



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Natalia Ruuskanen

ZEE600 -VALVONTAJÄRJESTELMÄN LUOMI- NEN MUUNTAMOAUTOMAATIOON

InGRID -demojärjestelmä

Tekniikka
2023

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Natalia Ruuskanen
Opinnäytetyön nimi	ZEE600 -valvomojärjestelmän luominen muuntamoautomaatioon
Vuosi	2023
Kieli	suomi
Sivumäärä	47
Ohjaaja	Jarkko Nyrhilä, Olli Tuovinen

Tämä opinnäytetyö on tehty ABB Oy:n toimesta. Tarkoituksena oli modernisoida noin 10 vuotta vanha InGRID -demojärjestelmä vaihtamalla SCADA-järjestelmä ZEE600:aan. InGRID on muuntamoautomaatiota ja älykästä jakeluverkkoa simuloiva järjestelmä, jota ohjataan ja seurataan SCADA-järjestelmän avulla. Alun perin valvontajärjestelmä oli toteutettu MicroSCADAlla.

Työssä on tarkasteltu muuntamoautomaation ja älykkään sähköverkon eri ratkaisuja ja laitteita. Työssä käytiin myös läpi sähköverkon viestintälaitteiden toimintaa ja kommunikaatioprotokollia, sekä ZEE600 -valvontajärjestelmän toimintaa ja luomista IEC 60870-5-104-protokollalla. Valvontajärjestelmään tehtiin pääkaavio sekä järjestelmäkaavio.

Valvontajärjestelmä saatiin toimimaan halutusti. Osana opinnäytetyötä tehtiin lyhyt ohje uuden SCADA-järjestelmän ja InGRIDin käyttöä varten, jotta esimerkiksi myyjien olisi helpompi tutustua järjestelmään. Valvontajärjestelmästä pyrittiin tekemään selkeä kokonaisuus, jotta mahdolliset muutokset olisi helpompi tehdä jälkeenpäin.

Avainsanat muuntamoautomaatio, SCADA, sähkönjakelu, demojärjestelmä

ABSTRACT

Author	Natalia Ruuskanen
Title	Constructing ZEE600 Control Room System for Secondary Substation Automation
Year	2023
Language	Finnish
Pages	47
Name of Supervisor	Jarkko Nyrhilä, Olli Tuovinen

This thesis has been made for ABB Oy. The purpose was to modernize about a 10-year-old demo system named InGRID by switching the SCADA system to ZEE600. InGRID is a system that simulates substation automation and the smart grid. It is controlled and monitored by a SCADA system. Originally the monitor system had been accomplished with MicroSCADA.

Different solutions and devices of substation automation and smart grid were reviewed in the thesis. The thesis also deals with the performance of distribution network's communication devices and their communication protocols in the distribution network, and the performance and constructing of ZEE600 monitoring system with IEC 60870-5-104 protocol. A single line diagram and a system diagnostic diagram of InGRID were created for the monitoring system.

The monitoring system was managed to work as planned. As a part of the thesis a short guide was made for using the SCADA system and InGRID so that for example it would be easier for sellers to get to know the system. The aim was to make the monitoring system a clear entity so that possible changes would be easier to make afterwards.

Keywords Secondary substation automation, SCADA, distribution and demonstration system

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVALUETTELO	6
LYHENTEET JA MERKINNÄT	7
1 JOHDANTO	8
1.1 Insinööriyön tavoite.....	8
1.2 ABB Oy	9
2 ÄLYKÄS SÄHKÖVERKKO	11
2.1 Muuntamoautomaation rakenne	12
2.1.1 Ohjainkaapit	12
2.1.2 Suojarele.....	15
2.1.3 Keskijännitekojeisto	15
2.1.4 Vianpaikannus.....	16
2.2 Tietoturva.....	18
3 ZEE600-SCADA-JÄRJESTELMÄ.....	20
4 INGRID-DEMOJÄRJESTELMÄ.....	23
4.1 InGRIDin laitteisto	24
4.1.1 Kytkinlaitteet	24
4.1.2 Ohjainkaapit	27
4.1.3 RMU-kojeisto.....	30
4.2 Lähtötilanne	32
4.3 Kommunikaatio.....	32
5 INGRIDIN ZEE600-JÄRJESTELMÄN LUOMINEN.....	35
5.1 Tietokantapisteet.....	35
5.2 Simuloinnit	37
5.2.1 Mittausten simulointi.....	37

5.2.2 Vikatilojen simulointi	38
5.3 Järjestelmäkaavio.....	39
5.4 Single Line Diagram.....	40
5.5 Hälytys- ja tapahtumalistat.....	42
6 YHTEENVETO	44
LÄHTEET	45

KUVALUETTELO

Kuva 1. Verkostoautomaation tasot.....	13
Kuva 2. Ohjainkaappi.....	14
Kuva 3. Esimerkki vianpaikannusteknologiasta jakeluverkossa.....	17
Kuva 4. Yleiskuva ZEE600:sta.....	21
Kuva 5. InGRID.....	23
Kuva 6. NPS.....	25
Kuva 7. OVR.....	26
Kuva 8. Sectos.....	27
Kuva 9. NPS ohjainkaappi.....	28
Kuva 10. OVR ohjainkaappi.....	29
Kuva 11. Sectos ohjainkaappi.....	30
Kuva 12. InGRIDin RMU-kojeisto.....	31
Kuva 13. Langattoman kommunikaation periaatekuva.....	33
Kuva 14. ZEE600 aloitusnäky.....	35
Kuva 15. NPS:n <i>command</i> -tietokantapisteen määrittely.....	37
Kuva 16. Logiikka mittauksille.....	38
Kuva 17. InGRIDin järjestelmäkaavio.....	39
Kuva 18. InGRIDin laitesijoittelu.....	40
Kuva 19. InGRIDin pääkaavio.....	41
Kuva 20. Tapahtumalista.....	43

LYHENTEET JA MERKINNÄT

DMS	Distribution Management System, käyttötukijärjestelmä
FLISR	Fault Location, Isolation and Service Restoration
FPI	Fault Passage Indication, vikaindikointi
HMI	Human Machine Interface, käyttöliittymä
NPS	pylväserotin
PLC	Programmable Logic Controller, ohjelmoitava logiikkaohjain
OVR	Outdoor Vacuum Recloser, katkaisija
RTU	Remote Terminal Unit, etäpääteyksikkö
RMU	Ring Main Unit, kojeisto
SCADA	Supervisory, Control and Data Acquisition System, valvontajärjestelmä
VPN	Virtual Private Network, yksityinen erillisverkko

1 JOHDANTO

Älykkään sähköverkon tarpeet kasvavat yhä enenevässä määrin. Sähköverkon digitalisointia ohjaavia tekijöitä ovat toimitusvarmuuden parantaminen sekä sähköverkon ja energian tehokas käyttö. Energian käytön tehostaminen, verkon kapasiteetin optimaalinen käyttö sekä kulutuksen ohjaus ja tasaus asettavat omalta osaltaan vaatimuksia, niin myös tekevät uusiutuvan energian hajautetun tuotannon tuomat haasteet sekä toimitus- ja käyttövarmuusvaatimukset.

Sähkön toimitusvarmuus riippuu siirto- ja jakeluverkkojen toiminnasta ja energian riittävydestä. Myös energian varastoinnin mahdollisuudella on oma funktionsa osana älykästä sähköverkkoa. Automaation ansiosta sähkökatkojen määrää ja niiden kestoa voidaan vähentää, ja ne saadaan rajattua mahdollisimman pienelle alueelle.

Sähköjakeluverkon automaatiolla tarkoitetaan keskijännitepuolen sähköverkon käyttöön ja hallintaan liittyviä automaatiotratkaisuja. Näihin kuuluvat erilaiset mittaus-, suojaus- ja valvontalaitteet, kuten esimerkiksi etäohjattavat erottimet ja katkaisijat, sekä vikaindikaattorit ja suojareleet. Muuntamoautomaatio on osa sähköjakeluverkon automaatiota. Muuntamoautomaatiolla varmistetaan mahdollisten vikapaikkojen nopeampi rajaaminen, paikantaminen ja korjaaminen.

Älykkäitä sähköverkkoja valvotaan ja ohjataan SCADA- eli valvomojärjestelmän avulla. SCADA-järjestelmiä voidaan soveltaa muun muassa sähköverkon automaatiossa, sekä teollisuusautomaatiossa. Automaation valvonta on toteutettavissa myös ilman valvomo-ohjelmistoa. Silloin valvonta toteutetaan ohjelmoitavalla logiikalla.

1.1 Insinööriyön tavoite

Opinnäytetyön tarkoituksena on uudistaa ABB:n muuntamoautomaatiota simuloiva InGRID-demojärjestelmä Vaasassa Strömberg Parkissa. Nykyinen demojärjestelmä on toteutettu MicroSCADA -ohjelmistolla, joka ei kuulu enää ABB:n tuo-

teportfolioon. Pää tavoitteena on uudistaa ja siirtää nykyisen muuntamoautomaation kaukokäytön toiminnallisuus ja käyttöliittymä uuteen ABB Ability™ ZEE600 -SCADA-ohjelmistoon, jossa uusi valvontajärjestelmä luodaan Zenon Energy Edition -editorilla.

Demojärjestelmä ja sen laitteisto ovat yli 10 vuotta vanhoja. Jotkut laitteista eivät välttämättä enää toimi täysin, ja osa laitteista on jo elinkaarensa lopussa. Oman haasteensa demojärjestelmän uusimiseen tuo dokumentoinnin vajavuus. Tärkeänä osana tätä työtä on listata ja nimetä nykyisen järjestelmän komponentit ja kartoittaa niiden toimintakunto, sekä tehdä suunnitelma mahdollisesti uusittavista laitteista. Työhön ei kuitenkaan sisälly mahdolliset laiteuusinnat.

Työn tavoitteena on saattaa uusi demojärjestelmä toimintakuntoon soveltuvien osien, riippuen laitteiden ja komponenttien nykyisestä toimintakunnosta. Demojärjestelmän komponenttien tilatietoja, verkon tilaa ja ilmajohtojen tehovirtojen simulointia voidaan seurata reaaliajassa kahden eri verkkokameran avulla. Myös kyseisten kameroiden toimintakunto testataan.

InGRID -demojärjestelmää käytetään tukena myyntitilanteissa sekä esityksissä, jossa asiakkaalle esitellään ABB:n laitteita ja järjestelmiä. Uudesta valvontajärjestelmästä tehdään myyjien toiveita vastaava, asiakastarpeisiin soveltuva kokonaisuus. Lopuksi uusi järjestelmä dokumentoidaan ja sille laaditaan käyttöohjeet ja lyhyt esitys sen toiminnoista.

1.2 ABB Oy

Insinööriyön toimeksiantaja on ABB Oy, joka on yksi maailman johtavista teknologiateollisuuden yrityksistä. Yritys toimii useilla eri teollisuudenaloilla. ABB keskittyy sähkö- ja automaatiotekniikkaan ja sen tavoitteena on vauhdittaa kestävämpää tulevaisuutta. ABB on sveitsiläinen teollisuuskonserni, jonka pääkonttori on Sveitsissä.

Yhtiön liikevaihto Suomessa vuonna 2021 oli noin 2 miljardia euroa, ja tulos 267,7 miljoonaa. ABB toimii noin 100:ssa eri maassa ja henkilöstöä sillä on yli 105 000, joista noin 5000 on Suomessa. Vuonna 2021 heinäkuussa ABB:n divisioonan ABB Power Grids Finland Oy:n omistuksesta 80,1 % siirtyi japanilaiselle Hitachille.

Suomessa ABB on kulkenut Strömbergin jalanjäljissä, joka perusti yrityksensä Helsinkiin vuonna 1889. 1940-luvulla Strömberg nousi Suomen kymmenen suurimman teollisuusyrityksen joukkoon ja silloin alkoi myös Vaasan tehtaiden toiminta. 1980-luvulla Strömberg siirtyi ruotsalaiselle Asealle. Kahdeksan vuotta myöhemmin syntyi ABB, kun Asea ja sveitsiläinen Brown Boveri yhdistyivät 50–50-omistusperiaatteella.¹

¹ ABB Oy. Suomalaiset juuret. <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/historia/suomalaiset-juuret>

2 ÄLYKÄS SÄHKÖVERKKO

Sähkön tuotanto on yhä enenevässä määrin hajautettua ja sähköverkoilta vaaditaan yhä parempaa luotettavuutta, turvallisuutta, tehokkuutta ja kestävyyttä. Sähköverkkojen suunnittelua, toteutusta ja käyttöä ohjaavat ja säätelevät useat vaatimukset, lait ja standardit, ja näihin vaatimuksiin vastataan kehittämällä verkon automaatiota. Investoimalla älykkääseen sähköverkkoon saavutetaan taloudellisia hyötyjä verkon elinkaaren aikana. Myös tuottavuus ja tuotteen tai palvelun arvon nosto ovat ajuri verkon digitalisoinnille niin kuluttajan, palvelun tuottajan kuin omistajienkin näkökulmasta.

Verkonhaltijan tulee turvata hyvälaatuinen sähkö sekä ylläpitää ja kehittää sähköverkkoaan siten, että sähköverkon laatuvaatimukset täyttyvät. Sähköverkon täytyy toimia luotettavasti myös normaaleiden odotettavissa olevien häiriöiden sattuessa. Verkonhaltijat toimittavat vähintään joka toinen vuosi oman sähköverkkonsa kehittämissuunnitelman Energiavirastolle, jonka tehtävä on valvoa verkkoyhtiöiden toimintaa.²

Älykkään sähköverkon täytyy joustaa ja mukautua sähkön kysynnän ja tuotannon mukaan, mikä omalta osaltaan vastaa lainsäädännön asettamiin energiatehokkuusvaatimuksiin.³ Sähköverkon automaation ansiosta myös kuluttajilla on mahdollisuus tarkkailla omaa sähkönkulutustaan ja käyttää energiaa tehokkaammin. Vian ilmetessä älykäs sähköverkko näkyy kuluttajille lyhyempinä sähkökatkoina.

² 9.8.2013/588 19 §. Sähkömarkkinalaki. Finlex. Viitattu 16.2.2023.
<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130588#O2L4>

³ ABB Oy. ABB:n tarjonta sähköverkkoyhtiöille. <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa/sahkoverkkoyhtiot>

2.1 Muuntamoautomaation rakenne

Muuntamoautomaatioon kuuluvat tyypillisesti ala-asetat, M2M-yhdyskäytävä, joka toimii yhteyspisteenä kaikille laitteille, sekä anturit vianpaikannusta varten.

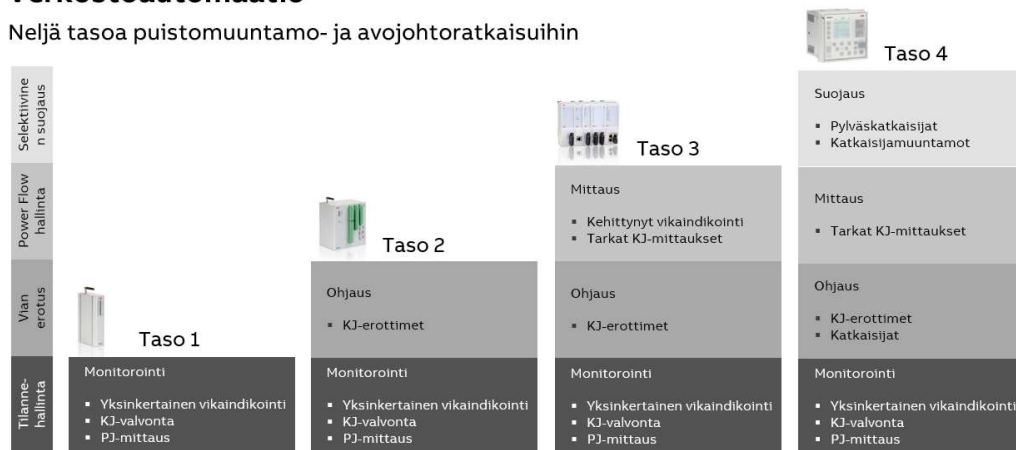
2.1.1 Ohjainkaapit

Ohjainkaapin laitteistolla suojataan ja hallitaan sähköverkon kytkinlaitteita ja muuntamoita sekä hallitaan mittauksia ja vikaindikoiteja. Ohjainkaappien pääasiallinen tehtävä on suojata sen sisältämiä elektroniikkakomponentteja säältä ja eläimiltä. Ilmanvaihto kaapeissa on tärkeä, jotta kosteus pysyy poissa, eikä lämpötila nouse liikaa. ABB:n ohjainkaapeilla on aina GAI- tai GAO-merkintä, joka on lyhenne sanoista Grid Automation Indoor/Outdoor, eli sisä- tai ulkotiloihin tarkoitettu ohjainkaappi. Merkinnän perässä on numero, joka tarkoittaa verkostoautomaation tasoa. Tasot määräytyvät ohjainkaapin laitteiston ja ominaisuuksien mukaan.⁴ Kuvassa 1 on eritelty eri tasot.

⁴ Pätt,J-M. 2019. Webinaaritallenne: Digitaalinen muuntamo. ABB Oy. Viitattu 26.1.2023. <https://www.youtube.com/watch?v=TDuvCDZlHY8>

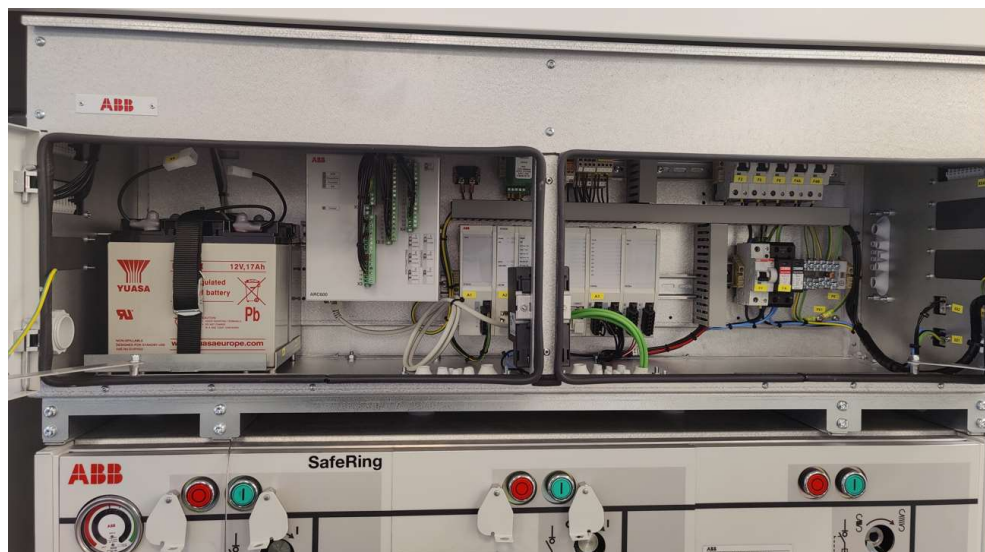
Verkostoautomaatio

Neljä tasoa puistomuuntamo- ja avojohtoratkaisuihin



Kuva 1. Verkostoautomaation tasot.

Ohjainkaappi sisältää aina kommunikaatiolaitteen ja ala-aseman tai näiden yhdistelmän. Ala-asema on ohjainkaapin pääkomponentti ja sen tarkoitus on välittää halutut input- ja output -signaalit sekä mittaukset järjestelmässä eteenpäin. Ohjainkaappi vaatii aina apusähkön joko 500–1000 VA omakäyttömuuntajalta tai läheiseltä jakelumuuntajalta. Kaapilla on myös aina akusto vikatilanteiden varalle, joka ylläpitää kaapin toimintaa tietyn ajan. Kuvassa 2 on ABB:n eräs ohjainkaappi, joka on sijoitettu kojeiston päälle.



Kuva 2. Ohjainkaappi.

Kuvassa 2 näkyvä ARC600 on ala-asemana toimiva, akkuvalvonta- ja viestintäominaisuudet sisältävä laite jakeluverkon kauko-ohjaukseen sekä toisilaitteiden, kuten erottimien, katkaisijoiden ja kojeistojen hallintaan ja seurantaan. Sen avulla saadaan ohjattua kolme eri kytkinlaitetta samanaikaisesti käyttämällä ulkoisia I/O-moduuleja. Se sisältää kommunikaatiolaitteena toimivan ARG600 -ohjaimen ominaisuudet, eli sähköverkon laitteet ja SCADA-järjestelmä voivat kommunikoida sen välityksellä. Ohjainkaapissa on viestintää varten aina joko ARC600 tai ARG600.

RIO600 on kuvassa 2 keskellä ohjainkaappia oleva, vikaindikaattorin sisältävä I/O-moduuli, jonka tarkoitus on laajentaa esimerkiksi suojarleiden tai kytkinlaitteiden tuloja ja lähtöjä. RIO600 koostuu vähintään neljästä laitteesta; virtalähtees-

tä, kommunikaatiomoduulista, sekä Binary Input- ja Binary Output -moduuleista. Moduuleita voidaan yhdistää laitteeseen tarpeen mukaan lisää.⁵

2.1.2 Suojarele

Vikatilanteessa, esimerkiksi maa- tai oikosulussa, sähkönjakeluun tarkoitetun suojareleen tehtävä on selektiivisesti erottaa vikaantunut verkko muusta verkosta ja laitteistosta. Näin saadaan suojattua kunnossa olevia verkon osia ja laitteistoja ja ehkäistyä ylimääräisiä vikatilanteita. Lisäksi se tarkkailee verkon ja komponenttien ylikuormia sekä yli- ja alijännitteitä ja -taajuuksia.

Suojareleen on täytettävä sille asetetut vaatimukset, kuten esimerkiksi tarpeeksi nopea, kattava ja tarkka suojaus, selektiivisyys, riittävä käyttövarmuus ja kyky toimia itsenäisesti. Rele täytyy myös pystyä koestamaan ja huoltamaan sen ollessa kiinni verkossa. Suojareleen mittaustarkkuus on oltava riittävän hyvä, jotta se havahtuu ajoissa mahdollisiin vikatilanteisiin.⁶

2.1.3 Keskijännitekojeisto

Keskijännitekojeisto on kytkinlaitteisto, joka sisältää erilaisia suojaukseen, valvontaan ja ohjaukseen liittyviä laitteita. Sen tehtävä on jakaa muuntajalta tuleva sähkö tiettyihin alueverkkoihin. Uusimmissa kojeistoissa joka lähdöllä on tyyppillisesti katkaisija, joka toimii myös kuormanerottimeksi. Vanhemmissa kojeistoissa katkaisija ja erotin saattavat olla erikseen.

⁵ ABB Oy. ABB RIO600 Remote I/O Product Guide. https://library.e.abb.com/public/a41d6eec5274363ac1257b130056ce56/RIO600_pg_757487_ENa.pdf

⁶ Vedenjuoksu, T. & Holm, S. 6.9.2017. PowerPoint-esitys webinaarista. Älykäs sähköverkko kiinteistöissä: Suojareleet ja valokaarisuojaus. ABB Oy. https://new.abb.com/docs/librariesprovider113/fi_buildingspace_webinars/valokaarisuojaus-ja-relesuojaus.pdf?sfvrsn=2b074d14_2

Keskijännitekojeisto on joko ilma- tai kaasueristeinen. Kaasueristeinen kojeisto on kompaktimpi ja parempi vaihtoehto erityisesti ahtaisiin tiloihin. Kojeiston kennotyyppiä on kolme erilaista: kiinteäliitännäinen eli suora kiskoliitäntä, joh-toerotin- ja sulake-erotinkkenno. Keskijännitekojeiston pääjännitetasot ovat 12, 24 tai 36 kV.⁷

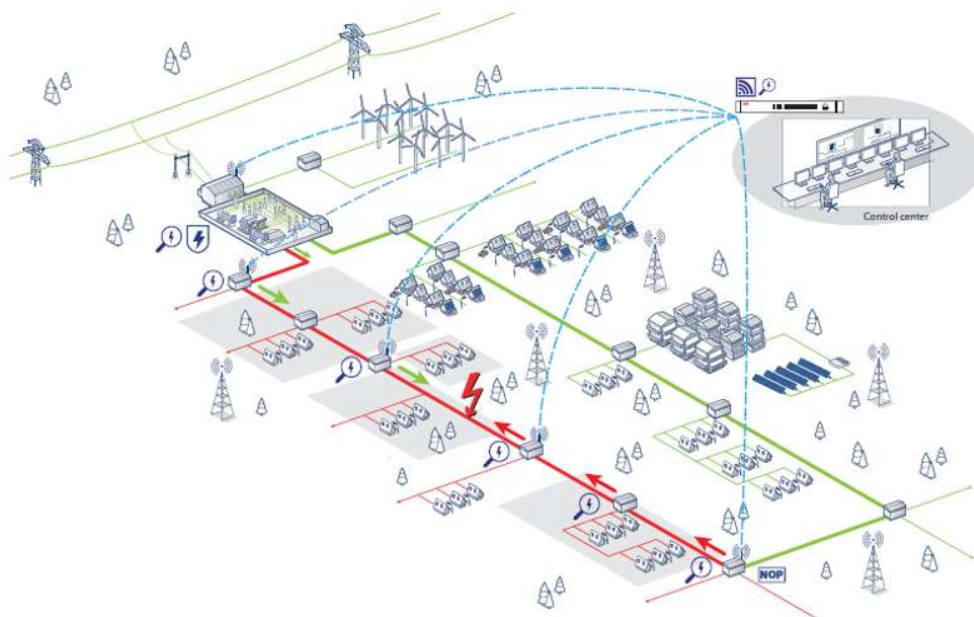
2.1.4 Vianpaikannus

Vianpaikannusteknologia on oleellinen osa toimivaa sähköjakelua ja -siirtoa. Nopealla vianpaikannuksella lyhennetään sähkökatkojen kestoa ja helpotetaan vikojen löytymistä. Vianpaikannukseen on olemassa useita teknologioita, kuten vianpaikannus muuntamoautomaatiolla, FLISR-teknologia sekä etäluettavien AMR-energiamittareiden hyödyntäminen.

Kuvassa 4 on esimerkki sähköjakeluverkosta, jossa käytetään muuntamoauto-maatiota vianpaikannukseen. Verkko on jaettu vyöhykkeisiin puistomuuntamoilla ja vian sattuessa muuntamoissa olevat FPI-vikaindikaattorit havaitsevat vika-suunnan ja tieto lähetetään valvomoon⁸. Vikaantunut alue saadaan automaatti-sesti rajattua, jolloin sähköt katkeavat vain vika-alueelta.

⁷ Pätt, J-M. 2023. Area Sales Manager. ABB Oy. Haastattelu 18.4.2023.

⁸ ABB Oy. 02/2018. PowerPoint-esitys. Älykäs Sähköverkko: Kompaktikojeisto kaukokäytöllä ja vikaindikoinnilla.



Kuva 3. Esimerkki vianpaikannusteknologiasta jakeluverkossa.

FLISR-teknologia perustuu automaattiseen vianhallintaan. Se on ohjelmisto, joka havaitsee mahdollisen vika-alueen sekä pystyy rajaamaan sen ja palauttamaan sähköt nopeasti mahdollisimman monelle asiakkaalle pysyvän vian sattuessa. FLISR-teknologiaa voidaan käyttää yhdessä kytkinlaitteiden kanssa laajentamaan molempien laitteiden hyötyjä, jolloin vianpaikannus ja jälleenkytkentä on entistäkin tehokkaampaa.⁹

SCADA-järjestelmän tukena käytetään usein DMS-käyttötukijärjestelmää, joka näyttää sähkönjakeluverkon kaapeleiden sekä muuntamoiden sijainnit kartalla. DMS-järjestelmä on suunniteltu sähköverkon hallintaa ja ylläpitoa varten. Vikatilanteissa vikaindikaattoreilta lähtee tieto kommunikaatiolaitteen ja SCADA:n

⁹ Schweitzer Engineering Laboratories. FLISR. <https://selinc.com/solutions/p/flisr/>

kautta DMS:ään, joka näyttää vikapaikan sijainnin kartalla.¹⁰ Automaattinen vianpaikannus helpottaa myös maastossa tehtävää vianpaikannusta ja lisää omalta osaltaan työturvallisuutta, sillä työ ajoittuvat usein pimeään tai huonojen sääolosuhteiden aikaan, kuten myrskyn.

2.2 Tietoturva

Digitalisaation ja tietoverkkoihin kohdistuvien hyökkäysten lisääntyessä tietoturva on yhä tärkeämmässä roolissa. Digitaalisten ja fyysisten tallenteiden sekä tiedonsiirron turvaaminen kyberhyökkäyksiltä ja teollisuusvakoilulta vaatii jatkuvaa ajan tasalla olevaa työtä. Ohjelmistojen ja laitteiden yhdistämismahdollisuuksien lisääntyessä, sähköverkko ja siihen liittyvät järjestelmät ovat yhä alttiimpia tietoturvariskeille. Ne uhkaavat järjestelmien tuottavuutta ja laatua, voivat johtaa taloudellisiin vahinkoihin sekä vaarantaa henkilö-, ympäristö- ja äärimmäisessä tapauksessa kansallisen turvallisuuden.

Tiedon huolellisella käsittelyllä, käyttöoikeuksilla ja kulkuluvilla voidaan rajata arkaluontoisen materiaalin mahdollista väärinkäyttöä. Käyttäjätasomäärityksin annetaan tarkoituksenmukaiset järjestelmän luku-, käyttö- tai editointioikeudet.¹¹ Käyttäjävirheiltä tai käyttäjien huolimattomuudelta on kuitenkin mahdollonta välttyä kokonaan.

Järjestelmää suojataan avoimesta internetistä tulevilta hyökkäyksiltä palomuuriohjelmiston tai -laitteiston avulla. Palomuri tarkkailee lävitseen kulkevaa tule-

¹⁰ Trimble. DMS. <https://upa.trimble.com/fi-fi/tuotteet/trimble-dms>

¹¹ Nyrhilä, J. 31.5.2017. PowerPoint-esitys webinaarista. Älykäs sähköverkko kiinteistössä: Sähköverkon valvonta ja kyberturvallisuus. ABB Oy. https://new.abb.com/docs/librariesprovider113/fi_buildingspace_webinars/s%C3%A4hk%C3%B6verkon-ohjaus-ja-valvonta.pdf?sfvrsn=2a074d14_2

vaa ja lähtevää liikennettä, mutta verkkoon voi päästä käsiksi myös muita reittejä. Tämän takia usein käytetään lisäksi eteisverkkoa, jonka molemmilla puolilla on palomuurit. Tällöin sisäverkkoon pääsy vaatii kahden palomuurin ohittamisen.

Virtuaalisen ja yksityisen erillisverkon, eli VPN:n avulla voidaan yhdistää useampia yrityksen verkkoja ilman julkista verkkoa. Mobiililaitteen saa yhdistettyä turvallisesti haluttuun sovellukseen tai laitteeseen, sillä se piilottaa IP-osoitteen sekä dataliikenteen. VPN:n tietoturva hoidetaan joko fyysisesti suojauksella, tai salauksella julkisessa tai avoimessa verkossa.¹²

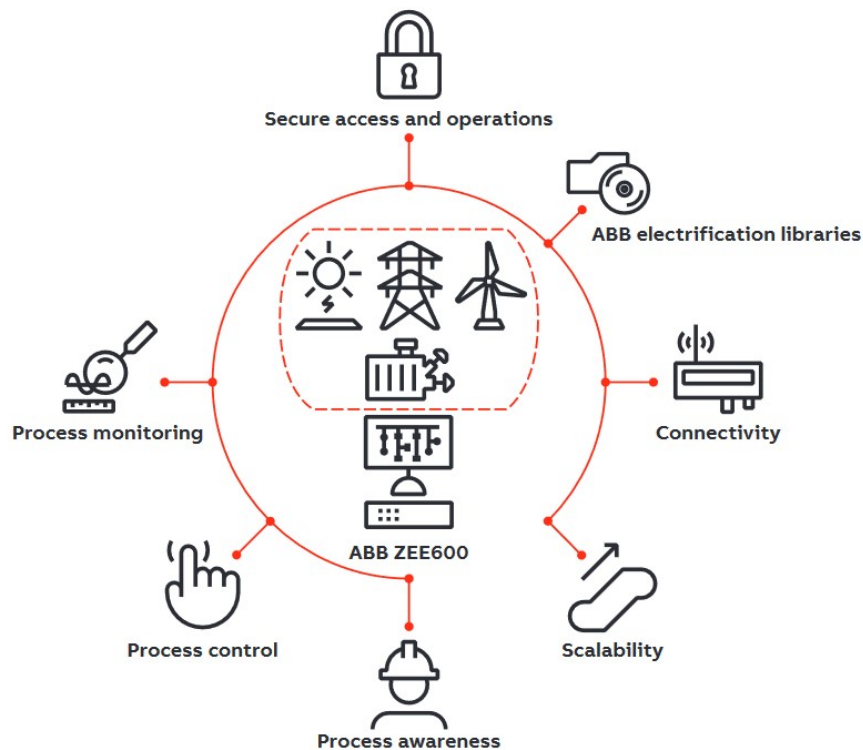
¹² VPNyhteys. <https://www.vpnyhteys.fi/>

3 ZEE600-SCADA-JÄRJESTELMÄ

ZEE600 on ABB:n järjestelmä, joka pohjautuu COPA-DATA -yhtiön Zenon -ohjelmistoalustaan.¹³ Zenon on suunniteltu sekä pienten että isojen kohteiden valvontajärjestelmien toteutukseen. ZEE600 pitää sisällään kirjaston, josta löytyy esimerkiksi valmiita hälytys- ja tapahtumalistoja, raporttipohjia, symboleita ja ohjausikkunoita. ZEE600 on SCADA-järjestelmä, joka on viralliselta nimeltään ABB Ability™ Electrification Monitoring and Control ZEE600. Se on ollut markkinoilla jo useampia vuosia. ZEE600-järjestelmää voidaan käyttää esimerkiksi teollisuuden, logistiikan, sähkönjakelun ja -siirron sekä uusiutuvan energian jakelun ja siirron sovelluksissa.¹⁴ Yleiskuva ZEE600-järjestelmästä kaaviona on kuvassa 4.

¹³ Lindberg L. 2022. ABB: Uuden sukupolven ZEE600 SCADA -ohjelmisto ohjaa ja valvoo sähkönjakelua. <https://paperijapuu.fi/abb-uuden-sukupolven-zee600-scada-ohjelmisto-ohjaa-ja-valvoo-sahkonjakelua/>

¹⁴ ABB Oy. 2021. ABB ZEE600 Product Guide. <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=2NGA000148&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>



Kuva 4. Yleiskuva ZEE600:sta.

Järjestelmä kommunikoi suoja-alueiden sekä viestintä- ja kunnonvalvontalaitteiden kanssa. SCADA-ominaisuus mahdollistaa laitteiden etäohjauksen, tietoliikenteen hallinnan ja valvonnan, tapahtuma- ja hälytyslistojen seurannan, mittaukset, sekä järjestelmän valvonnan, hallinnan ja ohjauksen.¹⁵ Laitteilta kerättävän datan avulla pystytään ennakoimaan niiden huoltotarvetta ja arvioimaan missä vaiheessa elinkaartaan laitteet ovat. Tämän lisäksi järjestelmä kerää häiriötallenteet suoja-alueelta. Kaikkia sähköverkon tapahtumia voidaan seurata reaaliajassa.

¹⁵ ABB Oy. 2021. ABB ZEE600 Product Guide.

<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=2NGA000148&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

Järjestelmä voidaan räätälöidä jokaisen asiakkaan tarpeiden ja toiveiden mukaan. ZEE600:n kirjaston avulla saadaan luotua kustannustehokkaasti uusi järjestelmä. ZEE600 on yhdistettävissä ABB:n laitteiden lisäksi myös muiden valmistajien laitteiden kanssa. Kyseisen SCADA-järjestelmän avulla saadaan esimerkiksi sähköverkko yksinkertaiseen näkymään.¹⁶

Kaikki yleisimmät protokollat, eli kommunikaatiostandardit, kuten IEC 60870-5-104, eli IEC 104, IEC 61850 ja Modbus-TCP, ovat tuettuna Zenonissa. ZEE600 ei kuitenkaan tue IEC 60870-5-104-protokollaa. ZEE600 voidaan yhdistää uuden laitekannan lisäksi myös saneerauskohteiden laitekantojen kanssa, ja siihen voidaan lisätä tarvittaessa uusia käyttöliittymiä, protokollia tai ominaisuuksia.⁸ Tietoturvamääritykset ovat standardin IEC 62443 mukaiset ja niitä päivitetään tarpeiden mukaan.

¹⁶ Kukkola M. 15.12.2020. Webinaaritallenne: ZEE600: Moderni SCADA-järjestelmä sähkönjakelun valvontaan ja hallintaan. ABB Oy. Viitattu 27.3.2023.
<https://www.youtube.com/watch?v=fDnkEzq7AZY>

4 INGRID-DEMOJÄRJESTELMÄ

InGRID on kuvassa 5 näkyvä online-sähkönjakelujärjestelmä, joka on kehitetty esittelemään ABB:n ratkaisuja muuntamoautomaatioon, älykkääseen sähkönjakeluun ja verkkohallintaan. Kyseinen demojärjestelmä sijaitsee Vaasassa Strömberg Parkin alueella. InGRID on yksi myynnin tärkeistä työkaluista, jonka avulla markkinoidaan asiakkaille ABB:n laitteita ja muuntamoautomaation ratkaisuja. Demojärjestelmä havainnollistaa laitteiden keskinäistä toimintaa konkreettisesti verkkokameroiden avulla.



Kuva 5. InGRID.

InGRID -demojärjestelmää voidaan ohjata mistä päin tahansa maailmaa tietokoneella tai tabletilla, jossa on pääsy järjestelmän käyttöliittymään. Verkkokameroista nähdään järjestelmässä tapahtuvat muutokset ja simulaatiot. Kameroita ei kuitenkaan ole liitetty itse järjestelmään, vaan ne toimivat omana kokonaisuutenaan. Järjestelmän ilmajohtoissa ja kojeistossa on led-valot, jotka sammuvat, syttyvät tai vaihtavat väriä kytkinlaitteiden asentojen mukaan. Vihreä led-valo simuloi johtojen jännitteisyyttä ja punainen vikatilannetta. Simuloitavissa olevat

vikatilanteet ovat ylivirta ja maasulku. Kun ledit ovat sammuksissa, johdot ovat jännitteettömiä. Demojärjestelmää voidaan simuloida, ohjata ja seurata SCADA-sovelluksen avulla.¹⁷ Ledejä ohjaa RTU-moduuli.

4.1 InGRIDin laitteisto

InGRID koostuu valvontajärjestelmästä, kommunikaatiolaitteista, kolmivaiheisesta ilmajohtoverkosta, muuntamosta, jossa on kojeisto mutta ei muuntajaa, sekä kolmesta kytkinlaitteesta. Kytkinlaitteilla ja kojeistolla on omat ohjainkaapit. Valvontajärjestelmä pitää sisällään SCADA:n, web serverin ja ARM600 M2M -yhdyskäytävän. Demojärjestelmässä on pyritty esittelemään useampaa laitetta ja ratkaisua samanaikaisesti.

4.1.1 Kytkinlaitteet

Kuvassa 6 oleva demojärjestelmän NPS-pylväserotin toimii automatisoidussa verkossa, manuaalisesti tai kauko-ohjauksella¹⁸. Kyseinen laite voi toimia joko moottori- tai käsiohjauksella. InGRIDissä NPS on moottoriohjattu, mutta sitä voidaan ohjata myös käsin esimerkiksi silloin, jos moottoriohjaus ei jostain syystä toimi. Kytkinlaitteissa täytyy olla käsiohjausmahdollisuus vikatilanteiden varalta.

¹⁷ ABB Oy. InGRID online demonstration system. <https://new.abb.com/medium-voltage/digital-substations/misc/ingrid-online-demonstration-system>

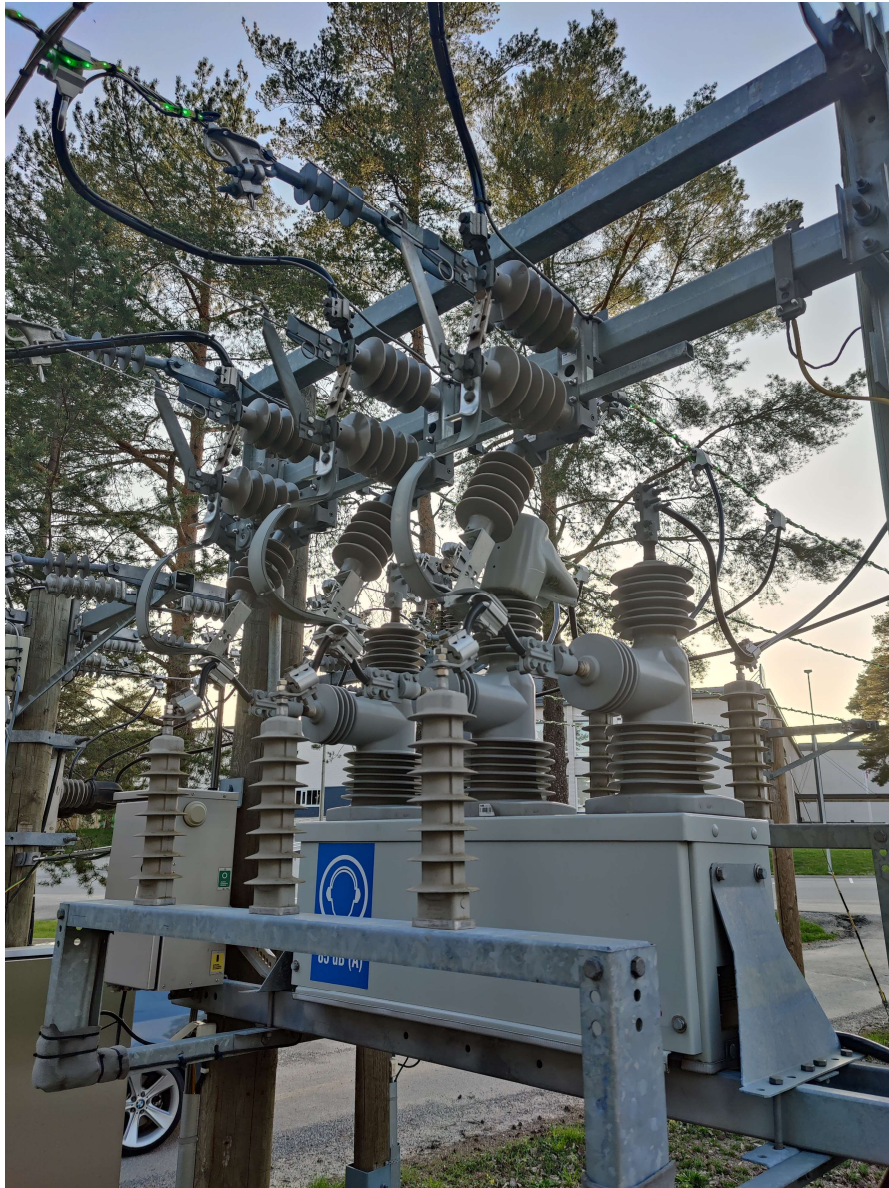
¹⁸ ABB Oy. 2010. ABB NPS Product Guide. https://library.e.abb.com/public/c4d905c0108e5ec3c1257b130057431f/NPS_catalogue_3405PL348-W1-en.pdf



Kuva 6. NPS.

OVR, eli Outdoor Vacuum Recloser, on keskijänniteverkon pylväskatkaisija. Se näkyy kuvassa 7. OVR:ssä kytkimen avausväli on pieni, sillä katkaisu tapahtuu tyhjiössä. Laite on nopea magneettiaktuaattorin ansiosta, mikä mahdollistaa myös pikajälleenkytkennän. OVR:ää käytetään avojohtoverkon hajautettuun suo-
jaukseen sekä maakaapeloinnin ja avojohtoverkon rajapinnassa. OVR:n avulla vikapaikkoja pystytään rajaamaan paremmin.¹⁹

¹⁹ Pätt, J-M. 2023. Area Sales Manager. ABB Oy. Haastattelu 18.4.2023.



Kuva 7. OVR.

Kolmas kytkinlaite, Sectos, on kuvassa 8 oleva SF6-kaasueristeinen kuormanerotin eli kojeiston johtoerotinkemmo, joka on erityisesti suunniteltu käytettäväksi kauko-ohjattavissa jakeluautomaatiojärjestelmissä. Sectos on joko kaksi- tai kolmiasentoinen erotin. Demojärjestelmässä oleva Sectos on kolmiasentoinen, eli kiinni-auki-maadoitus, joista kiinni- ja aukiasento on toteutettu moottori- ja maadoitus käsiohjauksella. Toisin kuin NPS, Sectos on suunniteltu vaatimaan ilmastoon, ja se kestää hyvin esimerkiksi ilman korkeaa suolapitoisuutta tai lumi-

kuormaa. Sen sähköinen ja mekaaninen katkaisukyky on parempi kuin NPS:llä. Sectos kestää myös suurempia katkaisumääriä.



Kuva 8. Sectos.

4.1.2 Ohjainkaapit

InGRIDissä on kolme lähtevää linjaa, ja jokaisella linjoista on erilainen kytkinlaite. Jokaisessa laitteessa on kauko-ohjausmahdollisuus oman ohjainkaappinsa kautta. Kauko-paikallis-kytkimet sijaitsevat ohjainkaapeissa. InGRIDin NPS-erottimen ohjainkaappi on tyypiltään GAO3, joka on ilmajohtoverkkoon tarkoitettu, kauko-ohjattava ja REC603 -ohjaimen sisältävä kaappi. Kyseinen ohjainkaappi on kuvassa 9.



Kuva 9. NPS-ohjainkaappi.

OVR:n ohjainkaappi on kuvassa 10. Kaapeliverkkoon suunniteltu kaappi sisältää RER601 -kommunikaatiolaitteen sekä REC523 -ohjaus- ja valvontayksikön. REC523 -kojetta voidaan käyttää keskijänniteverkon sähköaseman kauko-ohjattavien toisilaitteiden, kuten RMU-kojeistojen, katkaisijoiden ja erottimien

ohjaukseen, vianilmaisukseen, suojaukseen, valvontaan ja kunnonvalvontaan²⁰. Kyseisen laitteen led-valot ovat vapaasti ohjelmoitavissa vastaamaan haluttuja tilatietoja.



Kuva 10. OVR-ohjainkaappi.

²⁰ ABB Oy. ABB REC523 Monitoring and Control Unit. <https://new.abb.com/medium-voltage/digital-substations/protection-relay-services/legacy-relays-and-related-devices-and-tools/monitoring-and-control-unit-rec-523>

OVR:n ohjainkaappi on 4-tyyppin kaappi, eli se sisältää suoja-releen sekä 3-kaappityypin ominaisuudet. Tyyppin 4 ohjainkaappi on ABB:n kaapeista monipuolisin. Sectos-kuormanerotimella on myös 4-tyyppin kaappi, joka näkyy kuvassa 11.

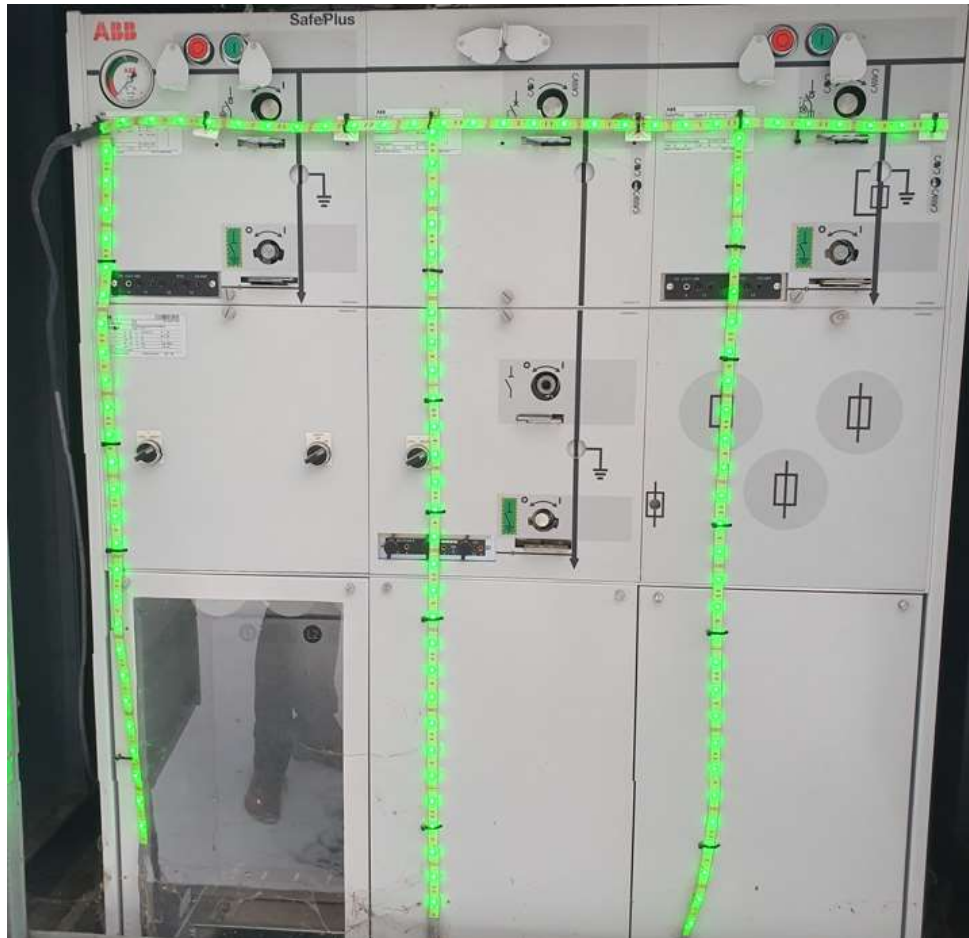


Kuva 11. Sectos-ohjainkaappi.

4.1.3 RMU-kojeisto

InGRIDissä on Ring Main Unit -kojeisto eli rengaspäyksikkö, jossa on kaksi lähtöä, J02 ja J03, sekä syöttö, J01. J02-lähtö syöttää edellisessä kappaleessa mainit-

tuja kytkinlaitteita. Demojärjestelmässä tarkoitus on havainnollistaa, kuinka oikeassa verkossa saadaan tarvittaessa katkaistua sähköt syötettävältä alueelta esimerkiksi kytkinlaitteiden turvallista huoltoa tai vaihtoa varten. Ilmajohtojen lisäksi myös kyseisessä kojeistossa on ledit, jotka simuloivat virrankulkua siinä. InGRIDin kojeisto on kuvassa 12.



Kuva 12. InGRIDin RMU-kojeisto.

Jokaisella linjalla on maadoituserotin sekä erotin. J02:ssa on lisäksi katkaisija. RMU:n ohjainkaapissa on REC615 -rele, joka on suunniteltu KJ-puolen automati-

soidun jakeluverkon kauko-ohjaukseen ja -hallintaan, suojaukseen, vikaindikointiin ja verkkovirran analysointiin²¹. Relettä voidaan myös käyttää verkon toisilaitteiden suojaukseen hajautetussa sähköntuotannossa.

4.2 Lähtötilanne

Alun perin InGRID-demojärjestelmä on toteutettu MicroSCADAlla, joka on nykyisin Hitachin omistuksessa. Tarkoitus on modernisoida ja uudistaa InGRID vaihtamalla MicroSCADA ABB:n ZEE600 -SCADA-järjestelmään. Vanha järjestelmä on tehty noin 10 vuotta sitten, eli laitteisto ei ole enää uusi. Järjestelmä testattiin MicroSCADA:lla ja laitteet toimivat, mutta joidenkin laitteiden yhteys pätkee välillä, erityisesti OVR:n. Kameroista vain toinen oli toiminnassa.

OVR:n ja Sectoksen ohjainkaapeissa olevat ABB:n RER601-kommunikaatiolaite ja REC523 -ohjaus- ja valvontayksikkö ovat jo Obsolete-tilassa, eli niitä ei ole enää saatavilla. RER601:n on korvannut ARG600-kommunikaatiolaite. NPS:n ohjainkaapissa oleva REC603 -ohjain- ja valvontayksikkö on myös Obsolete-tilassa ja sen tilalle on tullut ARC600.

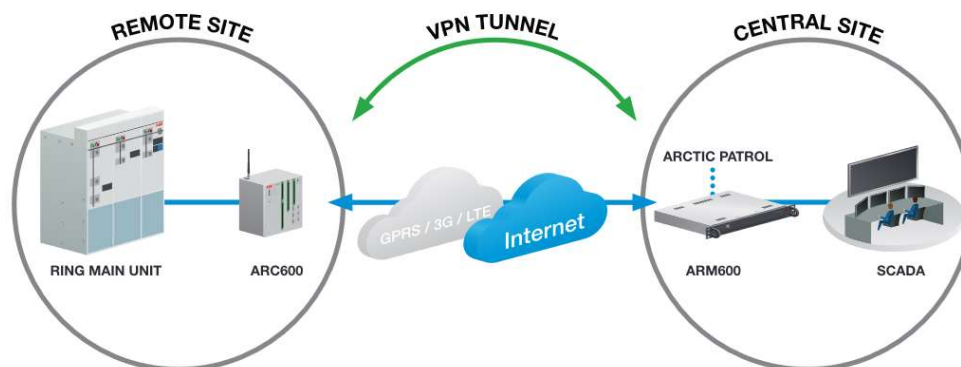
4.3 Kommunikaatio

Ohjainkaapeissa olevat RER601- ja REC603 -ohjainlaitteet kommunikoivat valvomohuoneeseen sijoitetun ARM600 M2M -yhdyskäytävän kanssa. ARM600 toimii viestintäpalvelimena kenttälaitteiden ja valvontajärjestelmän välillä, VPN-keskittimenä sekä palomuurina²². Laite on tarkoitettu ABB:n Arctic -tuotesarjan laitteiden etähallintaan. Tuotesarjaan kuuluvat ARM600:n lisäksi muun muassa

²¹ ABB Oy. 2019. ABB REC615 Product Guide.

²² ABB Oy. 2022. ABB ARM600 Product Guide.
<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1MRS758481&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

RIO600, ARG600 ja ARC600. Kuva 13 havainnollistaa kommunikaatiota yleisesti kojeiston ja SCADA-järjestelmän välillä. ARC600 tai ARG600, eli REC603 tai RER601, on yhteydessä ARM600:aan langattomalla VPN-yhteydellä. Koska ARM600 toimii palomuurina, erillistä palomuuria ei tarvita.



Kuva 13. Langattoman kommunikaation periaatekuva.

ARM600 käyttää IEC 60870-5-104-, eli IEC 104 -protokollaa²¹. Ledejä simuloiva RTU, RER601- ja REC603 -kommunikaatiolaitteet sekä REC615 -rele kommunikoivat samalla protokollalla. REC523 -ohjaus- ja valvontayksiköt käyttävät IEC 101 -protokollaa, joten ne tarvitsevat RER601:n tekemään protokollamuunnoksen IEC 104:ään. RER601 pystyy tekemään protokollamuunnokset pelkästään IEC 101:stä IEC 104:ään ja Modbus RTU/ASCII:stä Modbus TCP:hen²³. REC603 taas pystyy tekemään useita eri protokollamuunnoksia joko IEC 101:een, IEC 104:ään tai Mod-

²³ ABB Oy. ABB ARG600 Wireless Gateway Product Guide.

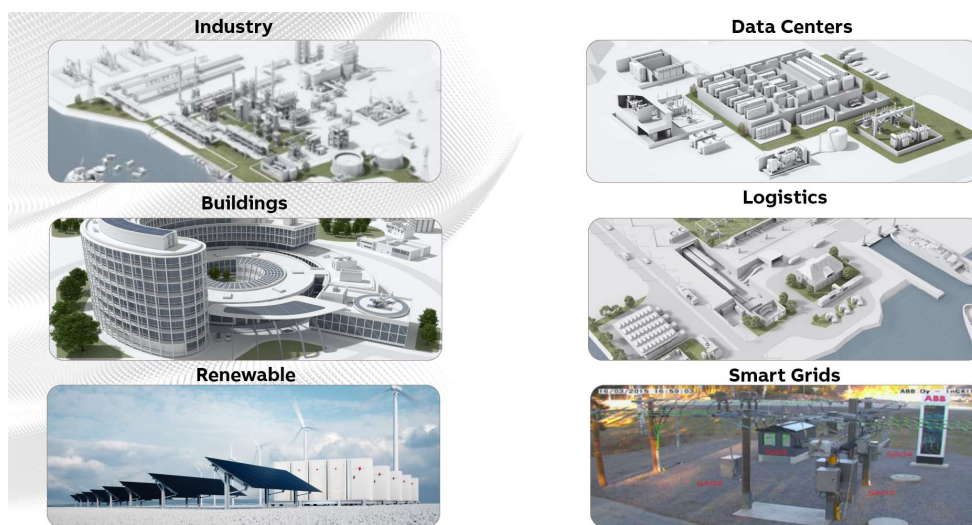
<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1MRS758462&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

bus TCP:hen²⁴. Nämä kommunikaatiomuunnokset pätevät myös uudempiin laitteisiin, joilla Obsolete-tilassa olevat laitteet on korvattu.

²⁴ ABB Oy. 2022. ABB ARC600 Wireless Controller Product Guide.
https://library.e.abb.com/public/106d05423e274767aa16232fa64717ad/ARC600_pg_758465_E_Nh.pdf

5 INGRIDIN ZEE600-JÄRJESTELMÄN LUOMINEN

ZEE600 -SCADA-järjestelmää voidaan hyödyntää useissa eri käyttökohteissa. InGRID kuuluu kuvassa 14 olevan projektin aloitusnäkyvän Smart Grids -osioon. Smart Grids -osion lisäksi projektiin luodaan malliesimerkkejä siitä, miten SCADA-järjestelmää voidaan hyödyntää teollisuudessa, rakennuksissa, uusiutuvan energian tuotannossa, jakelussa ja siirrossa sekä datakeskuksissa ja logistiikassa.



Kuva 14. ZEE600 aloitusnäkyvä.

InGrRID -demojärjestelmää varten luotiin uusi Zenon-projekti, jonka jälkeen tehtiin näytöt aloitusnäkyvä, pääkaaviota ja järjestelmäkaaviota varten. InGRIDin ohjainkaappien laitteistoista ei ollut kunnollista dokumentaatiota, joten muun muassa laitteistot, IP-osoitteet ja asemanumerot kartoitettiin järjestelmäkaavion rakentamista varten. Tämän jälkeen luotiin projektissa tarvittavat tietokantapistteet.

5.1 Tietokantapistteet

Tietokantapistteet ovat muuttujia, jolle voidaan määrittää useita arvoja (järjestelmässä *limit value*). Demojärjestelmän jokaisen kojeen tilatiedolle, ohjaukselle

sekä simuloituille vikatilanteille ja mittauksille luotiin omat tietokantapisteet. Ne tehtiin yksitellen alusta asti, sillä ZEE600 ei tue IEC 104 -protokollaa.

Zenonissa täytyi määritellä jokaiselle tietokantapisteelle datatyyppi sekä tyyppi-identifikaatio, joka määrittelee tietokantapisteen tyyppin ja toiminnon. Demojärjestelmän tietokantapisteiden pääasialliset tyyppi-identifikaatiot ovat *single command*, *double command*, *measured value*, *single-* ja *double-point information*, mutta muitakin on käytössä. Datatyyppi voidaan määritellä tietokantapisteen tarkoituksesta riippuen esimerkiksi BOOL-, UDINT-, USINT- tai REAL-tyyppiseksi. Mittaukset ovat aina REAL-tyyppisiä ja vain kaksia arvoa sisältävät tietokantapisteet, esimerkiksi *local-remote*, ovat BOOL-tyyppisiä. BOOL voi sisältää vain arvot ”tosi” ja ”epätosi”, eli 0 ja 1. USINT (Unsigned Short Integer) voi saada arvokseen positiivisia tai negatiivisia kokonaislukuja väliltä 0–255 ja UDINT (Unsigned Double Integer) väliltä 0–4294967295.

Ohjaukset, eli *command* -tietokantapisteet sisältävät vain kaksi arvoa, mutta silti niiden datatyyppi on poikkeavasti USINT. Kytkinlaitteet eivät toimi arvoilla 0 ja 1, vaan 1 ja 2. Koska BOOL ei pysty käsittelemään arvoa 2, tietokantapisteen täytyy olla USINT-tyyppinen. Kyseisten tietokantapisteiden tyyppi-identifikaatio on *single command*.

Kuvassa 15 näkyy NPS:n *command* -tietokantapisteen *Addressing-* ja *Driver connection* -määrittelyt. Kaikkien InGRIDin kytkinlaitteiden asentotietojen tietokantapisteet ovat UDINT-tyyppisiä, sillä niille on määritely useampi arvo: auki (*open*), kiinni (*closed*), välitila (*intermediate*) ja vikatila (*faulty*). Tyyppi-identifikaatio on *double-point information*. Kuvassa 15 oleviin kohtiin annetaan myös laitteen asemanumero (IEC870 COA), verkko-osoite (Net address), IEC870 IOA -osoite sekä valitaan ohjain. IEC870 IOA -osoite identifioi tietokantapisteen.

The screenshot shows a configuration window with two main sections: 'Addressing' and 'Driver connection'.

Addressing section:

- Net address: 1
- Data block: 0
- Offset: 0
- Bit number: 0
- Alignment: 0
- String length: 0
- Symbolic address: (empty)
- IEC870 Type identi...: T003 double-point information
- IEC870 COA: 1
- IEC870 IOA: 100
- IEC870 private Inde...: 0

Driver connection section:

- Drivers: IEC870 - IEC 60870-5-101_104 Ingrid
- Data Type: UDINT
- Driver Object Type: PLC marke
- Priority: Normal

Kuva 15. NPS:n *command* -tietokantapisteen määrittely.

5.2 Simuloinnit

Osa demojärjestelmän toiminnoista oli kannattavampi simuloida Zenonissa, kuin tehdä oikea toiminto. Joidenkin mittausten sekä vikatilojen simuloinnit toteutettiin logiikalla Zenonin SCADA Logic -osiossa. RTU hoitaa pelkästään ledit.

5.2.1 Mittausten simulointi

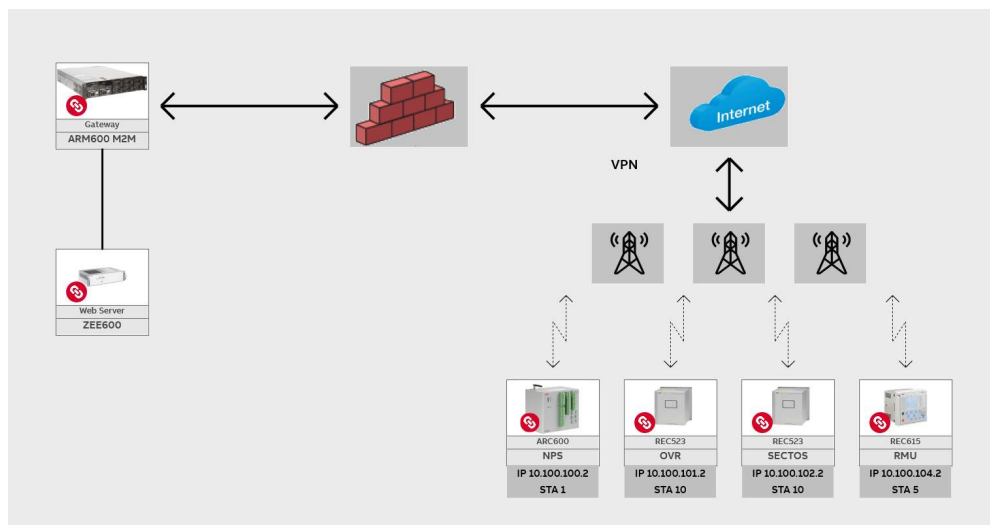
Kuvassa 16 näkyy logiikka, jolla OVR:n jännitemittaukset toteutettiin. Muut mittausten simuloinnit toteutettiin samalla tavalla. Akun ja tehonrajoittimen mittaukset sekä lämpötilat ovat todellisia. Simuloitujen mittausten ohjaimeksi vaihdettiin *Internal*, jotta järjestelmä ei yrittäisi lähettää jatkuvasti kyselyä laitteille ja sekoittaa simulaatioita.

ANY TO BOOL -lohkolla käännettiin tilatietojen datatyyppi UDINT BOOL:ksi, sillä tietyt lohkot eivät pysty käsittelemään UDINT:iä. BOOL-datatyyppillä mittaukset näkyvät järjestelmässä kytkinlaitteen tilatiedon ollessa 1 eli kytkinlaitteen ollessa kiinni, ja laskevat nolnaan tilatiedon ollessa 0 eli kytkinlaitteen ollessa auki. Mittauksille on annettu logiikkaan halutut arvot, esimerkiksi vaihevirroille noin 50 A,

ded -piste muuttuu arvoon 1, vikatilanne päättyy ja erotin sulkeutuu. Ylivirran simulointi on toteutettu logiikassa samalla tavalla.

5.3 Järjestelmäkaavio

Järjestelmäkaaviossa havainnollisesta, miten kommunikaatiolaitteet on yhdistetty keskenään. Kuvassa 17 on InGRIDin järjestelmäkaavio, josta nähdään alasemien, eli ohjainlaitteiden ja releen, kommunikoivan ARM600:n kanssa langattomasti internetin välityksellä. Välissä on palomuri. ARM600 on yhdistetty langallisesti ZEE600 -web serveriin.

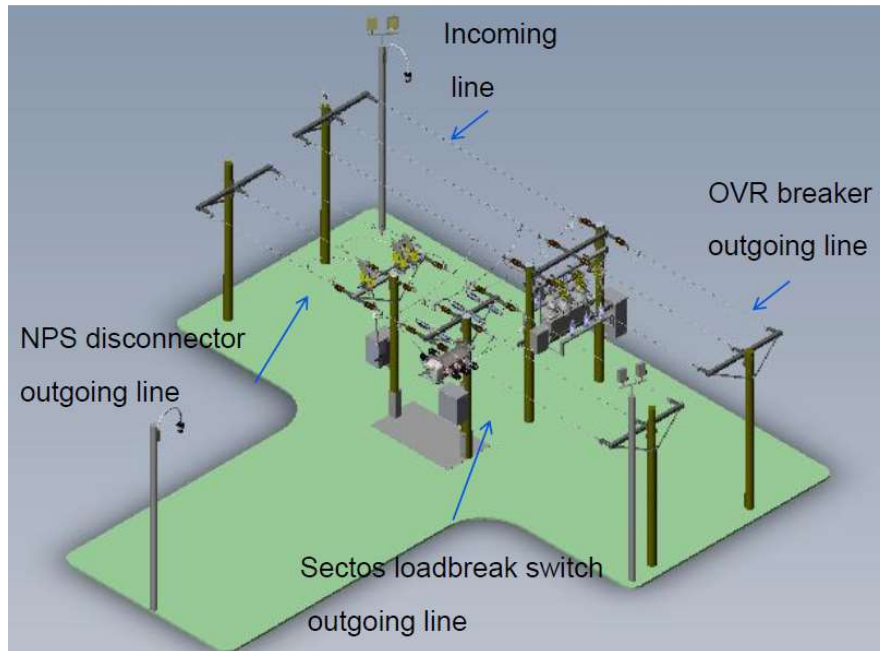


Kuva 17. InGRIDin järjestelmäkaavio.

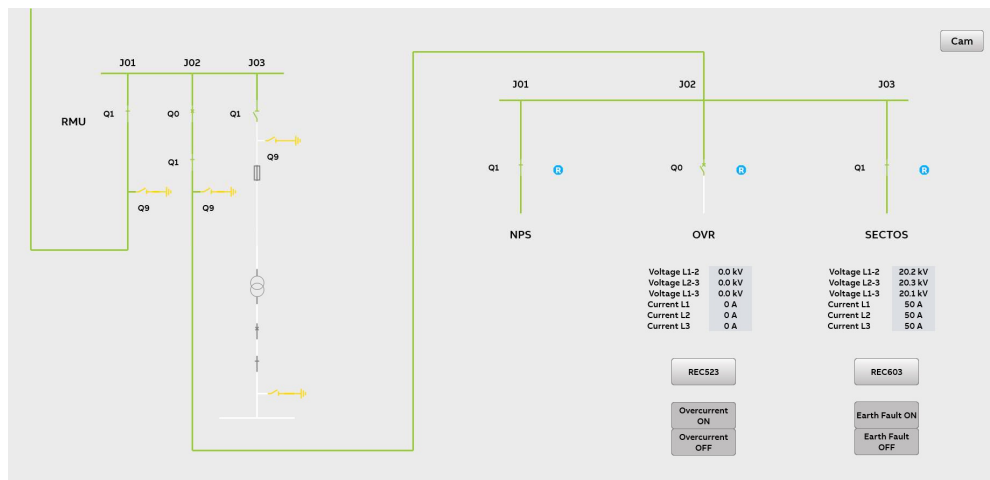
Laitteiden kuvakkeisiin liitettiin omat PopUp -funktiot ja kaikkiin funktioihin asetettiin sama yleinen tietokantapiste ja näyttö. Yleisen tietokantapisteen loppuosa korvattiin laitekohtaisesti Replace -toiminnon avulla. Yleisen tietokantapisteen loppuosa, esimerkiksi RMU:n kohdalla "PLC.ID name", korvattiin tietokantapistellä "RMU.ID name". Näin saatiin Runtime:ssa avautuvien PopUp -ikkunoiden tiedot vastaamaan oikeita laitteita. Ikkunoissa näkyy laitteen nimi, status ja IP-osoite.

5.4 Single Line Diagram

Single Line Diagram, eli yhdellä johtimella piirretty kolmivaiheinen pääkaavio, on yksinkertaistettu näkymä sähköverkon asemista ja laitteista. Kuvassa 18 näkyy kolmiulotteisesti InGRIDin laitesijoittelu, ohjainkaapit sekä tuleva ja lähtevät linjat. Niitä voidaan verrata kuvassa 19 olevaan InGRIDin pääkaavioon.



Kuva 18. InGRIDin laitesijoittelu.



Kuva 19. InGRIDin pääkaavio.

Pääkaaviosta nähdään kytkinlaitteiden tilatiedot, niiden kauko-paikkalis-käytön tila sekä OVR:n ja Sectoksen simuloitua vaihevirta- ja jännitemittaukset. Mittaukset on simuloitu Zenonissa, mutta kytkinlaitteiden sekä kauko-paikkalis-ohjausten tilatiedot ovat todellisia.

Kytkinlaitteita ohjataan jokaista omasta ohjausdialogista, joka aukeaa painamalla haluttua laitetta. Ohjaaminen vaatii sisäänkirjautumista ja ohjauksen vahvistamista Confirm -painikkeella. Kojeiston kytkinlaitteista pelkästään J02-lähdön katkaisija on kauko-ohjattavissa. Kojeiston muiden kytkinlaitteiden tilatiedot ovat simuloituja. J01 on kojeiston syöttö.

Kuvassa 19 on tilanne, jossa kaikki järjestelmän kannalta oleelliset kytkinlaitteet ovat kiinni lukuun ottamatta OVR-katkaisijaa. Tällöin OVR:n mittaukset ovat nollassa. REC523- ja REC603 -painikkeista avautuu ikkunat, joista nähdään muun muassa kyseisten laitteiden, niiden ohjainkaappien ja linjojen mittauksia, hälytyksiä ja statuksia. Painikkeesta voidaan myös ohjata OVR:n REC523 -kojeen suojaus, *Block trip*, *Autoreclose* sekä *Compensation*, päälle tai pois. Nähtävillä ovat myös NPS:n ohjainkaapissa olevien akun, tehonrajoittimen ja laturin statukset ja jännitteet sekä releen ja kaapin lämpötilat. Akkutestiä varten on *Start*- ja *Stop*-painikkeet sekä testin status näkyvissä.

Lisäksi Zenoniin luotiin lisäksi toista, toimivaa kameraa varten painike, joka näkyy pääkaavion oikeassa yläkulmassa. Sille luotiin toiminto, joka avaa kameran selaimessa. Toimintoon määriteltiin kameran IP-osoite. Ylivirtaa ja maasulkua saadaan simuloitua kuvassa 19 näkyvillä Overcurrent ON- ja Earth Fault ON -painikkeilla. Vikatilan ollessa päällä järjestelmä antaa hälytyksen, joka näkyy valvomokuvan ylälaidassa.

5.5 Hälytys- ja tapahtumalistat

Hälytys- ja tapahtumalistat ovat olennainen osa jokaista valvontajärjestelmää, sillä niissä näkyvät kaikki järjestelmän tapahtumat, jotka niissä on määritelty näkymään. Zenonissa jokaisen tietokantapisteen eri arvot (*limit values*), ovat määritelty joko tapahtumaksi tai hälytykseksi. SCADA-järjestelmän saadessa tiedon tapahtumasta demojärjestelmässä, se antaa tiedon tapahtumalistaan ja tietokantapisteen määrittämisestä riippuen myös hälytyslistaan. Uusin hälytys näkyy aina myös valvomokuvan ylälaidassa.

Listoihin tulee jokaisesta tapahtumasta näkyviin aikaleima, laitteen nimi, tietokantapisteen nimitys (*identification*) sekä tapahtuma (*text*) ja kyseisen tietokantapisteen arvo (*value*). Hälytyslistaan kirjautuu edellä mainittujen tietojen lisäksi hälytyksen loppumisaika. Valvontajärjestelmässä on lista sekä aktiivisista, että kuitatuista hälytyksistä. Kuvassa 20 on InGRIDin tapahtumalista. Tapahtumalistassa hälytykset näkyvät oranssilla ja tapahtumat harmaalla tekstillä.

Time received	Resources label	Identification	Text	Value
23.5.2023 13.51.00.190	NPS	Disconnecter	Closed	1
23.5.2023 13.51.00.190	RMU	Circuit Breaker	Closed	1
23.5.2023 13.51.00.190	SECTOS	Loc/Rem	Remote	1
23.5.2023 13.51.00.190	RMU	Disconnecter J02	Closed	1
23.5.2023 14.01.25.640	NPS	Disconnecter	Open	0
23.5.2023 14.01.47.322	SECTOS	Loc/Rem	Local	0
23.5.2023 14.01.53.491	SECTOS	Loc/Rem	Remote	1
23.5.2023 14.02.03.111	SECTOS	Disconnecter	Open	0
23.5.2023 14.02.09.073	SECTOS	Disconnecter	Closed	1
23.5.2023 14.02.33.979	OVR	Circuit Breaker	Closed	1
23.5.2023 14.02.40.899	NPS	Disconnecter	Closed	1
23.5.2023 14.04.21.761	OVR	Overcurrent	On	1
23.5.2023 14.04.55.926	OVR	Overcurrent	Off	0
23.5.2023 14.07.41.991	OVR	Door Alarm	door open	1
23.5.2023 14.07.41.991	OVR	AC Failure	On	1
23.5.2023 14.08.24.858	OVR	Door Alarm	door closed	0
23.5.2023 14.08.32.404	OVR	Door Alarm	door open	1
23.5.2023 14.08.54.254	OVR	Door Alarm	door closed	0
23.5.2023 14.09.05.931	OVR	Circuit Breaker	Open	0
23.5.2023 14.09.14.822	OVR	Circuit Breaker	Closed	1
23.5.2023 14.15.41.181	RMU	Battery low	Battery low	1
23.5.2023 14.21.15.700	OVR	Heating Status	Off	1
23.5.2023 14.21.41.050	OVR	Heating Status	On	0

Kuva 20. Tapahtumalista.

6 YHTEENVETO

Älykkään sähköverkon tarkoitus on tehdä verkonhallinnasta helppoa, parantaa sähköön toimitusvarmuutta sekä nopeuttaa vianpaikannusta. Tärkeänä osana älykstä sähköverkkoa on toimiva SCADA-järjestelmä, johon saadaan verkon jokaisesta tapahtumasta tieto. Selkeä valvontajärjestelmä antaa edellytykset toimintavarmalle sähköverkolle.

Vaihtamalla SCADA-järjestelmä InGRID saatiin enemmän vastaamaan nykypäivää. Uusi SCADA-järjestelmä antaa mahdollisuuden esitellä asiakkaille ABB:n laitteiden ja ratkaisujen lisäksi myös ZEE600:aa käytännönläheisesti. Näin koko demojärjestelmä on hyödynnettävissä entistäkin paremmin. Demojärjestelmä kerää mielenkiintoa ollessaan konkreettinen esimerkki muuntamoautomaation ratkaisuista, jota myös asiakkaat voivat halutessaan kokeilla. Tällä tavalla asiakas pääsee lähemmin tutustumaan ABB:n tuotteisiin.

Laitteet, IP-osoitteet, tietokantapisteet sekä muut osoitteet dokumentoitiin tarkasti seuraavia käyttäjiä varten. Työssä on käyty myös tarkasti läpi sitä, mikä osa demojärjestelmästä on simuloitua ja mikä todellista. Tämä antaa hyvät lähtökohdat järjestelmän kehittämiseksi edelleen.

IEC 60870-5-104-protokolla toi paljon haastetta järjestelmän kehittämiseen, sillä kirjastosta ei ollut hyötyä muuten kuin symbolien osalta. InGRID saatiin vastaamaan haluttuja tavoitetta, eli uudella SCADA-järjestelmällä saadaan ohjattua, seurattua ja simuloitua demojärjestelmää. Jatkoa ajatellen InGRIDin ohjainkaappien laitteistoa olisi tarpeellista uusia ajan tasalle, kuten esimerkiksi vaihtaa REC523 -kojeet sekä RER601 -kommunikaatiolaite ja REC603 -ohjain. Johdotuksen voisi uusia ja dokumentoida piirikaavion avulla. Toinen kamera olisi hyvä saada kuntoon, mutta se ei ole välttämätöntä. Demojärjestelmän esittelemisen onnistuu hyvin myös yhden kameran avulla. InGRIDin valvontajärjestelmälle tehtiin vielä lopuksi lyhyt käyttöohje myyjiä varten.

LÄHTEET

9.8.2013/588. Sähkömarkkinalaki. Finlex. Viitattu 16.2.2023.

<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130588#O2L4>

ABB Oy. 02/2018. PowerPoint-esitys. Älykäs Sähköverkko: Kompaktikojeisto kaukokäytöllä ja vikaindikoinnilla.

ABB Oy. 2010. ABB NPS Product Guide.

https://library.e.abb.com/public/c4d905c0108e5ec3c1257b130057431f/NPS_catalogue_3405PL348-W1-en.pdf

ABB Oy. 2019. ABB REC615 Product Guide.

https://library.e.abb.com/public/b4d650f2fe604b08bd4f06445a88d8e8/REC615_pg_757811_ENf.pdf

ABB Oy. 2020. ABB:n uusi valvonta- ja ohjausjärjestelmä sähkönjakeluverkoille.

<https://new.abb.com/news/fi/detail/67091/abbn-zee600-uusi-valvonta-ja-ohjausjarjestelma-sahkonjakeluverkoille>

ABB Oy. 2021. ABB ZEE600 Product Guide.

<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=2NGA000148&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

ABB Oy. 2022. ABB ARC600 Wireless Controller Product Guide.

https://library.e.abb.com/public/106d05423e274767aa16232fa64717ad/ARC600_pg_758465_ENh.pdf

ABB Oy. 2022. ABB ARM600 Product Guide.

<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1MRS758481&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

ABB Oy. ABB:n tarjonta sähköverkkoyhtiöille. <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa/sahkoverkkoyhtiot>

ABB Oy. ABB ARG600 Wireless Gateway Product Guide.

<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1MRS758462&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

ABB Oy. ABB REC523 Monitoring and Control Unit.

<https://new.abb.com/medium-voltage/digital-substations/protection-relay-services/legacy-relays-and-related-devices-and-tools/monitoring-and-control-unit-rec-523>

ABB Oy. ABB RIO600 Remote I/O Product Guide.

https://library.e.abb.com/public/a41d6eec5274363ac1257b130056ce56/RIO600_pg_757487_ENa.pdf

ABB Oy. InGRID online demonstration system. <https://new.abb.com/medium-voltage/digital-substations/misc/ingrid-online-demonstration-system>

ABB Oy. Suomalaiset juuret. <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/historia/suomalaiset-juuret>

Kukkola, M. 15.12.2020. Webinaaritalenne: ZEE600: Moderni SCADA-järjestelmä sähköjakelun valvontaan ja hallintaan. ABB Oy. Viitattu 27.3.2023.

<https://www.youtube.com/watch?v=fDnkEzq7AZY>

Lindberg, L. 2022. ABB: Uuden sukupolven ZEE600 SCADA -ohjelmisto ohjaa ja valvoo sähköjakelua. <https://paperijapuu.fi/abb-uuden-sukupolven-zee600-scada-ohjelmisto-ohjaa-ja-valvoo-sahkonjakelua/>

Nyrhilä, J. 31.5.2017. PowerPoint-esitys webinaarista. Älykäs sähköverkko kiinteistöissä: Sähköverkon valvonta ja kyberturvallisuus. ABB Oy.

https://new.abb.com/docs/librariesprovider113/fi_buildingspace_webinars/s%C3%A4hk%C3%B6verkon-ohjaus-ja-valvonta.pdf?sfvrsn=2a074d14_2

Pätt, J-M. 2019. Webinaaritalenne: Digitaalinen muuntamo. ABB Oy. Viitattu

26.1.2023. <https://www.youtube.com/watch?v=TDuvCDZIH8>

Pätt, J-M. 2023. Area Sales Manager. ABB Oy. Haastattelu 18.4.2023.

Schweitzer Engineering Laboratories. FLISR. <https://selinc.com/solutions/p/flisr/>

Trimble. DMS. <https://upa.trimble.com/fi-fi/tuotteet/trimble-dms>

Vedenjuoksu, T. & Holm, S. 6.9.2017. PowerPoint-esitys webinaarista. Älykäs sähköverkko kiinteistössä: Suojareleet ja valokaarisuojaus. ABB Oy.

https://new.abb.com/docs/librariesprovider113/fi_buildingspace_webinars/valokaarisuojaus-ja-relesuojaus.pdf?sfvrsn=2b074d14_2

VPNyhteys. Viitattu 25.4.2023. <https://www.vpnyhteys.fi/>

