FAT))

- /13/ Pehdyttäminen rakennustyömaalla. Työturvallisuuskeskus. Viitattu 22.3.2019. https://ttk.fi/koulutus_ja_kehittaminen/julkaisut/digijulkaisut/pehdyttaaminen_rakennustyomaalla
- /14/ L 23.8.2002/738. Työturvallisuuslaki. Säädös saadöstietopankki Finlexin sivuilla. Viitattu 23.3.2019. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2002/20020738>.
- /15/ Koskela, P. Turvallisuus- ja ympäristösuunnitelma. 2018. ABB Vaasa.
- /16/ L 1135/2016 Sähköturvallisuuslaki. Säädös saadöstietopankki Finlexin sivuilla. Viitattu 27.3.2019. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161135>.
- /17/ Terveiden, turvallisuuden ympäristön ja kestävän kehityksen tavoitteet. ABB. Viitattu 28.3.2019. <https://new.abb.com/sustainability/abb-policy-on-health-safety-environment-security-and-sustainability>
- /18/ Rintamäki, O. 2002. Manual for commissioning at site in Substation projects. ABB sisäinen ohje.
- /19/ ABB OY. 2018. Gas- Insulated Switchgear ELK-04, Product manual. ABB OY.
- /20/ ABB OY. 2018. GIS ELK-04 käyttöönottestaus pöytäkirja. ABB OY.
- /21/ IEC 62271- 203. Gas- insulated metal- enclosed switchgear for rate voltages above 52 kV. Geneve: IEC Central Office. 2011. 162 s.
- /22/ IEC 62271- 4. High- voltage switchgear and controlgear, handling procedures for hexafluoride (SF6) and its mixtures. Geneve: IEC Central Office. 2013. 162 s.
- /23/ IEC 62271-100. High- voltage switchgear and controlgear, Alternating- current circuit- breakers. Geneve: IEC Central Office. 2017. 210 s.
- /24/ Hautala, H. 2006. Sähköaseman ulkokentän laitteiden testausohje ja pienjännitejärjestelmän käyttöönottotarkastuksen ohje. ABB Vaasa.

- /25/ IEC 62271-1. High- voltage switchgear and controlgear, Common specifications for alternating current and controlgear. Geneve: IEC Central Office.
- /26/ Hautala, J. 2010. Keskijännitekojeiston suojareleiden testausohje SAT. ABB Vaasa.
- /27/ ABB OY. 2019. UniGear ZS1 asennus, huolto ja käyttöönotto. ABB OY.
- /28/ Sähkölaitteiston haltijan ja käytön johtaja. Tukes. Viitattu 26.3.2019. <https://tukes.fi/sahko/sahkolaitteistot/sahkolaitteiston-haltija-ja-kaytonjohtaja>
- /29/ L 2013/588. Sähkömarkkinalaki. Säädös saadöstietopankki Finlexin sivuilla. Viitattu 2.4.2019. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130588>.
- /30/ Kantaverkkoon liittyjän opas. Fingrid. Viitattu 27.3.2019 <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/palvelut/sahkomarkkinainformatio/kantaverkkoon-liittyjan-opas.pdf>
- /31/ Martti, A., Elovaara, J., Karttunen, M., Nousiainen, K., Palva. V. 2003. Suurjännitetekniikka. Toinen painos.
- /32 / Lassila, P. Kaukokäyttöinsinööri ABB Grid Automation. Haastattelu 5.4.2019.