



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Matias Heikkilä

TUULIVOIMAPUISTON SÄHKÖASEMAN KOESTAMINEN

Maviko Oy

Tekniikka
2023

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Matias Heikkilä
Opinnäytetyön nimi	Tuulivoimapuiston sähköaseman koestaminen
Vuosi	2023
Kieli	suomi
Sivumäärä	40 + 2 liitettä
Ohjaaja	Jukka Hautala

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, kuinka lähelle valmista sähköasemaa on mahdollista päästä tehdaskoestuksella, sekä mitä kaikkea tarvitsee vielä koestaa kenttäolosuhteissa. Tutkimuksen tehtävänä oli auttaa ymmärtämään sähköinfran teoriaa sekä sähköaseman laitteiden ja kojeiden koestusta. Tutkimuksen taustana oli sähköaseman koestaminen tehdasolosuhteissa ja sen kehittämiseen panostaminen.

Teoreettisesti käsiteltiin sähköasemilla esiintyviä laitteita, kojeita ja sähköverkon suojausten teoriaa. Tutkimusaiheena käytettiin tuulivoimapuiston 110 kV/33kV sähköaseman koestamista tehdas- ja kenttäolosuhteissa. Tutkimusmenetelminä käytettiin työn dokumentointia, havainnointia ja dokumenttianalyysejä.

Tutkimuksen keskeisiä havaintoja oli realisaatio siitä, että tehdaskoestuksella voidaan päästä lähelle valmista sähköaseman toisiopuolen koestusta. Keskeisinä johtopäätöksinä huomattiin, että koestusprosessi kannattaa suunnitella etukäteen sujuvan ja tehokkaan toiminnan varmistamiseksi. Tutkimus tarjosi hyödyllistä tietoa sähköasemien koestuksesta ja sen kehittämisestä.

Avainsanat: koestus, tehokkuus, sähköala, sähkönjakelu.

ABSTRACT

Author	Matias Heikkilä
Title	Testing of the Wind Farm Substation
Year	2023
Language	Finnish
Pages	40 + 2 Appendices
Name of Supervisor	Jukka Hautala

The goal of this thesis was to find out how close to a finished substation it is possible to get with factory testing, and what still needs to be tested in the field. The purpose of the study was to help understand the theory of electrical infrastructure and the testing of substation equipment and instruments. The background of the study was to test the substation under factory conditions and to develop it further.

Theoretical aspects of substation equipment, instrumentation and electrical network protection theory are discussed. The subject of the study was the testing of a 110 kV/33 kV substation in a wind farm under factory and field conditions. The research methods used were work documentation, observation and documentary analysis.

The key findings of the study were the realization that, with factory testing, it is possible to come close to the finished substation secondary testing. The main conclusions were that the testing process should be planned in advance to ensure smooth and efficient operation. The study provided useful information on substation testing and its development.

Keywords: Testing, efficiency, electricity sector, and distribution of electricity

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	6
1.1	Tavoitteet ja menetelmät	6
1.2	Työn rajaus.....	6
1.3	Maviko Oy	7
2	TUULIVOIMA.....	8
2.1	Tuulivoimapuisto	9
2.2	Sähköasema yleisesti	9
2.3	Tuulivoimapuiston sähköaseman erityispiirteet	11
3	KOESTAMISEN HYÖDYT JA HAITAT TEHDASOLOSUHTEISSA	13
3.1	Matka- ja kulukorvaukset	13
3.2	Sähköaseman kuljetus	14
3.3	Sähköaseman nostaminen.....	15
3.4	Toimitiloissa koestamisen hyödyt.....	17
4	TUULIPUISTON SÄHKÖASEMAN KOESTUS	18
4.1	Koestusprosessi.....	18
4.2	Johdonsuojaus	19
4.2.1	Oikosulkusuojaus	20
4.2.2	Selektiivisyys.....	20
4.3	Maadoitukset asemalla.....	22
4.4	Factory acceptance test.....	24
4.5	Tasasähköjärjestelmien testaus.....	24
4.6	Automaatiojärjestelmien testaus	26
4.7	Suojareleiden testaus	26
4.8	Keskijännitekojeiston testaus	28
5	SÄHKÖASEMAN KÄYTTÖÖNOTTO	29
5.1	VELA-tasasähköjärjestelmä ja sen käyttöönotto.....	29
5.2	Automaatiojärjestelmien käyttöönotto.....	30

5.3	Maadoitusten mittaus	31
5.4	Sähköaseman yleiset tarkastukset.....	31
5.5	Käyttöönoton jälkeen	32
6	SÄHKÖASEMAN ELINKAARI	33
7	YHTEENVETO	35
	LÄHTEET	38
	LIITTEET	40

1 JOHDANTO

Uusiutuvan sähköenergian tuotanto on tullut yhä tärkeämmäksi lähivuosina kuluttajapainostuksen uusiutuvaa energiaa kohden ja sen kehittämiseen panostetaan yhä enemmän. Tämän kehityksen myötä on myös tärkeää varmistaa, että sähköasemien koestus on ajantasaista sekä kustannustehokasta. Opinnäytetyö tehtiin kevään 2023 aikana Maviko Oy:lle ja sen tavoitteena oli kehittää tuulivoimapuisto- ja sähköjakeluasemien koestusta tehdas- ja kenttäolosuhteissa.

1.1 Tavoitteet ja menetelmät

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, kuinka lähelle valmista sähköasemaa on mahdollista päästä tehdaskoestuksella ja täten kehittää tuulivoimapuisto- ja sähköjakeluasemien koestusta tehdas- ja kenttäolosuhteissa. Opinnäytetyöstä pyrittiin tekemään selkeä ja pääpiirteinen, jotta siitä olisi apua koestajille työtehtävissä sähköasemilla.

Tavoitteiden saavuttamiseksi käytettiin teoriaa, testejä (tehdas- ja kenttäolosuhteissa), analyysejä, sekä opiskeluaikana opittuja taitoja, kuten projektinhallintaa, raportointia ja tiedonhakua. Opinnäytetyössä käytettiin teoriaa, joka liittyy sähköasemilla esiintyviin laitteisiin, kojeisiin, sähköverkon suojauksen käsitteisiin ja teoriaan, joka on tärkeää sähkö- ja tuuli-infrastruktuurin ymmärtämiseksi.

1.2 Työn rajaus

Opinnäytetyö keskittyy tutkimaan 110/33kV tuulivoimapuiston sähköaseman koestamisesta Maviko Oy:n tiloissa ja kentällä. Tarkoituksena on tutkia, kuinka lähelle valmista sähköasemaa voidaan päästä tehdasolosuhteissa sähköaseman koestamisessa, sekä mitä kaikkea ei voida suorittaa tehdasolosuhteissa ilman varsinaista liitääntä sähköverkkoon.

1.3 Maviko Oy

Maviko Oy on valtakunnallisesti toimiva innovatiivinen sähkönjakelun palveluyritys. Monipuolisista tuotteista tärkeimpiä ovat laaja-alainen sähköasemaurakointi ja maasulkuvirran kompensointilaitteistojen maahantuonti. Mavikon toiminta keskittyy energiainfran ydinpisteisiin.¹

Maviko Oy on laajentanut vuosien varrella osaamista maasulkuvirran kompensoinnista loistehon kompensointiin, sekä sähköasemien saneeraus- ja rakennustöihin. Vuonna 2020 Mavikolla otettiin isoja harppauksia eteenpäin ja rakennettiin oma tuotantohalli, jossa valmistetaan älymuuntamoita ja erotinasemia. Maviko tarjoaa myös erilaisia koestus- ja suojauskonsultointi sekä dokumentointi palveluita sähköverkkoyrityksille. Lisäksi Maviko tarjoaa ”avaimet käteen” -projekteja, joissa yritys hoitaa kokonaisvaltaisesti asiakkaan toiveiden mukaan kaiken suunnittelusta käyttöönottoon.²

¹ Maviko Oy. 2022. Sähköasemat.

² Maviko Oy. 2022. Yritys.

2 TUULIVOIMA

Tuulen avulla luotua sähköenergiaa kutsutaan tuulivoimaksi, joka on Suomessa ja maailmalla yksi merkittävimmistä uusiutuvista sähköntuotantomuodoista. Tuulivoiman rakentaminen on lisääntynyt Suomessa huomattavasti 2010-luvulta lähtien. Tuulivoimapuistot rakennetaan tuulisille alueille, joissa on riittävästi tuulivoiman potentiaalia. Merituulivoimaloita voidaan myös rakentaa merelle tai rannikon läheisyyteen.³

Tuulivoima on ympäristöystävällinen energianlähde, koska sen energian talteen ottaminen ei aiheuta saasteita tai kasvihuonekaasupäästöjä. Lisäksi sen rakentaminen ja ylläpito ovat edullisia verrattuna perinteisiin energiantuotantomenetelmiin. Tuulivoiman käyttö on mahdollista kaikkialla maailmassa, mutta joillakin alueille tuulta esiintyy enemmän kuin toisilla. Tuulivoima on myös itsenäinen energianlähde, joka ei vaadi polttoainetta, joten sen hyödyntäminen auttaa vähentämään energiariippuvuutta. Toisaalta tuulivoiman hyödyntämisessä on joitain haasteita, kuten tuulen epäsäännöllisyys ja vaihtelevuus, jotka vaikuttavat negatiivisesti energian tuotantoon. Lisäksi tuulivoimalaitosten rakentaminen usein vaikuttaa paikallisiin ympäristöihin ja maisemiin negatiivisesti. Isot tuulivoimapuistot aiheuttavat myös äänihaittaa alueella.⁴

³ Kauppinen, J. 2018. Turbiinitekniikka 247–248

⁴ Kauppinen, J. 2018. Turbiinitekniikka 247–248

2.1 Tuulivoimapuisto

Tuulivoimapuisto on alue, jossa useampi tuulivoimala on sijoitettu lähelle toisiaan. Tuulivoimaloiden keskittäminen yhteen paikkaan mahdollistaa suuremman energiantuotannon ja tehokkaamman ylläpidon. Tuuliturbiineilla tuotettu sähköenergia tuodaan sähköasemalle tyypillisesti maakaapelina, mutta myös ilmajohtojen käyttö on mahdollista. Suomalaisissa tuulivoimapuistoissa käytetään 20kV ja 33kV jännitteitä puiston sisäiseen energiaan siirtoon. Maakaapeloinnin etuna ilmajohtoihin verrattuna on sen käyttövarmuus ja maisemointi.

Tuulivoimapuiston rakentamisessa tarvitaan asianmukaisia lupia ja rakennusoikeuksia, yleensä vuokratulle tuulivoimapuiston alueelle. Rakentamisen jälkeen tuulivoimalat vaativat säännöllistä ylläpitoa ja huoltoa, jotta ne toimivat mahdollisimman tehokkaasti ja turvallisesti. Tuulivoimapuisto tuottaa uusiutuvaa energiaa, joka auttaa vähentämään fossiilisten polttoaineiden käyttöä ja siten vähentää hiilidioksidipäästöjä ilmakehään.

2.2 Sähköasema yleisesti

Nykyaikana lähes kaikki sähköasemat ovat täysin automatisoituja eli ne on suunniteltu siten, että niiden ohjaaminen voidaan suorittaa etäyhteydellä sähköverkon valvomoista. Sähköasemien rakenne yleensä koostuu laajemmista aidatuista alueista, joissa on ulkokytkentäkenttä sekä erillinen kojeistorakennus. Pienempiä sähköasemia, jotka sijaitsevat täysin sisätiloissa kutsutaan kompakteiksi sähköasemiksi. Kompakteja sähköasemia käytetään paljon kaupunki- ja taajamaympäristöissä.

Sähköasemarakennus keskittyy keskijännitekojeistoon, joka vastaanottaa tuuliturbiinien tuottaman sähköenergian. Keskijännitekojeisto sijaitsee erillisessä rakennusosassa sähköasema rakennuksen sisällä. Sähköasemarakennus koostuu keskijännitekojeiston lisäksi 110 kV:n kytkinkentän suojareleistä, sekä tasasähkö- ja

omakäyttökeskuksista. Puiston etäkäyttöä varten on asemarakennukseen tehty oma SCADA-huone.

SCADA-huone (Supervisory Control and Data Acquisition) on keskeinen osa modernin sähköaseman valvonta- ja hallintajärjestelmää. Kyseessä on tila, jonne sähköaseman SCADA-järjestelmä on asennettu ja mistä käsin sähköaseman toimintaa valvotaan ja ohjataan.

Merkittävä osa suomessa rakennetuista keskijännitelaitteista sisältää SF₆-kaasua (rikkiheksafluoridi), joka on erittäin voimakas kasvihuonekaasu. SF₆-kaasun käyttöä on pyritty rajoittamaan ja sille on pyritty kehittämään korvaavia ratkaisuja sen haitallisten ympäristövaikutuksien vuoksi. Siksi SF₆-kaasu tullaan kieltämään alle 24kV-järjestelmissä vuoden 2026 alusta alkaen ja sitä suuremmille jännitteille kieltö astuu voimaan vuoden 2031 alusta. On mahdollista tehdä keskijännitekojeistoja myös ilmaeristeisenä tai käyttäen puhdasta pakattua ilmaa. Tyhjiötekniikalla saadaan täysin SF₆-vapaa eristys. SF₆-kaasun käyttö keskijännitekojeistoissa on ollut huolenaihe, sillä nämä kojeistot ovat merkittäviä kaasupäästöjen lähteitä. SF₆-kaasu on noin 23 500 kertaa voimakkaampi kasvihuonekaasu kuin hiilidioksidi (CO₂). Lisäksi sen elinikä ilmakehässä on noin 3 200 vuotta, joka tekee näistä kaasupäästöistä erittäin haitallisia ympäristölle.⁵

Sähköaseman kallein yksittäinen komponentti on päämuuntaja. Päämuuntajan avulla voidaan muuntaa sähköisen järjestelmän jännitetasoa. Tyypillisesti päämuuntajaa käytetään jakelumuuntajana, joka muuntaa 110 kV korkeajännitteen 20 kV keskijännitteeksi. Keskijännite ohjataan sähköaseman kojeiston läpi asiakaille.

⁵ Järvinen, T. 2021. Rikkiheksafluoridi (SF₆) – kasvihuonekaasu.

2.3 Tuulivoimapuiston sähköaseman erityispiirteet

Tuulivoimapuiston sähköasema on erikoistunut sähköntuotannon siirtoon tuulivoimaloilta sähköverkkoon. Se koostuu yleensä useasta eri osasta, jotka kaikki yhdessä muodostavat toimivan sähköntuotantojärjestelmän. Tuulivoimapuiston sähköaseman ohjauskeskus vastaa tuotetun sähkön tuotannon ja jakelun hallinnasta ja valvonnasta. Lisäksi ohjauskeskus pystyy säätämään sähköntuotannon vastaamaan muuttuvaa kysyntää sähköasemalta käsin.

Tuulivoimapuiston sähköasemassa on joitakin erityispiirteitä, jotka erottavat sen normaalista sähköasemasta. Erityispiirteitä ovat esimerkiksi että, päämuuntajista puhutaan tehomuuntajina, jotka nostavat tyypillisesti 20 kV tai 33 kV keskijännitteen 110 kV korkeajännitteeksi.⁶ Tuulivoimapuiston tehojen noustessa on taloudellisempaa käyttää suurempia jännitetasoja, pienemmän virran saavuttamiseksi kaapeleissa, jonka johdosta häviöitä syntyy vähemmän. Tehomuuntajalta korkeajännite syötetään 110 kV:n kytkentälaitteiden siirtoverkkoon. Kytkentäkenttiä on yhtä monta sähköasemalla kuin on tehomuuntajaa eli tyypillisesti yhdestä kolmeen.⁷

Koska tuulivoiman tuotanto vaihtelee tuulen voimakkuuden mukaan, tuulivoimapuiston sähköasemalla on oltava tehokkaat valvonta- ja ohjausjärjestelmät, jotka voivat reagoida nopeasti vaihtelevaan sähköntuotantoon. Kun sähköenergiaa tuotetaan enemmän kuin on kysyntää, on ylimääräinen sähkö ohjattava varastointijärjestelmiin tai hidastettava sähköntuotantoa tuulivoimaloilta. Lisäksi tuulivoimapuiston sähköaseman muuntamot ovat usein suurempia kuin tavallisella sähkö-

⁶ Energy Authority. 2022. Tuulivoimapuiston sähköasema.

⁷ Energy Authority. 2022. Tuulivoimapuiston sähköasema.

asemalla esiintyvät muuntamot, jotta ne voivat käsitellä ja siirtää suuria energiamääriä Suomen siirtoverkkoon. Tällaiset erityispiirteet ovat välttämättömiä tuulivoiman tehokkaalle tuotannolle ja integroinnille sähköverkkoon.⁸

Tuulivoimapuistojen tyypillinen sisäverkon ongelma on suuret loistehon kuluttajat ja tuottajat. Tuulivoimaloiden tuottama kuorma sisäverkkoon on induktiivista, kun kulutetaan loistehoa tai kapasitiivista kun tuotetaan loistehoa. Loistehoa pyritään vähentämään taajuusmuuntajilla, mutta yleensä tarvitaan erillinen lisäkompensointilaitte sähköasemalle. Lisä loistehonkompensointi tarkoittaa yleisimmin tuulivoimapuistojen sähköasemilla Estokelaparistoa tai kondensaattoriparistoa. Paristo kytketään mekaanisesti päälle ja pois käyttöön. Visuaalisesti suurin ero tavalliseen sähköasemaan on estokelaparisto kuvassa 1.⁹



Kuva 1. Tuulivoimapuiston sähköasema.

⁸ Suomen Tuulivoimayhdistys. 2022. Tuulivoimapuistot.

⁹ Heier, S. 2014. 325

3 KOESTAMISEN HYÖDYT JA HAITAT TEHDASOLOSUHTEISSA

Sähköaseman koestaminen on tärkeä osa käytön varmistamista. Koestuksella pyritään varmistamaan sähköaseman toiminta poikkeustilanteissa. Koestusprosessin aikana tehdään erilaisia mittauksia ja testejä, joiden avulla voidaan havaita mahdolliset viat ja ongelmat ennen kuin ne aiheuttavat suurempia vahinkoja.

Sähköaseman testaaminen tehdasolosuhteissa on nopeampaa ja helpompaa kuin kentällä, mikä mahdollistaa virheiden ja poikkeamien nopeamman korjaamisen. Lisäksi, kun laitteet tai asema testataan tehdasolosuhteissa, helpottaa se myös uusien työntekijöiden koulutusta.

Tehdasolosuhteissa koestamisen huonot puolet ovat nostamisessa ja kuljetuksessa syntyvät suuret riskit. Pahimmassa tapauksessa aseman rakenne antaa periksi ja siitä voi syntyä henkilövahinkoja. Kuljetuksen tärinä saattaa hajottaa laitteita, jotka toimivat vielä testatessa, mutta eivät toimi enää tarkoituksenmukaisesti sähköasemankentällä.

3.1 Matka- ja kulukorvaukset

Matka ja kulukorvaukset ovat huomattava menoerä yrityksille, jos joudutaan käymään viikoittain työmatkalla koestamassa ja testaamassa sähköasemien kojeita ja laitteita. Sähköaseman koestaminen yrityksen tiloissa säästää matkakorvauksissa ja päivärahoissa huomattavan kustannuserän. Seuraavaksi käsitellään matkakustannuksien korvauksia sekä sitä mistä matkakustannukset koostuvat yleisesti.

Työntekijälle maksetaan veronalaisen palkan ja luontaisetujen lisäksi myös korvauksia matkakustannuksista kuten kilometrikorvausta, ateriakorvausta tai päivä-

rahaa. Nämä korvaukset ovat työntekijöille verottomia, kunhan ne eivät ylitä Verohallinnon määritelmiä enimmäismääristä. Työnantaja voi myös korvata työntekijälle työmatkalla aiheutuneita kuluja verovapaasti.¹⁰

Työnantaja maksaa työntekijälle rahallisen korvauksen matkasta aiheutuneista kuluista. Tällaisia kustannuksia ovat esimerkiksi matkaliput, majoituskulut sekä työntekijän oman auton käyttäminen. Työmatkasta voi mahdollisesti aiheutua työntekijälle kasvaneita elantomenoja kuten ruokailu, yhteydenpito ja vaatehuolto. Nämä kulut työnantaja korvaa työntekijälle päivärahan muodossa. Pääosin elantokustannukset korvataan päivärahan avulla ja vain poikkeustapauksissa tällaiset kulut korvataan muulla tavoin.¹¹

3.2 Sähköaseman kuljetus

Sähköaseman rakennusta joudutaan kuljettamaan ja nostamaan useammin, kun koestus tapahtuu tehdasolosuhteissa. Kuljetus vaatii huolellista suunnittelua ja toteutusta. On tärkeää, että kaikki kuljetuksen osapuolet, kuten kuljettajat, nosturinkäyttäjät ja muut työntekijät osaavat noudattaa turvallisuusohjeita.

Sähköaseman rakennuksen kuljetukseen tarvitaan yleensä raskasta kuljetuskalustoa, kuten erikoiskuljetusautoja, nostureita ja muita erikoislaitteita. Kuljetuksen aikana rakennuksen osat on suojattava ja kiinnitettävä huolellisesti, jotta ne eivät vahingoitu tai liiku paikoiltaan kuljetuksen aikana. Kuljetuksen on oltava turvallinen ja suunniteltu siten, että se ei aiheuta vaaraa ihmisille, ympäristölle tai kuljettavalle rakennukselle.

¹⁰ Määttä & Palomäki 2021.

¹¹ Määttä ym. 2021.

Lisäksi sähköaseman rakennusosien kuljetus vaatii yleensä erikoiskuljetuslupia ja -suunnitelmia, sekä huolellista kuljetusreitin valintaa, jotta mahdolliset esteet voidaan välttää. Kuljetusajankohta ja -aikataulu on myös tärkeä huomioida, jotta kuljetus ei häiritse paikallista liikennettä tai asukkaita.

Sähköaseman kuljettaminen on sen elinkaaren rajuin kokemus eikä kuljettaminen ole täysin riskitöntä. Kuljetuksessa sähköasema joutuu alttiiksi heilumiselle, tuulelle, lialle ja tärinälle. Rakenteet, elektroniikka ja liikkuvat esineet on suojattava sekä sisä- että ulkopuolelta. Ennen kuljetusta akut on irrotettava sähköaseman sisältä. Erityisesti ilmanvaihtokoneiden ulkoyksiköt ja kellarin luukut ovat kohteita, jotka on suojattava huolellisesti.



Kuva 2. Aseman ulkopuoliset suojaukset kuljetuksen ajaksi.

3.3 Sähköaseman nostaminen

Nostojen kasvanut tarve täytyy huomioida, kun sähköaseman rakennus koestetaan tehdasolosuhteissa. Nostamista varten työntekijöiden on varmistuttava nosturin ja nostoliinujen tai ketjujen nostokyvystä. Sähköaseman paino on yleisesti noin 10 000–15 000 kg. Sähköaseman paino ja pituus määräytyy suurimmaksi

osaksi keskijännitekojeistojen määrästä. Nostolaitteen nostokyvyn tulisi olla vähintään 10–15 % nostettavaa taakkaa enemmän. Lisäksi on varmistuttava sopivista ja riittävästä nostoapuvälineistä taakan kiinnittämistä varten. Sähköasemissa vaihtelevat nostokohtat asemanrakenteen mukaan, joten on tärkeää tietää oikea nostokohta ja painojakauma.¹²



Kuva 3. Sähköaseman nosto.

Ennen sähköaseman nostamisen aloittamista on huomioitava riskit, jotka tulee olla kirjattuna nostosuunnitelmassa.

Nosturista täytyy varmistaa tukijalkojen tukeva sekä riittävä tuenta. Työvaatteiden tulee olla huomiovärisiä jokaisella, jotka ovat nostojen aikana alueella. Tarvittaessa on rajattava alue tehtävälle nostolle. Jos nostotyö on tehtävä paikassa, jossa

¹² Työturvallisuuspakki. 2023.

on edes vähäistä liikennettä, on nostoalue tehtävä turvallisesti nostoon osallistuville sekä ulkopuolisille.¹³

Noston liikeradan on oltava suunniteltu siten, että nostetun taakan alla ei ole kehtään nostovaiheen aikana. Turvallinen tapa on pitää turvaetäisyys nostettuun taakkaan siten, että jos taakka tippuu tai kaatuu, paikalla oleville henkilöille ei aiheudu vaaraa. Jos nostolaitteessa tai muissa käytettävissä välineissä havaitaan ongelmia, nosto on keskeytettävä ja ongelma on ratkaistava ennen kuin noston jatkamista voidaan harkita.¹⁴

3.4 Toimitiloissa koestamisen hyödyt

Sähköaseman koestaminen yrityksen toimitiloissa mahdollistaa tarvittavien tarkastusten ja testien tekemisen nopeammalla aikataululla ja kustannustehokkaammin. Koestaminen voidaan suorittaa sisätiloissa ilman sään tai ympäristön vaikutuksia. Koestaminen on nopeampaa, kun tarvittavat laitteet ja testausvälineet ovat lähempänä.

Yrityksen tiloissa tapahtuva koestaminen mahdollistaa myös rakenteiden ja toimilaitteiden virheiden ja puutteiden havaitsemisen ja korjaamisen ennen sähköaseman asentamista lopulliselle käyttöpaikalle. Tämä säästää aikaa ja kustannuksia, sillä puutteiden ja virheiden korjaaminen on helpompaa, kun sähköasema on vielä yrityksen lähellä.

¹³ Työturvallisuuspakki. 2023.

¹⁴ Työturvallisuuspakki. 2023.

4 TUULIPUISTON SÄHKÖASEMAN KOESTUS

Tässä luvussa kerrotaan sähköaseman mahdollisista koestuksista ja testeistä, jotka on mahdollista suorittaa yrityksen toimitiloissa. Tehtaalla tapahtuvan koestuksen haasteet ovat siinä että, kaikkia testejä ei voida suorittaa ilman liityntää varsinaiseen sähköverkkoon.

Sähköasemien tarkastuksilla ja testeillä varmistutaan siitä, että asennukset täyttävät standardin SFS 6001 ja asiaankuuluvien laite standardien vaatimukset. Tarkastukset voidaan todeta vaatimusten mukaisiksi silmämääräisesti, käyttökokein ja mittauksin.

4.1 Koestusprosessi

Koestamisella tarkoitetaan järjestelmällistä testaamista, jonka tarkoituksena on varmistua käyttöönotettavan laitteiston tai suojausjärjestelmän oikeasta toiminnasta.

Osa laitteistojen tarkastuksista voidaan suorittaa tehdasolosuhteissa ilman varsinaista liitääntää sähköverkkoon. Yleisiä aseman mittauksia ja tarkastuksia ovat:

- **Visuaalinen tarkastus:**
Kojeille, komponenteille ja rakenteille.
- **Ominaisuuksien tarkastelu:**
Laitteiden ominaisuuksien tarkastus käyttöolosuhteet huomioon ottaen.
- **Keskijännitekojeiston testaus:**
Kojeiston kytkimien, katkaisijoiden, virtamuuntajien ja maadoituserottimien testaus.
- **Automaatio testit:**
Suojaus-, valvonta-, mittaus- ja ohjauslaitteiden käyttökokeet.
- **Merkinnät:**
Kaapeleiden merkintöjen, turvakilpien ja turvalaitteiden merkintöjen tarkastus.

- **Luokitukset:**
Rakennusten ja kotelointien luokitusten tarkastus.
- **Hätäuloskäyntien toimivuus:**
Hätäuloskäyntien toimivuuksien toteaminen.
- **Maadoitusten tarkastus:**
Maadoitustenjatkuvuuden mittaaminen.

Käyttöönottotarkastuksista sähkölaitteiston haltijan tulee laatia käyttöönottotarkastuspöytäkirja. Tarkastuspöytäkirjasta tulee ilmetä kohteen yksilöintitiedot, selvitys sähkölaitteiston säännösten ja määräysten mukaisuudesta, yleiskuvaus käytetyistä tarkastusmenetelmistä sekä tarkastusten ja testausten tulokset. Tarkastuksen tekijän on allekirjoitettava tarkastuspöytäkirja.¹⁵

4.2 Johdonsuojaus

Johtosuojaus testataan, kun otetaan sähköasemaa käyttöön varsinaista koestusta varten yrityksen toimitiloissa. Johtosuojaus tarkistetaan Excel pohjaisella laskenta kaavakkeella, jotta tarvittavat sulakkeiden vaatimat oikosulkuvirrat täyttyvät.

Johtosuojaukseen lasketut virrat on esitetty tasasähkökeskusten osalta liitteessä 1 ja omakäyttökeskuksen osalta liitteessä 2. Liitteissä on esitetty myös suojauksen toiminnan vaativat virrat. Liitteissä esitetään yhteen johtolähtöön liittyvät esimerkkilaskelmat ja päätelmät. Laskelmat ja päätelmät tehdään kaikista johtolähdöistä erikseen.

• ¹⁵ Finlex. 1996.

4.2.1 Oikosulkusuojaus

Oikosulkusuojauslaskelmissa on otettu huomioon keskuksista lähtevät kaapelit. Kaapeleissa on huomioitu kaapelien tyyppi, paksuus sekä pituus. Kaapeleiden pituutta ei pystytä tarkkaan määrittämään, joten käytetään karkeita mittoja. Oikosulkuvirtaa pienentäviä tekijöitä kaapeleiden lisäksi ovat johdonsuojien sisäiset resistanssit. Oikosulkusuojausten laskuissa oletetaan, että johdonsuojien sisäinen resistanssi vastaisi ABB:n S202 johdonsuojan resistanssia. Liitteiden 1 ja 2 laskuissa oletetaan, että gG sulakkeiden tehohäviöt vastaisivat ABB:n kahvasulakkeiden tehohäviöitä. Tehohäviöistä lasketaan kahvasulakkeiden laskuissa tarvittava sisäinen resistanssi. Vaaditut toimintavirrat on esitetty standardissa SFS6000 (**Taulukossa 1.**).

Taulukko 1. Suojaustaulukko.

Suoja laitteen nimellisvirta A	Suoja laitteen toimintarajavirrat ja pienimmät hyväksyttävät mittaustulokset							
	gG-sulake 0,4 s A	Vaadittu mitattu arvo A	gG-sulake 5,0 s A	Vaadittu mitattu arvo A	Johdonsuojakatkaisijat			
					B-tyyppi 0,4 s ja 5,0 s A	Vaadittu mitattu arvo A	C-tyyppi 0,4 s ja 5,0 s A	Vaadittu mitattu arvo A
6	46,5	58,2	28	35	30	37,5	60	75
10	82	102,5	46,5	58,2	50	62,5	100	125
16	110	137,5	65	81,3	80	100	160	200
20	145	181,3	85	106,3	100	125	200	250
25	180	225	110	137,5	125	156,3	250	312,5
32	270	337,5	150	187,5	160	200	320	400
50	470	587,5	250	312,5	250	312,5	500	625
63	550	687,5	320	400	315	393,8	630	787,5
80	840	1050	425	531,3	400	500	800	1000
125	1450	1812,5	715	893,8	625	781,3	1250	1562,5

(lähde: FSF 6000 standardi)

4.2.2 Selektiivisyys


Sähköverkon suojauksen selektiivisyydellä tarkoitetaan yksinkertaisesti sitä, että ainoastaan lähinnä vikapaikka oleva suoja toimii erottaen vikapaikan ja mahdollisimman pienen osan verkosta jännitteettömäksi. Selektiivisyyden varmistamiseksi käytettävien menetelmien avulla varmistetaan, että sähköjärjestelmässä olevat suojalaitteet laukeavat oikeassa järjestyksessä ja vain vikapaikalla oleva

suojalaite laukeaa.¹⁶ Selektiivisyyden varmistamiseksi käytetään erilaisia menetelmiä, kuten laukaisukäyrien vertailua ja johdonsuojakytkinten ja sulakkeiden selektiivisyystaulukoiden käyttöä. ABB:n S202 B/C johdonsuojien selektiivisyys kuvassa 4 voidaan todeta taulukon 2 avulla ja vertaamalla niitä gG sulakkeiden laukaisukäyriin.

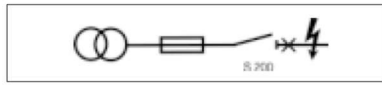
Taulukko 2. Selektiivisyysvalintataulukko.

Oikosulkuselektiivisyys: Oikosulkutapauksessa selektiivisyys on voimassa taulukossa annettuun arvoon saakka.

Johdonsuojakatkaisijat Oikosulkuselektiivisyys kA:na



päävarokekatkaisija S700



sulake gL/gG

SK 0112 Z 99 SK 0113 Z 99

sarjat	I_n A	päävarokekatkaisija S700									sulake gL/gG									
		16	20	25	35	40	50	63	80	100	16	20	25	35	50	63	80	100	125	160
S 200-B, C	≤ 2	>15	>15	>15	>15	>15	>15	>15	>15	>15	1	1.2	4	>15	>15	>15	>15	>15	>15	>15
	3	10	10	10	10	10	10	10	8	8	0.3	0.7	1.2	4.6	6	6	6	6	6	6
	4	10	10	10	10	10	10	10	8	8	0.3	0.6	0.9	2.8	6	6	6	6	6	6
	6	10	10	10	10	10	10	10	8	8	0.2	0.5	0.8	2	3.3	5.5	6	6	6	6
	8	10	10	10	10	10	10	10	8	8	0.2	0.4	0.7	1.7	2.8	4.5	6	6	6	6
	10	10	10	10	10	10	10	10	8	8	0.2	0.4	0.7	1.5	2.5	3.5	5	6	6	6
	13	10	10	10	10	10	10	10	8	8			0.7	1.5	2.5	3.5	5	6	6	6
	16	10	10	10	10	10	10	10	8	8				1.3	2	2.9	4.1	6	6	6
	20		10	10	10	10	10	10	8	8					1.8	2.6	3.5	5	6	6
	25			10	10	10	10	10	8	8					1.8	2.6	3.5	5	6	6
	32				10	10	10	10	8	8						2.2	3	4	6	6
	40					10	10	10	8	8						2.5	4	6	6	6
	50/63						10	10	8	8								3.5	5	6

Pienemmät virrat kuin 6A ja 8A pätevät vain C- käyrällä.

Laukaisukäyrät ja selektiivisyystaulukot auttavat määrittämään suojalaitteiden laukaisuominaisuudet erilaisissa vikatilanteissa. Laukaisukäyrien avulla voidaan selvittää, miten suojalaite reagoi erilaisiin vikoihin ja selektiivisyystaulukoiden avulla voidaan vertailla eri suojalaitteiden selektiivisyyttä keskenään.

¹⁶ Sähkötieto ry. 2017.

Jos sähköjärjestelmään lisätään uusia suojalaitteita, tai muutoksia tehdään olemassa oleviin suojalaitteisiin, on tärkeää tarkistaa niiden selektiivisyys ja varmistaa, että järjestelmässä on edelleen tarvittava selektiivisyys. Tämä tehdään yleensä käyttämällä edellä mainittuja menetelmiä, vertaamalla uusia suojalaitteita tai muutoksia olemassa oleviin suojalaitteisiin.

FB1	gG63	F11,F12	gG25	OK
FB1	gG63	FG20	C16	OK

Kuva 4. Keskuksen selektiivisyys tarkastelu.

4.3 Maadoitukset asemalla

Sähköaseman maadoitukset ovat tärkeä osa sähköaseman turvallisuutta sekä toimintaa. Maadoitusten tarkoituksena on suojata ihmisiä ja laitteita sähköiskuilta ja estää sähköhäiriöitä. Maadoitusjärjestelmässä sähköaseman metalliosat yhdistetään maahan niin, että niiden sähköpotentiaali on mahdollisimman lähellä maan potentiaalia. Tämä vähentää sähköiskun riskiä, jos esimerkiksi vikatilanteessa koskettaa sähköaseman osaa. Sähköaseman maadoitus on määritelty standardissa SFS 6000. Standardissa esitetään vaatimukset sähköaseman maadoitusjärjestelmälle. Maadoitusjärjestelmän on oltava riittävän suuri ja sen on kyettävä johtamaan riittävän suuria sähkövirtoja, jotta sähköiskusta aiheutuva vahinko on mahdollisimman pieni.¹⁷

Maadoitukset jaetaan kahteen ryhmään, jotka ovat suojamaadoitus (PE) ja toiminnallinen maadoitus (FE). Toiminnallisessa maadoituksessa on tärkeää muistaa käyttää muuta väriä kuin keltavihreää. Uudistunut SFS 6000- standardi velvoittaa

¹⁷ SFS-standardi: SFS 6000-5-54, Sähköasennukset, osa 5-54: Maadoitus- ja suojajärjestelmät.

toiminnallisen maadoitusjohtimen tunnusvärinä käytettävän vaaleanpunaista väriä.¹⁸

Toiminnallisen maadoituksen (FE) tehtävänä on pitää virtapiirin jännite sellaisella tasolla, ettei se aiheuta vaaratilanteita tai vaurioita laitteille. Esimerkiksi ylijännitesuojien maadoitukset ovat toiminallisia. Toiminallisia maadoituksia käytetään myös vähentämään jännite-epäsymmetriaa sekä pitämään maavirtaa riittävän pienenä, ettei siitä olisi häiriötä heikkovirtajärjestelmille.¹⁹

Suojamaadoituksessa yhdistetään virtapiiriin kuulumaton osa, kuten muuntajan metallinen kotelo tai runko maadoitusverkkoon. Suojamaadoituksen tarkoituksena on estää vaarallisen kosketusjännitteen syntymistä, mikä viittaa ihmiskehon ja maan väliseen jännitteeseen tietyllä hetkellä. Suomessa yli 1000 V jännitetason järjestelmissä SFS 6001 -standardi määrittelee kosketusjännitteen enimmäisarvot vikavirran ajallisen keston perusteella. Nämä raja-arvot perustuvat sähkön vaarallisuuteen ihmiselle ja ovat riippumattomia verkon jännitetasosta.²⁰

Sähköaseman maadoitusten jatkuvuutta tehdasolosuhteissa pystytään mittaamaan rajallinen määrä. Sähköasemalta puuttuu suuri osa maadoituksista sekä kaapeleista, mutta sisätiloissa pystytään mittaamaan maadoituskiskon ja ovien, kaapelihyllyjen ja keskuksien väliset maadoitukset.

¹⁸ SESKO. 2022

¹⁹ Elovaara & Haarla 2011, 427–428.

²⁰ Elovaara & Haarla 2011, 428–429.

4.4 Factory acceptance test

Kojeistolle ja laitteistolle järjestetään Tehdaskoestus (Factory Acceptance Test, FAT). Rakennuttajan edustajalla on oikeus olla läsnä testauksissa. Ennen FAT-testejä rakennuttajan on nähtävä ja hyväksyttävä koeohjelma sekä saatava riittävä dokumentaatio koestuskohteesta perehtymistä varten.

Urakoitsija laatii koestuksesta pöytäkirjan, joka vahvistetaan sekä urakoitsijan että rakennuttajan taholta. Pöytäkirjassa tulee selvittää testien aikana ilmenneet poikkeamat ja muut huomiot. Poikkeaman merkitys sovitaan yhdessä FAT-testien aikana. Tehdastestejä voidaan järjestää Maviko Oy:n tiloissa Vaasassa tai Lempäälässä erilaisten projektien yhteydessä.

Rakennuttajan edustajat olivat läsnä tehdastesteissä Vaasassa, jotka järjestettiin joulukuussa 2022 Mavikon toimesta. Testeissä käytiin läpi sähkölaitteistoon sovelletut normit ja asennukset. Tehtiin silmämääräinen tarkistus sähköasemille, missä tarkistettiin, että sähköasemat ovat kunnossa ja vastaavat tilaajan toiveita toimivuuden kannalta, visuaalisesti sekä SFS 6000 standardissa vaaditulla tasolla. Lisäksi sähköasemille ja keskijännitekojeistoille tehtiin toiminnallinen testi, eli ohjattavia osia ohjailtiin niin, että nähtiin niiden toimivan oikealla tavalla. FATissa käytiin tehdastestipöytäkirjan kohdat tarkasti läpi yhdessä rakennuttajan kanssa.

4.5 Tasasähköjärjestelmien testaus

Sähköaseman tasasähköjärjestelmä syöttää tasasähkökomponentteja normaali-käytössä ja varaa akustoja. Vikatilanteessa kriittisimpiä sähkökäyttöjä syötetään akustosta, kuten suojarkeitä, kaukokäyttölaitteita, viritysmoottoreita, ohjaus-

moottoreita ja lukitusjännitteitä. Tasasähköjärjestelmän testaus on osa sähköaseman koestusprosessia, joka varmistaa sähköaseman toiminnan luotettavuuden ja turvallisuuden ennen sen käyttöönottoa.^{21 22}

Tasasähköjärjestelmä koostuu akuista ja tasasuuntaajista, jotka muuttavat vaihtovirran tasavirraksi, sekä tasavirtapiiristä, joka välittää tasavirran sähköaseman eri osiin. Seuraavaksi käydään läpi testaus vaiheita, jotka täytyy käydä läpi ennen kuin saadaan tasasähkökeskus käyttöön ja voidaan siirtyä käyttöönottoon:

1) Järjestelmän tarkistaminen:

On varmistettava, että kaikki tarvittavat komponentit ovat paikoillaan. Tämä sisältää kaapelit, liittimet, muuntajat ja suojalaitteet.

2) Testauslaitteiden valmistelu:

Tähän sisältyy muun muassa testauslaitteiden tarkastus ja tarvittaessa kalibrointi, jotta testien tarkkuus voidaan taata.

3) Jännitetason mittaus:

Tämä tehdään jokaisessa järjestelmän piirissä erikseen ja mittauksia verrataan suunnitteludokumentaatioon. Todeten järjestelmän jännitteen olevan oikealla tasolla.

4) Järjestelmän suojauslaitteiden testaus:

Testaus sisältää kytkimien ja sulakkeiden testauksen.

5) Järjestelmän maadoitusten testaus:

Maadoitusten testaus sisältää eristysvastuksen mittauksen sekä maadoitusten resistanssin mittauksen. Tavoitteena on varmistaa, että järjestelmä on asianmukaisesti maadoitettu ja turvallinen käyttää.

²¹ Pohjola, T. (2016). Sähköasemien suunnittelu. Vantaa: Teknologiateollisuus ry.

²² SFS-EN 50110-1:2014 Turvallisuus sähköasennus.

Kun testit on suoritettu ja järjestelmän toimivuus on varmistettu, se on valmiina otettavaksi käyttöön. Käyttöön otosta kerrotaan tarkemmin opinnäytetyön kappaleessa 5.1. Tasasähköjärjestelmä otetaan käyttöön jo tehdasolosuhteissa, jotta saadaan sähköt eri komponenteille sähköasemalla.

4.6 Automaatiojärjestelmien testaus

Automaatiojärjestelmien testaaminen varmistaa, että sähköaseman automaatiojärjestelmä toimii luotettavasti ja turvallisesti. Automaatiojärjestelmä koostuu useista eri osista, kuten mittalaitteista, suojarieleistä, ohjausjärjestelmistä ja tiedonsiirtolaitteista, joiden yhteistoiminta on välttämätöntä sähköaseman toimivuuden kannalta.

Automaatiojärjestelmien testaus tarkoittaa ohjelmistojen ja asetusten tarkistamista, jolla varmistetaan, että järjestelmä on ohjelmoitu oikein ja sen asetukset ovat sopivia sähköaseman käyttötarkoitukseen. Tiedonsiirtolaitteiden testaus sisältää teknisen dokumentaation tarkistamisen sekä tiedonsiirtolaitteiden testaamisen, jotta varmistutaan, oikeista tiedonsiirrosta eri järjestelmien välillä. Automaatiojärjestelmästä pitää tarkistaa yhteensopivuus eri järjestelmien välillä.

4.7 Suojareleiden testaus

Suojareleiden testaus varmistaa suojauksen oikean toiminnan häiriötilanteissa ja suojaa sähköasemaa mahdollisilta vaurioilta ja vaaratilanteilta. Johtolähtöjen suojarieleet voidaan koestaa tehdasolosuhteissa valmiiksi. Valmiiksi koestettu suojariele nopeuttaa koestamista kentällä ja parantaa tehokkuutta. Tehdasolosuhteissa muutosten tekeminen konfiguraatioon on nopeampaa ja helpompaa. Päämuuntajan ja 110 kV kytkinkentän suojarieleet jäävät koestettavaksi kentälle, koska tehdasolosuhteissa ei ole varsinaista liitäntää päämuuntajaan eikä siirtoverkkoon.

Suojareleiden toimintaperiaate perustuu yleensä johonkin tiettyyn fysikaaliseen ilmiöön, kuten virran tai jännitteen muutoksiin. Suojareleen toimintaan vaikuttavat muun muassa sen asetukset sekä releen tekniset ominaisuudet. Suojareleiden

tarkka toimintaperiaate vaihtelee eri käyttötarkoituksissa, ja siksi suoja-reiden testaus on tärkeää niiden asianmukaisen toiminnan varmistamiseksi.

Suoja-reiden testausta varten on olemassa erilaisia testilaitteita, jotka kykenevät simuloimaan erilaisia häiriötilanteita ja täten tarkistamaan suoja-reiden reaktiot niihin. Yksi tällainen testilaitte on Omicron-testilaitte, joka on suunniteltu erityisesti sähköverkon suoja-reiden testaamiseen. Tämä testilaitte pystyy simuloimaan erilaisia häiriötilanteita, kuten oikosulkuja ja ylijännitteitä, ja tarkistamaan suoja-reiden toiminnan näissä tilanteissa.

Suoja-reiden testaukset suoritetaan useassa vaiheessa ja ne voidaan testata toisio puolelta tehdasolosuhteissa, ennen kuin sähköasema viedään lopulliseen käyttöpaikkaansa. Suoja-reiden testausjärjestys toimivuuden varmistamiseksi:

1) Suoja-reiden tarkistus:

Suoja-reiden tarkistus sisältää reiden teknisen dokumentaation tarkistamisen ja suoja-reiden ohjelmistojen ja asetusten tarkistamisen.

2) Suoja-reiden konfigurointi:

Suoja-reiden konfiguraatiot tehdään suunnittelun aikana, jolloin määritellään, milloin suoja-rele laukaisee johtolähdön katkaisijan. Nämä konfiguraatiot ladataan valmiiksi suoja-releisiin ennen käyttöönottoa.

3) Suoja-reiden toimintatestit:

Erikoistestilaitteilla, kuten Omicronilla tai Sverkerillä suoritettavat toimintatestit tarkistavat suoja-reiden reaktiot häiriötilanteissa ja varmistavat niiden luotettavan toiminnan.

4) Suoja-reiden jälkiluotettavuustestit:

Jälkiluotettavuustestit ovat testejä, joissa varmistetaan, että suoja-releet toimivat oikein myös häiriön jälkeen ja että ne palautuvat oikeaan terveeseen tilaan häiriön päätyttyä.

4.8 Keskijännitekojeiston testaus

Keskijännitekojeiston testaus on osa koestusta, joka voidaan suorittaa ilman varsinaista liitääntää sähköverkkoon. Keskijännitekojeistolla tarkoitetaan sähköasemalla olevaa järjestelmää, joka koostuu useista osista, kuten katkaisijoista, mittareista, releistä ja suojalaitteista. Keskijännitekojeiston tehtävä ohjata ja suojata sähköä siirtoa sekä jakelua.

Keskijännitekojeisto voidaan testata tehdasolosuhteissa, testaus koostuu useista eri vaiheista, joilla varmistetaan kojeiston toiminta. Ensimmäinen vaihe, jolla varmistetaan, että kojeisto täyttää tekniset vaatimukset ja toimii mekaanisesti oikein. Tämän jälkeen tarkistetaan käyttöympäristö, jossa kojeisto sijaitsee. Tärkeää on varmistaa, että rakennus täyttää tekniset ja turvallisuusvaatimukset.

Seuraavaksi tarkistetaan kojeiston asennus, joka sisältää tarkistuksen siitä, että kojeisto on asennettu ja kytketty oikein. Tämän jälkeen suoritetaan kojeiston toimintatesti, jolla varmistetaan, että kojeisto toimii oikein ja täyttää tekniset vaatimukset. Testeillä varmistetaan, että kaikki kytkimet, katkaisijat, maadoituserottimet ja muut toimilaitteet toimivat odotetusti.

Käyttöönoton yhteydessä annetaan yleensä koulutus kojeiston käyttöön. Koulutus sisältää turvallisuusohjeet ja käyttöohjeet, tämä auttaa käyttäjiä ymmärtämään kojeiston toiminnan. Kaikki kojeiston testit ja toimenpiteet dokumentoidaan, jotta kojeiston toimintaa voidaan seurata ja huoltotoimenpiteitä voidaan suorittaa tarvittaessa.

5 SÄHKÖASEMAN KÄYTTÖNOTTO

Kun sähköasema on saatu lopulliseen käyttöpaikkaansa sähköasemankentälle, aloitetaan varsinainen käyttöönotto. Käyttöönotossa suoritetaan lopulliset tarkastukset ja testit, joilla varmistetaan sähköaseman toiminta. Sähköaseman käyttöönotosta täytetään erillinen käyttöönotto pöytäkirja, jonka tarkoitus on varmistaa, että kaikki on tarkistettu.

Tarkastukset sisältävät muun muassa tasasähköjärjestelmän käynnistyksen, suoja-areleiden tarkistuksen, maadoitustenjatkuvuus mittaukset ja kaapeleiden asennukset kytkinkentältä sähköasemalle sekä niiden eristysvastusmittaukset. Maadoitusten mittaukset ja asennukset käydään läpi niiden kaapeleiden osalta, mitä ei voitu yrityksen pihassa testata. Lisäksi käydään läpi 110 kV kentän suoja-areleiden konfigurointi ja tehomuuntajan suojaus ja ohjaus.

Sähkölaitteisto katsotaan käyttöönotetuksi silloin, kun se on asennettu paikalleen ja kytketty jännitteeseen varsinaista suunniteltua käyttötarkoitustaan varten, tai kun sen tarkoituksenmukainen toiminta alkaa.

5.1 VELA-tasasähköjärjestelmä ja sen käyttöönotto

VELA on tasasähkövalvontayksikkö, jota käytetään Ellegon tehonsyöttöjärjestelmille. VELA-järjestelmä on suunniteltu erityisesti soveltuvaksi teho- ja jännitevaihteluiden hallintaan sähköasemilla.

VELA-järjestelmän käynnistys aloitetaan sulkemalla pääkytkin ja katkaisijat, jonka jälkeen odotetaan järjestelmän käynnistymistä ja viestin ilmestymistä näytölle.

VELA-järjestelmän käynnistyksen jälkeen tehdään useita muita toimenpiteitä. Näitä ovat mittaus- ja tasasuuntausmoduulien tarkistus, katkaisijoiden, akkukytkeymen ja jakelukatkaisijoiden sulkeminen, hälytysten hyväksyminen ja ajan tarkista-

minen. Järjestelmän sammuttaminen edellyttää erillistä toimintamallia turvallisuusyistä ja se suoritetaan käänteisessä käynnistysjärjestyksessä asetusten, huollon ja tiedon sivuilta.

5.2 Automaatiojärjestelmien käyttöönotto

Automaatiojärjestelmän toimivuus on tärkeää varmistaa, kun sähköasema on kuljetettu tehtaalta kentälle. Uudelleen käynnistyksessä on varmistuttava, että sähköaseman automaatiojärjestelmät toimivat kuljetuksen tärinän jälkeen luotettavasti ja kaikki toiminnot ovat käyttövalmiina.

Automaatiojärjestelmän käyttöönotossa on otettava huomioon myös SFS-EN 60255 standardi, joka käsittelee suojarleiden testausta.²³

110 kV:n kentän suojarleiden testaukseen sisältyy:

- 110 kV ja 33 kV virta- ja jännitemittaukset;
- erottimien, katkaisijoiden testaaminen ja tilatietojen saaminen releelle;
- vaihejärjestys 110/33 kV.

Tehomuuntajan suojaus sisältyy samaan 110 kV:n releen suojaukseen:

- käämikytkimen hälytys/tilatiedot;
- käämikytkimen asennonosoitus;
- käämikytkimen kauko-ohjaus;
- käämikytkimen automaattisäätö;
- ohjaukset ja tilatiedot;
- hälytykset ja merkkivalot;
- laukaisut;

²³ SFS-EN 60255-27:2014

- lukitukset;
- kaukokäyttöliitännät.

Suojareleen näyttämien katkaisijan ja erottimien tilatietojen oikeellisuudesta täytyy varmistua. Virta- ja jännitemittaukset on myös tarkistettava suojareleellä, jotta 110/33 kV:n tehomuuntajan suojaukset saadaan toteutettua oikein. Käyttöön-otossa testataan lisäksi virtamuuntajat sekä tarkistetaan liitännät ja merkinnät, jotta saadaan oikea tieto johtolähdön toiminnasta.

5.3 Maadoitusten mittaus

Maadoitusten mittaus täytyy tehdä kaikille sähköaseman ulko- ja sisäpuolisille osille, mitä ei pystynyt testaamaan tehdasolosuhteissa. Tällaisia ovat muun muassa kellarinhyllyjen ja portaiden, ulkoportaiden, antennien, ukkosmaston ja oma-käyttömuuntajan maadoitusten testaus. Maadoitusten mittauksessa pitää huomioida mittausjohtimien pituudet ja paksuudet mittapöytäkirjaan, jotta mittauksesta saadaan tarkat arvot.

5.4 Sähköaseman yleiset tarkastukset

Käyttöön-otossa on tärkeää huomioida myös sähköaseman yleinen kunto ja materiaalit. Yleisiä mitä täytyy tarkistaa sähköasemalta ennen kuin luovutetaan asema asiakkaalle ovat:

- a) toiminta tapaturman sattuessa taulut;
- b) aseman tarkat osoitetiedot näkyvillä;
- c) ensiapuvälineet;
- d) pääkaavio ja maadoituskaavio;
- e) aseman hoito ja turvallisuusvälineet;
- f) merkinnät;
- g) lukot ja lukitukset;
- h) pöytäkirjat;
- i) tekniset dokumentit.

5.5 Käyttöönoton jälkeen

SFS 6001-standardin mukaan sähköasemalla tulee olla selkeästi esitetty ohjeistus, jossa kerrotaan laitteiston normaalitila-, ja kunnossapitomenettelyt sekä turvallisuusohjeet. Lisäksi kaikkien asennusten ajantasaiset piirustukset ja käyttökaaviot tulee olla saatavilla käyttöpaikalla, jotta käyttö- ja kunnossapitohenkilökunta voi suorittaa vaaditut toimenpiteet. Lisäksi sähköasemalla tulee olla näkyvällä paikalla hätänumero.²⁴

Käyttöönoton jälkeen sähköaseman käyttöä seurataan jatkuvasti etäkäytön avulla sähköverkon käyttökeskuksesta. Etäkäytön avulla voidaan seurata sähköaseman toimintaa, ohjata laitteistoja ja tehdä tarvittavat muutokset ja säädöt etänä. Lisäksi sähköaseman laitteistoja tarkastetaan ja huolletaan säännöllisesti käyttö- ja kunnossapitohenkilökunnan toimesta, jotta ne pysyvät toimintakuntoisina ja turvallisina. Käyttö- ja kunnossapitohenkilökunnan tulee myös päivittää ohjeistus ja piirustukset, jos laitteistossa tapahtuu muutoksia, jotta kaikki tiedot ovat ajan tasalla.

²⁴ SFS 6001:2015

6 SÄHKÖASEMAN ELINKAARI

Sähköaseman elinkaari voidaan jakaa useaan eri vaiheeseen. Suunnitteluvaiheessa määritellään tarvittavat järjestelmät ja laitteet. Rakennusvaiheessa sähköaseman rakennus toteutetaan suunnitelmien mukaisesti. Käyttöönoton jälkeen sähköasemaa on ylläpidettävä ja huollettava säännöllisesti, jotta sen toimintavarmuus säilyy.

Sähköaseman elinkaareen liittyy myös kehittämishaasteita. Sähköverkkoyhtiöt pyrkivät jatkuvasti parantamaan sähköverkon toimintaa ja sähköasemien kehittäminen on yksi keino tähän. Esimerkiksi sähköasemien automaatiojärjestelmiä voidaan kehittää, jotta niiden toimintaa voidaan valvoa ja ohjata tehokkaammin. Lisäksi uusien teknologioiden, kuten aurinko- ja tuulivoiman integroiminen sähköverkkoon edellyttää sähköasemien kehittymistä.

Sähköaseman elinkaaren aikana on tärkeää huomioida myös ympäristövaikutukset. Sähköasemat voivat aiheuttaa esimerkiksi meluhaittoja ja visuaalista haittaa ympäristölle ja niiden ympäristövaikutukset tulee minimoida.

Sähköaseman ylläpidolla on suuri vastuu sähköverkon turvallisessa toiminnassa. Ylläpitotoimenpiteet on suunniteltava huolellisesti ja toteutettava säännöllisesti, jotta sähköaseman toimintavarmuus ja luotettavuus ovat taattuina.

Sähköaseman ylläpidon tärkein tehtävä on seurata ja ylläpitää sen laitteita ja järjestelmiä. Tämä tarkoittaa esimerkiksi sähkömoottoreiden, generaattoreiden, muuntajien, kytkinten ja kaapeleiden tarkastamista ja huoltamista tarvittaessa. Laitteiden kunnan ja toimintavarmuuden arviointi, vikojen ennaltaehkäisy ja korjaus sekä tarvittaessa uusien laitteiden hankinta kuuluvat myös ylläpidon tehtäviin. Säännöllinen laitehuolto on tärkeää sähköaseman käyttöiän ja tehokkuuden varmistamiseksi.

Toinen tärkeä ylläpitotoimenpide on sähköaseman turvallisuuden takaaminen. Sähköasemalla on monia potentiaalisesti vaarallisia laitteita ja järjestelmiä, joiden

käyttö edellyttää erityistä tarkkuutta ja turvallisuusohjeiden noudattamista. Ylläpidon yhteydessä tulee tarkistaa, että kaikki laitteet ovat asianmukaisesti maadoitettuja, että kaapelit ja liittimet ovat kunnolla kiinni ja että tarvittavat suojaukset ja hälytykset ovat kunnossa. Sähköaseman turvallisuuteen kuuluu myös ylläpidon henkilökunnan koulutus ja ohjeistus.

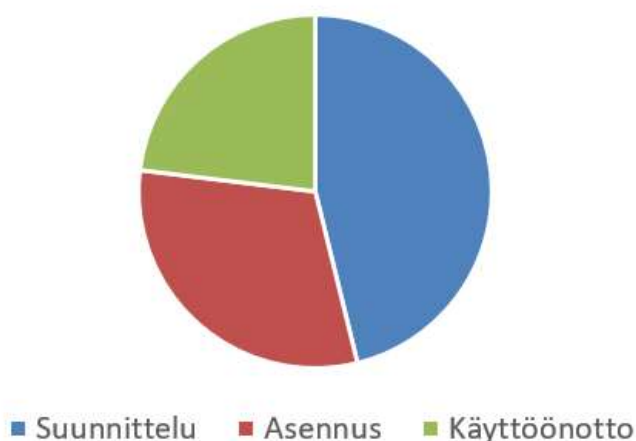
Sähköverkot kehittyvät jatkuvasti ja uusia teknologioita otetaan käyttöön. Ylläpidon on seurattava kehitystä ja otettava käyttöön uusia laitteita ja järjestelmiä, jotka parantavat sähköverkon luotettavuutta. Tämä sisältää esimerkiksi uusien suojalaitteiden asentamisen, järjestelmien automatisoimisen ja datankeruun parantamisen.

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyö toteutettiin kevään 2023 aikana Maviko Oy:lle ja sen tavoitteena oli kehittää tuulivoimapuisto- ja sähkönjakeluasemien koestusta tehdas- ja kenttäolosuhteissa sekä selvittää, kuinka lähelle valmista sähköasemaa voidaan päästä tehdaskoestuksella. Opinnäytetyö keskittyi erityisesti 110/33kV tuulivoimapuiston sähköaseman koestamiseen Maviko Oy:n tiloissa ja sähköaseman kentällä.

Huomioina projektin aikana tuli, että voidaan päästään lähelle valmista toisiopuolen koestusta. Toisiopuolelta pystytään tarkistamaan ja koestamaan sähköaseman sisäiset johdotukset, kojeiston toiminta sekä virtamuuntajat, suojarieleet sekä maadoitukset aseman sisällä. Ensiöpuolta ei pystytä koestusprosessissa testaamaan vajavaisen sähköliitännän vuoksi tehdasolosuhteissa. Koestusprosessi on tärkeää suunnitella etukäteen, jotta voidaan varmistaa sujuva ja tehokas koestus. Projektin kokonaiskestoajaan kuvassa 5. ei merkittävästi vaikuta koestetaanko sähköasema jossain muualla kuin lopullisessa käyttöpaikassa. Hyöty koestaa sähköasema tehdasolosuhteissa näkyy taloudellisella puolella, kun ei tarvitse viikoittain ajaa työmaalle, vaan saa tehdä töitä ns. virka-aikana omassa työpaikassa.

Sähköasema projektiin käytetty aika



Kuva 5. Sähköasemaprojekti ajallisesti

Sähköaseman koestamista kentällä on myös pyritty kehittämään vuosien aikana Mavikolla. Kehittämisen aikana on tehty vakiointia ja ohjeita, miten suojarkeitä ja muita sähköaseman komponentteja tarkistetaan ja koestetaan. Tämä opinnäyte-työ kehitti asiaa eteenpäin lisää, kun tuotiin poikkeuksellisesti sähköaseman rakennus yrityksen toimitiloihin koestettavaksi, joka antoi paljon tietoa, kuinka edetään tehdaskoestuksien kanssa.

Tulevaisuudessa tiedetään mitä kaikkea sähköasemalta voidaan koestaa ja testata tehdasolosuhteissa. Koestuksen nopeuttamiseksi yhtenä jatkoaiheena olisi koestuspohjien teko ja vakiointi, jotta saataisiin nopeammin suojarkeitä testattua. Tämä sisältäisi esimerkiksi automatisoitujen Omicron- pohjien luonnin, vakioinnin ja teoreettista tarkastelua suojarkeitien fysikaaliseen toimintaan, kuinka erilaiset ilmiöt sähköverkossa vaikuttavat suojarkeitien toimintaan. Sekä niiden pohjalta analyysin tai ohjeen eri valmistajien releisiin.

Sähköasemien tulevaisuuden kehittyminen riippuu monesta eri tekijästä, kuten sähköverkon kehityksestä ja muista teknologisista edistysaskeleista. Yksi kehityskohde on energian varastointi, jolla mahdollistetaan sähköenergian joustavampi käyttö ja vähennetään riippuvuutta perinteisiin polttoaineisiin. Tämä vaikuttaa myös sähköasemien suunnitteluun ja koestukseen, kun uusia varastointijärjestelmiä otetaan käyttöön.

Kehittämissideoina koestamisen parantamiseksi ovat esimerkiksi kehittää automa- tisoituja testausmenetelmiä ja mittalaitteita, jotta testausprosessi voidaan suorittaa entistä nopeammin ja tarkemmin. Lisäksi kehittää ohjelmistoja ja järjestelmiä, jotka helpottavat koestusta, suunnittelua ja dokumentointia.

Toisena kehittämissideana isommalla tasolla on sähköasemien koestuksen vakiointi luomalla tarkemmat standardit ja määräykset koestusprosessille. Vakiointi varmistaisi, että kaikki sähköasemat koestetaan samalla tavalla ja koestusprosessi on aina turvallinen ja luotettava.

Kokonaisuudessaan opinnäytetyö antoi arvokasta tietoa sähköasemien koestuksesta ja auttoi kehittämään ja vakioimaan menetelmiä ja käytäntöjä.

LÄHTEET

Elovaara, J. & Haarla, L. (2011). Sähköverkot 2. Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. 1. painos. Helsinki: Otatieto Oy.

Energy Authority. (2022). Tuulivoimapuiston sähköasema. Viitattu 17.2.2023 <https://www.energiavirasto.fi/tuulivoimapuiston-sahkoasema>.

Heier, S. (2014). Grid integration of wind energy. Kassel, Saksa. John Wiley & Sons.

Järvinen, T. (2021). Rikkiheksafluoridi (SF6) - kasvihuonekaasu. Ilmatieteen laitos. Viitattu 23.3.2023 <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/rikkiheksafluoridi-sf6-kasvi-huonekaasu>.

Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähkölaitteistojen käyttöönotosta ja käytöstä (517/1996). Finlex. (1996). Viitattu 25.3.2023 <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1996/19960517>.

Kauppinen, J. 2018. Turbiinitekniikka. Tampere. Tammertekniikka.

Loshin, P. (2021). SCADA (supervisory control and data acquisition). TechTarget. Viitattu 29.02.2023 <https://www.techtarget.com/whatis/definition/SCADA-supervisory-control-and-data-acquisition>.

Maviko Oy. 2022. Maviko Oy. Sähköasemat. Viitattu 05.02.2023 <https://www.maviko.fi/tuotteet-ja-palvelut/sahkoasemat/>

Maviko Oy. 2022. Yritys, Maviko Oy. Viitattu 05.02.2023 www.maviko.fi/yritys/

Määttä, T. & Palomäki, M. (2021). Työmatkakustannusten korvaukset verotuksessa. Viitattu 22.02.2023 <https://www.vero.fi/syventavat-vero-ohjeet/ohje-hakusivu/48013/ty%c3%b6matkakustannusten-korvaukset-verotuksessa3/>.

Sähkötieto ry. (2017). ST 53.13. Kiinteistön sähköverkon suojausn selktiivisyys. Espoo: Sähköinfo. Viitattu 27.3.2023 <http://www.sahkoinfo.fi/severi>.

SESKO. (2022). SFS 6000 uudistus 2022. Viitattu 30.3.2023 <https://sesko.fi/standardointi/sahkoasennukset/sfs-6000-uudistus-2022/>.

SFS-EN 60255-27:2014. (2014). Mittaus- ja ohjaustekniikan standardi - Sähköisten mittauslaitteiden toimintaan liittyvät mittausominaisuudet - Osa 27: Toimintatatus- ja mittausmenettelyt suojarille ja suojajärjestelmille.

SFS-EN 60255-121:2014. (2014). Mittaus- ja ohjaustekniikan standardi - Sähköisten mittauslaitteiden toimintaan liittyvät mittausominaisuudet - Osa 121: Toimintatatus- ja mittausmenettelyt suojarille ja suojajärjestelmille.

Suomen standardisoimisliitto SFS. (2015). SFS 6001 Suurjännitesähköasennukset. Luku 15 Käyttö- ja kunnossapito-ohjeet. 4. painos.

Suomen Tuulivoimayhdistys. (2022). Tuulivoimapuistot. Viitattu 30.3.2023 <https://www.tuulivoimayhdistys.fi/tuulivoimapuistot/>.

Työturvallisuuspakki. (2023). Nostot. Viitattu 2.3.2023 <https://tyoturvallisuuspakki.fi/nostot/>

LIITTEET

LIITE 1. Salassa pidettävä aineisto, Tasasähkökeskuksen laskelmat.

LIITE 2. Salassa pidettävä aineisto, Omakäyttökeskuksen laskelmat.