



IEC 61850 pohjaisen sähköasema-automatation testaaminen

Mika Ahonen

Opinnäytetyö, AMK

Lokakuu 2021

Tekniikan alat

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Ahonen Mika

IEC 61850 pohjaisen sähköasema-automaation testaaminen

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Lokakuu 2021, 75 sivua.

Tekniikan alat, sähkö- ja automaation tutkinto-ohjelma, opinnäytetyö.

Julkaisun kieli: Suomi

Verkkojulkaisulupa myönnetty: kyllä

Tiivistelmä

IEC61850 -standardia käytetään sähköasema-automaation määrittelyssä. Alva Sähköverkolla on hyödynnetty standardia aiemmissa sähköasemaprojekteissa. Myös tulevilla projekteilla standardia tullaan hyödyntämään. Standardin mukaisen sähköasema-automaation testaukseen on hankittu testauslaitteisto, jonka käyttöön halutaan saada kokemusta. Haluttiin myös selvittää testauslaitteiston hyödyntämisen eri mahdollisuuksia. Tietämystä IEC61850 -standardista halutaan myös syventää, jotta voidaan jatkossa paremmin määrittellä sähköasemaprojektien automaation toteutustapa. Standardin pääosiin tutustuttiin diplomitöiden ja laitevalmistajien koulutusten kautta. Tämän jälkeen sähköasemien signaaleja koestettiin tähän tarkoitukseen tarkoitettulla StationScout testauslaitteistolla. Tulokseksi saatiin testausraportti, jonka pohjalta voidaan testauksia ja käyttöä jatkossa laajentaa. StationScout todettiin erittäin monipuoliseksi ja tarpeelliseksi laitteistoksi. Sitä voidaan jatkossa hyödyntää sähköasemaprojektien automaatio konfigurointien tarkastukseen. Laitteistoa voidaan hyödyntää myös käytön aikaisessa toiminnassa, koska sillä voidaan seurata sähköasemien signaalien toimivuutta reaaliaikaisesti.

Avainsanat (asiasanat)

IEC61850, GOOSE, StationScout, Omicron, sähköasema, automaatio, testaus

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

Mika Ahonen

Testing of IEC 61850 based substation automation

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, October 2021, 75 pages.

Engineering and technology. Degree programme in Electrical and automation technology. Bachelor's thesis.

Permission for web publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

The IEC 61850 standard is used to define substation automation. Alva Sähköverkko has utilized the standard in previous Substation projects. The standard will also be used in future projects. Testing equipment has been acquired for testing substation automation in accordance with the standard. Experience is sought in using of test equipment. There was also interest to find out the different possibilities of utilizing the test equipment. It is also desired to deepen the knowledge of the IEC 61850 standard to better define the implementation of automation in the substation projects in the future. The main parts of the standard were introduced through Diploma theses and training of equipment manufacturers. The signals from the substations were then tested with StationScout test equipment. The result was a test report, on the basis of which testing, and use can be expanded in the future. StationScout was found to be a very versatile and necessary piece of hardware. It can be used in the future to check the automation configurations of substation projects. The equipment can also be utilized in-service operations, as it can monitor the functionality of the substation signals in real time.

Keywords/tags (subjects)

IEC61850, GOOSE, StationScout, Omicron, substation, automation, testing

Miscellaneous (Confidential information)

Sisältö

1	Johdanto	4
1.1	Tutkimuksen tarkoitus ja rajaukset	4
1.2	ALVA Sähköverkko	4
2	Sähköasema-automaatio	6
2.1	IEC61850 -standardi	6
2.1.1	Abstract Communication Service Interface (ASCI)	11
2.1.2	Specific communication service mapping (SCSM)	19
2.1.3	Manufacturing Message Specification (MMS)	20
2.1.4	Generic Object Oriented Substation Event (GOOSE)	20
2.1.5	Sampled values (SV)	24
2.2	Konfigurointikieli ja tiedostotyytit	25
2.3	Konfigurointi prosessi	27
2.4	Konfiguroinnissa huomioitavia seikkoja testauksen kannalta	28
2.4.1	IED-laitteen vaatimukset	29
2.4.2	SCD-tiedoston vaatimukset	30
2.4.3	Kommunikointiväylän vaatimukset	36
3	StationScout testausohjelmisto	39
3.1	Tietoturva	42
4	Sähköasema-automaation koestus	43
4.1	Asettelut ja valikkonäkymät	43
4.2	Signaalien koestus	58
4.3	Aineiston analyysi	64
5	Tulokset	64
6	Pohdinta	64
6.1	Luotettavuus ja eettisyys	64
6.2	Tulosten tarkastelu suhteessa viitekehukseen	65
6.3	Johtopäätökset ja kehitysehdotukset	65
	Lähteet	67
	Liitteet	70
	Liite 1. Aseman 2 J23 Q9 ohjauksien ja lukitusten testausraportti	70
	Kuviot	
	Kuvio 1. Alva Sähköverkon jakelualue (Alva Sähköverkko, n.d.)	5

Kuvio 2. Sähköasema-automaation tasot (Söderbacka 2013, 15)	10
Kuvio 3. ACSI-palvelurajapinnan tietomalliluokat (Lemmetyinen 2015, 22)	12
Kuvio 4. IEC 61850-8-1 mukainen objektin nimeäminen (Adamiak ym 2009, 64)	19
Kuvio 5. IEC 61850 tietoliikenne protokollat (Suittio 2010, 11)	20
Kuvio 6. GOOSE-viestien lähetyksen aikavälit (Lemmetyinen 2015, 39)	22
Kuvio 7. Merging unit-yksikön toimintaperiaate (Mäkelä 2018, 45)	25
Kuvio 8. Konfigurointi prosessi (Carvalho & Klien 2019, 1)	27
Kuvio 9. Esimerkkiaseman yksiviivaesitys (Carvalho & Klien 2019, 2)	30
Kuvio 10. Asema osuus SCD-tiedostosta SCL-kielellä (Carvalho & Klien 2019, 4)	31
Kuvio 11. Esimerkkiaseman näkymä testausohjelmassa (Carvalho & Klien 2019, 4)	32
Kuvio 12. Katkaisijan signaalit (Carvalho & Klien 2019, 4)	33
Kuvio 13. Signaalin nimeäminen (Carvalho & Klien 2019, 4)	34
Kuvio 14. GOOSE tilaajat (Carvalho & Klien 2019, 5)	34
Kuvio 15. GOOSE viestit testausohjelmassa (Carvalho & Klien 2019, 5)	35
Kuvio 16. Raporttien määrittely (Carvalho & Klien 2019, 5)	36
Kuvio 17. Raporttien näkymä testausohjelmassa (Carvalho & Klien 2019, 5)	36
Kuvio 18. PRP verkko (Technical manual REF 615 2018, 57)	37
Kuvio 19. HSR verkko (Technical manual REF 615 2018, 58)	38
Kuvio 20. MBX1 (StationScout IEC 61850 substation automation system testing 2021, 6)	39
Kuvio 21. MBX1 etupuoli (StationScout IEC 61850 substation automation system testing 2021, 7)	40
Kuvio 22, MBX1 takapuoli (StationScout IEC 61850 substation automation system testing 2021, 8)	41
Kuvio 23. StationScout ohjelman näkymä (StationScout IEC 61850 substation automation system testing 2021, 9)	42
Kuvio 24. StationScout aloitusruutu	44
Kuvio 25. StationScout aloitusruutu 2	45
Kuvio 26. Yhteysasettelut	46
Kuvio 27. Aikapalvelin asetukset	47
Kuvio 28. Aseman 1 zeroline	48
Kuvio 29. Aseman 1 kennojen nimeäminen	49
Kuvio 30. Aseman 1 nimeämiset SCL-kielellä	50
Kuvio 31. Aseman 1 kennon J01 katkaisija Q0 SCL kielellä	50
Kuvio 32. Erottimien yhdistäminen oikeaan lohkoon	51
Kuvio 33. Aseman 2 zeroline näkymä	52

Kuvio 34. Yhdistetyt erottimet.....	53
Kuvio 35. Aseman 2 kennon J23 signaalit	54
Kuvio 36. Aseman 2 kennon J23 näkymä	55
Kuvio 37. Aseman 2 kennon J23 GOOSE virhe.....	56
Kuvio 38. Aseman 2 kennon J23 Q9 näkymä	57
Kuvio 39. Testauksen asetteluruutu	58
Kuvio 40. Aseman 2 kennon J23 Q9 testaus	59
Kuvio 41. Testi käynnissä	61
Kuvio 42. Suoritettu testaus.....	63

Taulukot

Taulukko 1. IEC 61850 -standardin pääosat ja tärkeimmät alaosiot (IEC 61850-2:2021)	7
Taulukko 2. Loogisten solmujen (LN) tunnukset (Lemmetyinen 2015, 23-24).....	14
Taulukko 3. XCBR-solmun dataluokat ja objektit (Adamiak, Baigent & Mackiewicz 2009, 63)..	16
Taulukko 4. SPS-dataluokkaan liittyvät data-attribuutit (Adamiak ym. 2009, 63)	17
Taulukko 5. FC-luokat dataobjekteille ja data-attribuuteille (Lemmetyinen 2015, 25)	18
Taulukko 6. GOOSE- ja SV-protokollien multicast osoitevälit (Mäkelä 2018, 46)	21
Taulukko 7. IEC 61850 siirtoaikavaatimukset (Lemmetyinen 2015, 32).....	23
Taulukko 8. SCL tiedostojen eri muodot (Carvalho & Klien 2019, 2).....	26

1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen tarkoitus ja rajaukset

Nykyään uusilla ja saneeratuilla sähköasemilla on toisiokaapelointia pyritty vähentämään. Erilaiset kytkinlaitteiden lukitukset ja ohjaukset on tehty hyödyntäen nykyaikaisten suoja-alueiden tietoliikenne ominaisuuksia. Suoja-alueiden ohjelmoinnissa noudatetaan IEC 61850 -standardia. Standardi määrittelee sähköasema-automaation ohjelmoinnin, käytettävät tietoliikenne protokollat ja toimilaitteiden virtualisoinnin. Standardia on käytetty Alva Sähköverkon viimeisimmissä sähköasema projekteissa, joissa on muun muassa erottimien lukitukset on tehty IEC 61850:n mukaisella GOOSE protokollalla.

Alva Sähköverkolla on tarve syventää tietämystä IEC 61850 -standardista. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena onkin perehtyä IEC 61850 -standardiin ja erityisesti IED-laitteiden väliseen GOOSE viestintään. Tavoitteena on lisätä ymmärrystä GOOSE liikennöinnin määrittelystä ja testauksesta osana sähköasema-automaatiota. Testauksessa käytetään Omicron yhtiön valmistamaa StationScout testauslaitteistoa. Yhtenä tavoitteena on myös oppia StationScoutin peruskäyttö ja tutustua laitteiston ominaisuuksiin.

Tutkimus tehdään toimintatutkimuksena, jossa tutkittavaksi otetaan kaksi Alva Sähköverkon sähköasemaa. Tutkimuksessa tarkastellaan asemien SCD-tiedostojen rakennetta ja testataan StationScoutin ominaisuuksia. Työ rajataan koskemaan vain StationScout koestusta ja IEC 61850 -standardiin perehtymistä. Perinteinen suojausten koestus ja IED-laitteiden ohjelmointi jätetään tämän työn ulkopuolelle. Lopputulokseksi on tarkoitus saada esimerkkiraportti asemalla koestetuista signaaleista. Tarkoituksena on myös parantaa Alva Sähköverkon osaamista IEC 61850 -standardista, jonka avulla voidaan tulevaisuudessa sähköasema projekteissa määrittellä sähköasema-automaation toteutustapa.

1.2 ALVA Sähköverkko

Alva Sähköverkko Oy on osa Jyväskylän kaupungin omistamaa ALVA konsernia. Alva Sähköverkko huolehtii sähkön siirrosta Jyväskylän kantakaupungin alueella. Jakelualue on kooltaan noin 94 km².

Jakelualue on esitetty kuviossa 1. Käyttöpaikkoja Alva Sähköverkolla on noin 60 000. Liikevaihto oli vuonna 2020 22,6 M€ ja henkilöstöä yhteensä 22. (Alva yritysesitys 2021, 9.)



Kuvio 1. Alva Sähköverkon jakelualue (Alva Sähköverkko, n.d.)

Hoidettavana Alva Sähköverkolla on 6 kappaletta 110/20 kV:n sähköasemaa, kaksi 20 kV:n kytkinasemaa ja yksi 110 kV:n kytkinasema. 110/20 kV päämuuntajia on 10 kappaletta. 110 kV:n alueverkkoa on 12 km, josta on kaapeloitu 38,5 %. 20 kV:n jakeluverkkoa on noin 395 km ja siitä on 89,1 % maakaapelia. Pienjänniteverkkoa on noin 965 km ja siitä 98,3 % on maakaapelia. Sähköasemilla on johtolähtöjä noin 20 kappaletta jokaisella asemalla. (Alva yritysesitys 2021, 9.)

2 Sähköasema-automaatio

Sähköasema-automaatio on järjestelmä, joka käsittää sähköaseman ensilaitteiden ohjauksen, valvonnan ja hälytykset. Automaatiolla käsitellään myös näihin liittyvät toisiopiirit ja suojauselimet. Automaation avulla kerätään myös mittausdataa sähköaseman toiminnoista. Ohjaukset, hälytykset ja kerätty mittausdata esitetään käyttäjä ystävällisessä muodossa laitteiston valvojalle. (Padilla 2015, 42.)

2.1 IEC61850 -standardi

Ennen IEC 61850 -standardia laitevalmistajilla oli omia kommunikointimenetelmiä laitteissaan. Ne eivät kuitenkaan olleet yhteensopivia toisten laitevalmistajien laitteiden kanssa. IEC 61850 on kansainvälinen standardi, jonka tarkoituksena on standardisoida sähköasemien kommunikaatio. Standardin avulla sähköaseman automaatio ja kommunikointi voidaan toteuttaa useamman laitevalmistajan laitteiden välillä. Ensimmäinen versio standardista on julkaistu vuonna 2004. Toinen osa julkaistiin vuonna 2011. (Länsman 2019, 13.)

IEC61850 -standardi koostuu 10 osasta, jotka ovat lueteltuna taulukossa 1. Taulukon jälkeisissä kappaleissa osioita on kuvailtu tarkemmin.

Taulukko 1. IEC 61850 -standardin pääosat ja tärkeimmät alaosiot (IEC 61850-2:2021)

<i>Osa</i>	<i>Otsikko</i>
1	Introduction and overview
2	Glossary
3	General requirements
4	System and project management
5	Communication requirements for functions and device models
6	Configuration description language for communication in electrical substations related to IEDs
7-1	Basic communication structure – Principles and models
7-2	Basic information and communication – Abstract communication service interface (ASCI)
7-3	Basic communication structure – Common data classes
7-4	Basic communication structure – Compatible logical nodes and data object classes
8-1	Specific communication service mapping (SCSM) – Mappings to MMS (ISO/IEC 9506-1 and ISO/IEC 9506-2) over ISO/IEC 8802-3
9-2	Specific communication service mapping (SCSM) – Sampled values over ISO/IEC 8802-3
9-3	Precision time protocol profile for power utility automation
10	Conformance testing

IEC 61850 -standardin ensimmäisessä ja toisessa osassa on esitetty standardin yleiskuvaus ja standardissa käytetyt sanastot ja termit. Osassa kolme on selitetty standardin yleiset vaatimukset keskeytymättömään rakentamiseen, suunnitteluun ja ympäröiviin olosuhteisiin. (IEC 61850-1:2013; IEC 61850-2:2021; IEC 61850-3:2013.) IEC 61850-4 osiossa kuvataan sähköasema-automaatiojärjestelmän ja IED-laitteiden (Intelligent Electronic Device) elinkaari. Osiossa selvitetään myös vaatimukset sähköasema-automaation järjestelmän ja projektin hallinnan prosesseille. Lisäksi osiossa kuvataan sähköasema-automaation suunnittelun ja testauksen työkalut, eli ohjelmistot. (IEC 61850-4:2011.)

IEC 61850-5 osiossa kuvataan laitteiden ja toimintojen kommunikointivaatimukset, jotta eri valmistajien laitteet voisivat toimia saumattomasti samassa automaatiojärjestelmässä (IEC 61850-5:2013). IEC 61850-6 osiossa on esitetty sähköasemien toimilaitteiden käyttämä konfigurointikieli SCL (Substation Configuration Language), joka pohjautuu XML-kieleen (Extensible Markup Language). Konfigurointikielen avulla eri valmistajien IED-laitteiden ja sähköasema-automaatiojärjestelmän hallintatyökalut ovat yhteensopivia. Standardissa määritellään ne tiedostomuodot, joiden avulla esitetään IED-laitteiden konfiguraatiot ja parametrit, tietoliikennejärjestelmien konfiguroinnit, kytkinlaitteiden funktiot ja kaikkien edellä mainittujen väliset yhteydet. (IEC 61850-6:2009.)

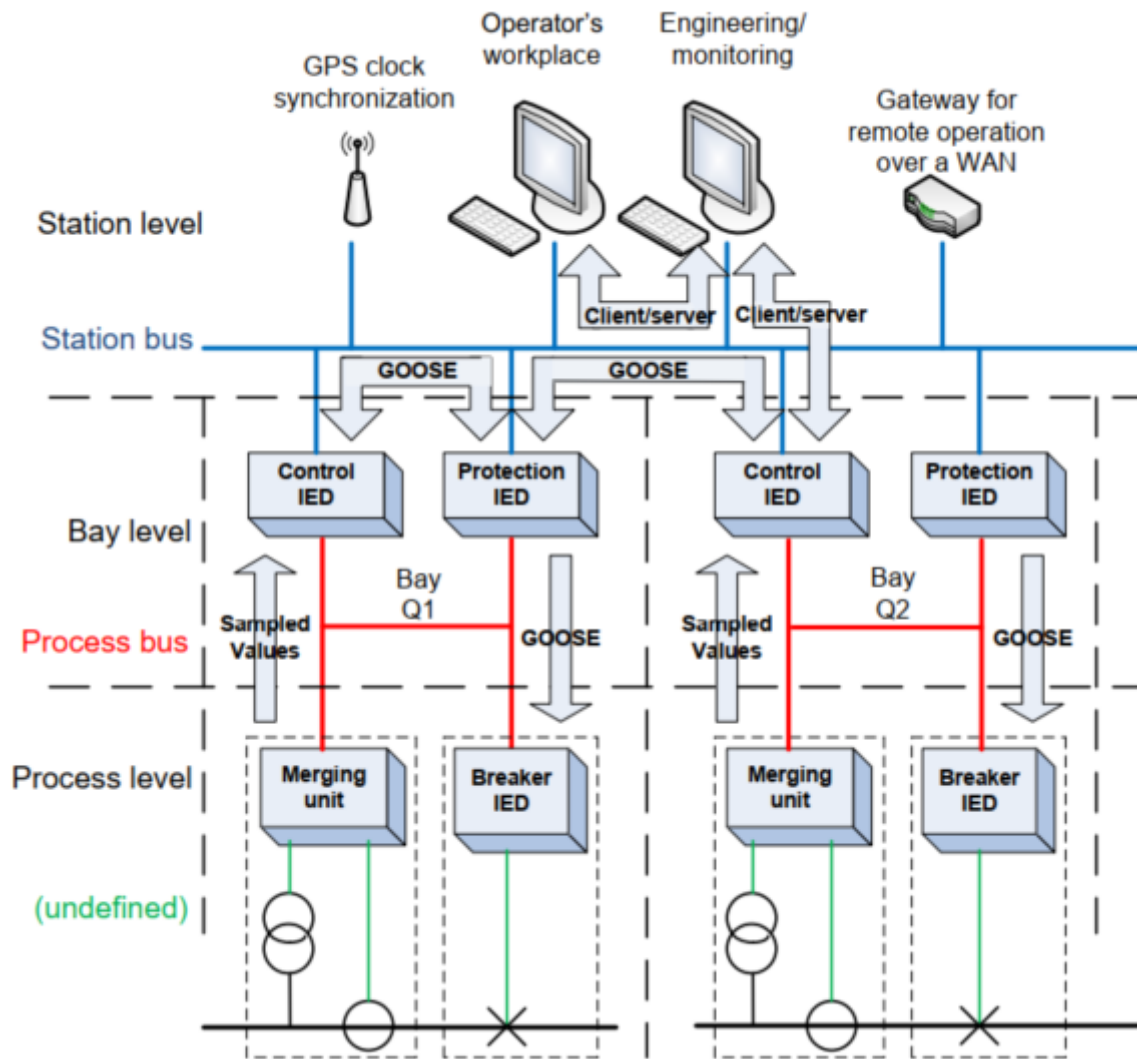
IEC 61850-7-1 osiossa esitetään peruseriaatteet kommunikoinnille sekä informaatiomallit ja -tavat, joita on käytetty muissa IEC 61850-7-x osissa (IEC 61850-7-1:2011). IEC 61850-7-2 osiossa kuvataan ASCI-palvelurajapinta (Abstract Communication Service Interface). ASCI-palvelurajapinnalla kuvataan kommunikointia etäserverin ja IED-laitteen välillä. Kommunikointia voi olla esimerkiksi laitteen hallinta, tapahtumien raportointi, asetteluryhmien hallinta ja tiedostojen siirto. (IEC 61850-7-2:2010.) IEC 61850-7-3 osio määrittelee yleiset dataluokat CDC (Common Data Classes), jotka liittyvät sähköasemasovelluksiin. Näistä esimerkkinä tilatiedot, mitatut arvot, ohjaukset ja asettelut. (IEC 61850-7-3, 2010.) IEC 61850-7-4 osio määrittelee loogisten solmujen ja dataobjektien nimeämisen kommunikointia varten IED-laitteiden välillä sekä niiden välisen suhteen (IEC 61850-7-4:2010).

IEC 61850-8-1 osiossa määritellään, miten ASCI palvelut ja objektit muunnetaan MMS-protokollan muotoon ja siirretään ethernet-verkossa (IEC 61850-8-1:2020). MMS-protokolla perustuu OSI-kommunikointimalliin. Se on suunniteltu laitteiden etäohjauksen ja etävalvonta käyttöön erillisten

RTU- (Remote Terminal Unit) ja PLC- (Programmable Logical Controller) yksiköiden kautta (Tebekeami E. & Wijesekera D. 2016, 43). Osiossa määritellään myös IED-laitteiden välinen horisontaalinen tiedonsiirto sähköaseman asemaväylässä. Tätä kutsutaan GOOSE-protokollaksi (Generic Object Oriented Substation Event). (IEC 61850-8-1:2020.)

IEC 61850-9-2 osiossa määritellään SCSM (Specific Communication Service Mapping), jonka avulla SV-mittausnäytteet (Sampled Values) siirretään osion 8–1 mukaisesti. SV-protokollan avulla primäärilaitteiden, esimerkiksi mittamuuntajien, mittausdata välitetään IED-laitteille nopeasti ja luotettavasti. Lähetys tapahtuu reaaliaikaisesti MU-yksiköiden (Merging Unit) avulla. (IEC 61850-9-2:2020.) IEC 61850-9-3 osio määrittelee sähköasema-automaatiossa käytettävän aika protokollan, jonka avulla saavutetaan korkea synkronoinnin taso IED-laitteiden ja mittamuuntajien välillä (IEC 61850-9-3:2016). IEC 61850-10 osio määrittelee tekniikat, joilla testataan servereiden, IED-laitteiden ja hallintatyökalujen vaativuuden mukaisuus (IEC 61850-10:2012).

Sähköaseman kommunikaatio koostuu kolmesta eri tasosta, jotka ovat asemataso, kenttätaso ja prosessitaso. Tasojen välillä on kaksi kommunikointiväylää, asemaväylä ja kenttäväylä. Asematasolla ovat kaukokäytön ala-asema-PC ja paikalliskäytön HMI-laitteet. Kenttätasolle sijoittuvat IED-laitteet, kuten suojarieleet. Prosessitasolla ovat sähköaseman primäärilaitteet kuten virta- ja jännitemuuntajat, katkaisijat ja erottimet. Prosessitasolle sijoittuvat myös MU-laitteet. (Lehtimäki 2017, 22). Automaatiojärjestelmän eri tasot ja niille sijoittuvat laitteet on esitetty kuviossa 2.



Kuvio 2. Sähköasema-automaation tasot (Söderbacka 2013, 15)

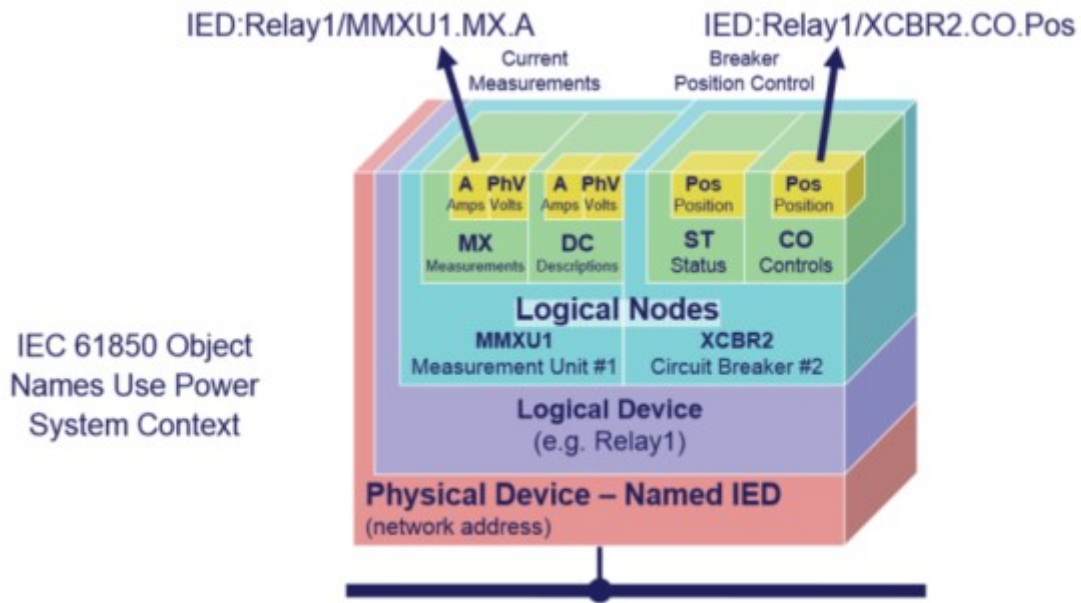
Asemaväylä (station bus) sisältää tietoliikenteen asematason (station level) ja kenttätason (bay level) sisällä sekä tasojen välillä. Sähköaseman kaukokäyttö liittyy sähköaseman automaatioon asematasolla. Asemaväylän tietoliikenne sisältää esimerkiksi suojaus-, ohjaus- ja lukitustietojen vaihtoa. Lisäksi tietoliikenteeseen kuuluu häiriötallenteiden ja tapahtuma rekisterien välitys. (Lehtimäki 2017, 22.)

Prosessiväylä (process bus) sisältää tietoliikenteen prosessitason (process level) ja kenttätason (bay level) välillä. Viestintä koostuu ensiö- ja toisiolaitteiden välisestä tiedonsiirrosta. Tähän kuuluvat muun muassa virta- ja jännitemuuntajien mittausarvot (sampled values) ja kytkinlaitteiden ohjaus- ja tilatiedot (GOOSE). Prosessitason laitteiden analogiset signaalit muutetaan Mergin Unit-laitteiden (MU) tai Switch Gear Control Unit-laitteiden (SGCU) avulla digitaaliseen muotoon. (Lehtimäki 2017, 22.)

2.1.1 Abstract Communication Service Interface (ACSI)

ACSI on tietoliikennearkkitehtuuri, joka mahdollistaa yksinkertaisen abstraktin rajapinnan reaali maailman analogisten arvojen ja sähköasema-automaation välillä. Rajapinta mahdollistaa IED-laitteisiin liittyvien dataobjektien ja -attribuuttien arvojen jakamisen. Näitä arvoja ovat esimerkiksi mittamuuntajien mittausarvot. ACSI-rajapinta mahdollistaa eri valmistajien laitteiden tiedonsiirron asemaväylässä, koska lähetävä laite ei tarvitse vastaanottavasta laitteesta mitään erityisiä tietoja vaan tiedonsiirto hoidetaan ACSI-palveluilla. ACSI-palvelurajapinta koostuu hierarkkisista tietomalliluokista ja palveluista, jotka näitä tietomalliluokkia käyttävät ja näihin palveluihin liittyvistä parametreista. (Lemmetyinen 2015, 20.)

Tietomalliluokkien avulla fyysiset laitteet kuten katkaisijat ja erottimet saadaan virtualisoitua. ACSI-palvelurajapinnan tietomalliluokat voidaan esittää kuvion 3 mukaisesti.



Kuvio 3. ACSI-palvelurajapinnan tietomalliluokat (Lemmetyinen 2015, 22)

Tietomalliluokkien hierakiajärjestys alenevasti, lähtien korkeimmasta on seuraava:

Fyysiset laitteet tai palvelimet (PD, Physical Device)

Fyysisellä laitteella tarkoitetaan IED-laitetta itsessään, esimerkiksi kennotermiinaalia, jonka sisään tietomalli määritellään. Jokaisella fyysisellä laitteella on oma yksilöity IP-osoitteensa. Fyysinen laite sisältää yhden tai useamman loogisen laitteen. (Mäkelä 2018, 38.)

Loogiset laitteet (LD, Logical Device)

Looginen laite koostuu yhdestä tai useammasta toiminnallisesta loogisesta solmusta. Looginen laite sisältää myös loogisen solmun ominaisuuksia kuvaavan solmun LLN0 ja solmun LPHD, joka kuvaa fyysisen laitteen ominaisuuksia. (Mäkelä 2018, 38.) Loogisen laitteen nimeäminen tehdään SCL-kielellä ja nimeämisen voi tehdä melko vapaasti (Lemmetyinen 2015, 23).

Loogiset solmut (LN, Logical Nodes)

Loogisella solmulla kuvataan yksittäistä toiminnallisuutta. IEC 61850-7-1 määrittelee loogiselle solmulle nelikirjaimisen lyhenteen. Lyhenteestä on loogisesti pääteltävissä, mihin se liittyy. Lyhenteen ensimmäinen kirjain kertoo mihin pääluokkaan looginen solmu kuuluu. Pääluokat ovat lueteltuna taulukossa 2. Tunnuksen kolme seuraavaa kirjainta muodostavat englanninkielisen lyhenteen, jonka merkitys on pääteltävissä. (Lemmetyinen 2015, 23.) Tunnuksella voi olla myös etu- ja jälkiliite, joiden avulla samalaiset loogiset solmut ovat eroteltavissa toisistaan (Mäkelä 2018, 40). Esimerkkinä ABB:n REF 630 suojausalueen ensimmäisen portaan ylivirta suojaus PHLPTOC, jossa etuliitteen muodostaa PHL (three phase, low stage). Toinen P kirjain ilmaisee suojausta (protection) taulukon 2 mukaisesti. Lopun TOC tulee sanoista time overcurrent.

Taulukko 2. Loogisten solmujen (LN) tunnukset (Lemmetyinen 2015, 23-24)

TUNNUS	SELITE
A	Automatic control, automaattinen ohjaus
C	Supervisory control, valvottu ohjaus
D	DER, hajautettu energiatuotanto
F	Functional blocks, toiminnalliset lohkot
G	Generic function references, yleistoiminnalliset viittaukset
H	Hydro power, vesivoima
I	Interfacing and archiving, rajapinnat ja arkistointi
K	Mechanical and non-electrical primary equipment, mekaaniset ja ei-sähköiset primäärilaitteet
L	System logical nodes, järjestelmän loogiset solmut
M	Metering and measurement, mittaaminen
P	Protection functions, suojaustoiminnot
Q	Power quality events detection related, tehon laatuun liittyvät tapahtumahavainnot
R	Protection related functions, suojaukseen liittyvät toiminnallisuudet
S	Supervision and monitoring, valvonta ja tarkkailu
T	Instrument transformer and sensors, mittamuuntajat ja anturit
W	Wind power, tuulivoima
X	Switchgear, katkaisijalaitteet
Y	Power transformer and related functions, tehomuuntaja ja siihen liittyvät toiminnallisuudet
Z	Further (power system) equipment, muut tehojärjestelmälaitteet

Dataobjektit (DO, Data Object) ja data-attribuutit (DA, Data Attribute)

Data-objektit kuuluvat johonkin yleiseen dataluokkaan (CDC, Common Data Class), joita on 29 kappaletta. Dataluokkien avulla määritellään dataobjektien ja -attribuuttien tyypit ja rakenteet loogisessa solmussa. Taulukosta 3 nähdään loogisen solmun XCBR, eli katkaisijan, dataobjektit ja niiden dataluokat. Ensimmäisessä sarakkeessa on esitetty dataobjektin nimi ja toisessa sarakkeessa on esitetty dataluokka. Kolmannessa sarakkeessa on kerrottu dataobjektin lyhyt kuvaus. Neljännestä sarakkeesta selviää, onko dataobjekti transieettinen eli nopeasti vaihtuva. Viides sarake ilmaisee, onko dataobjekti pakollinen (M, mandatory) vai valinnainen (O, optional). (Mäkelä 2018, 41.)

Taulukko 3. XCBR-solmun dataluokat ja objektit (Adamiak, Baigent & Mackiewicz 2009, 63)

XCBR Class				
DATA NAME	COMMON DATA CLASS	DESCRIPTION	T	MANDATORY/OPTIONAL
LNName	Secure	Shall be inherited from Logical-Node Class (see IEC 61850-7-2)		
DATA				
Common Logical Node Information				
		LN shell inherit all Mandatory Data from Common Logical Node Class		Mandatory
Loc	SPS	Local operation (local means without substation automation communication, hardwired direct control)		Mandatory
EE Health	INS	External equipment health		Optional
EE Name	DPL	External equipment name plate		Optional
OpCnt	INS	Operation counter		Mandatory
Controls				
Pos	DPC	Switch position		Mandatory
BlkOpn	SPC	Block opening		Mandatory
BlkCls	SPC	Block closing		Mandatory
ChaMotEna	SPC	Charger motor enabled		Optional
Metered Values				
SumSwARs	BCR	Sum o Switched Amperes, resetable		Optional
Status Information				
CBOPCap	INS	Circuit breaker operating capability		Mandatory
POWCap	INS	Point on Wave switching capability		Optional
MaxOpCap	INS	Circuit breaker operating capability when fully charged		Optional

Tarkasteltaessa XCBR-solmun dataobjektia Loc (Local operation), nähdään taulukosta 3, että se kuuluu SPS (single Point Status) dataluokkaan ja on pakollinen. SPS dataluokkaan liittyvät data-attribuutit voidaan lukea taulukosta 4. Taulukon ensimmäinen sarake kertoo data-attribuutin nimen ja toinen sarake sen tyyppin. Kolmannessa sarakkeessa on kerrottu data-attribuutin toiminnallisen rajoituksen luokka (FC, Functional constrain), jotka on lueteltu taulukossa 5. Taulukon neljäs sarake TrgOp (TriggerOption) ilmaisee, miten tiedon luku tai raportointi käynnistyy. Taulukossa nä-

kyvä dchg esimerkiksi tarkoittaa tiedon kulun tai raportoinnin käynnistymistä aina data muuttuessa. Viidennessä sarakkeessa on määritelty arvoalueet tai ennalta määritetyt arvot. Kuudennessa sarakkeessa on määritelty, onko attribuutti pakollinen, valinnainen vai tiettyjen ehtojen mukainen. (Mäkelä 2018, 41–42.)

Taulukko 4. SPS-dataluokkaan liittyvät data-attribuutit (Adamiak ym. 2009, 63)

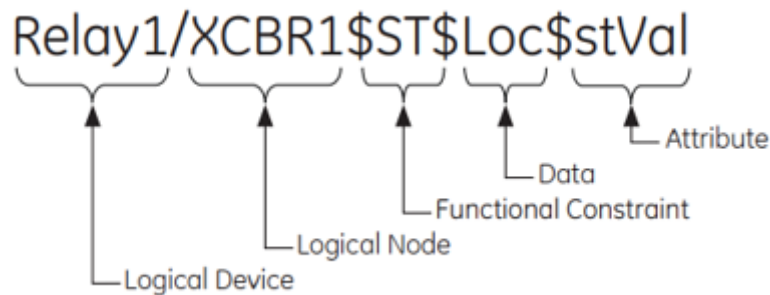
SPS Class					
ATTRIBUTE NAME	ATTRIBUTE TYPE	FUNCTIONAL CONSTRAINT	TRGOP	VALUE / VALUE RANGE	MANDATORY/ OPTIONAL
DataName	Inherited from Data Class (see IEC 61850-7-2)				
DATA ATTRIBUTE					
Status					
stVal	BOOLEAN	ST	dchg	TRUE FALSE	Mandatory
q	Quality	ST	qchg		Mandatory
t	TimeStamp	ST			Mandatory
Substitution					
subEna	BOOLEAN	SV			PICS_SUBST
subVal	BOOLEAN	SV		TRUE FALSE	PICS_SUBST
subQ	Quality	SV			PICS_SUBST
subID	VISIBLE STRING64	SV			PICS_SUBST
Configuration, description and extension					
d	VISIBLE STRING255	DC		Text	Optional
dU	UNICODE STRING255	DC			Optional
cdcNs	VISIBLE STRING255	EX			AC_DLNDA_M
cdcName	VISIBLE STRING255	EX			AC_DLNDA_M
dataNs	VISIBLE STRING255	EX			AC_DLN_M

Edellisessä kappaleessa mainittu toiminnallinen luokan (FC) tarkoitus on lokeroida dataobjektien ja data-attribuuttien käyttötarkoitus. Tarkoitus on myös yksinkertaistaa ACSI-palveluiden parametrien kuvausta palvelukutsuja laadittaessa. (Lemmetyinen 2015, 24.)

Taulukko 5. FC-luokat dataobjekteille ja data-attribuuteille (Lemmetyinen 2015, 25)

FC-LUOKKA	SELITE
ST	Status information, tilatiedot
MX	Measurands (analogue values), analogiset mittausarvot
SP	Setting (outside setting group), asetukset, jotka ovat SG-luokan ulkopuolella
SV	Substitution, korvatut tiedot
CF	Configuration, konfiguraatitiedot
DC	Description, kuvaustiedot
SG	Setting group, asetteluryhmätiedot, ei muutettavissa
SE	Setting group editable, asetteluryhmätiedot, muutettavissa
SR	Service response, palvelun vastaustiedot
OR	Operate received, operaatiopyyntöjen käsittelytiedot
BL	Blocking, arvojen päivitysten esto
EX	Extended definition (application name space), laajennetut määritelmät sovelluksen nimiavaruudessa
XX	Representing all Data Attributes as a service parameter, kaikkien data attribuuttien esittäminen palveluparametreina

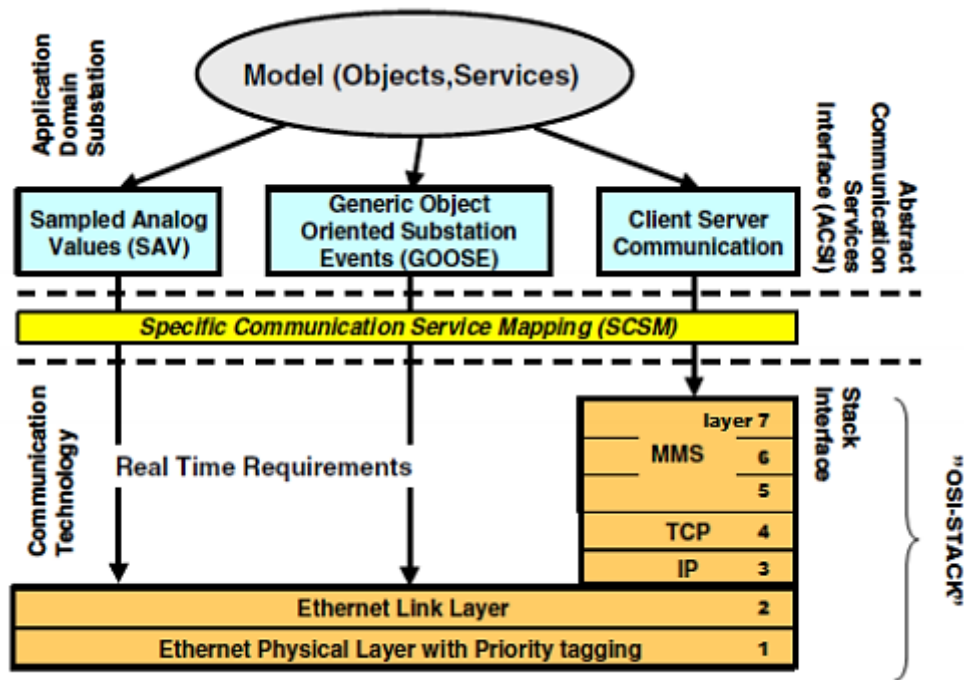
Edellä kerrottuja määritelmiä käyttämällä saadaan esimerkiksi suojarleen 1 ohjaaman katkaisijan kauko-/paikalliskäytön tila selville kuvion 4 mukaisella objektin nimellä. Kyseinen nimi voidaan lukea myös MMS-protokollaa käyttäen. MMS-protokollan avulla tietoa siirretään yleensä IED-laitteilta ylemmälle tasolle, esimerkiksi ala-asemalle.



Kuvio 4. IEC 61850-8-1 mukainen objektin nimeäminen (Adamiak ym 2009, 64)

2.1.2 Specific communication service mapping (SCSM)

ACSI:n mukaiset abstraktit mallit ja palvelut saadaan käyttöön, kun ne määritellään johonkin konkreettiseen tiedonsiirto protokollaan. SCSM:n avulla abstraktit mallit kuvataan SV-, GOOSE- tai MMS-protokollassa, jotka voidaan edelleen kuvata ISO/IEC 8802-3 Ethernet-protokollan paketeina. Kuvio 5 voidaan nähdä SCSM:n rooli tietoliikenne määrittelyissä. (Lemmetyinen 2015, 30.)



Kuvio 5. IEC 61850 tietoliikenne protokollat (Suittio 2010, 11)

2.1.3 Manufacturing Message Specification (MMS)

MMS-protokolla perustuu 7-kerroksiseen ISO/OSI-malliin, jonka rakenne on määritelty standardeissa ISO 9506-1 ja ISO 9506-2. MMS-protokollalla on toteutettu esimerkiksi IED-laitteiden ja alaseaman välinen client/server-liikennöinti. MMS-protokolla tukee IEC 61850-standardin monimutkaisista objektin nimeämistä ja antaa menetelmät ja palvelut monimutkaisille datamalleille. Lisäksi MMS-protokollaa on mahdollista käyttää TCP/IP tai OSI-protokollapintojen päällä, kuten yllä olevasta kuvioista 5 ilmenee. (Mäkelä 2018, 43–44.)

2.1.4 Generic Object Oriented Substation Event (GOOSE)

GOOSE-protokollan avulla on mahdollista datan nopea ja laaja-alainen lähettäminen. Data voi olla esimerkiksi datajoukkoihin ryhmiteltyjä analogisia mittausarvoja, binäärisiä tilatietoja kokonaisluokuarvoja. (Lemmetyinen 2015, 35.)

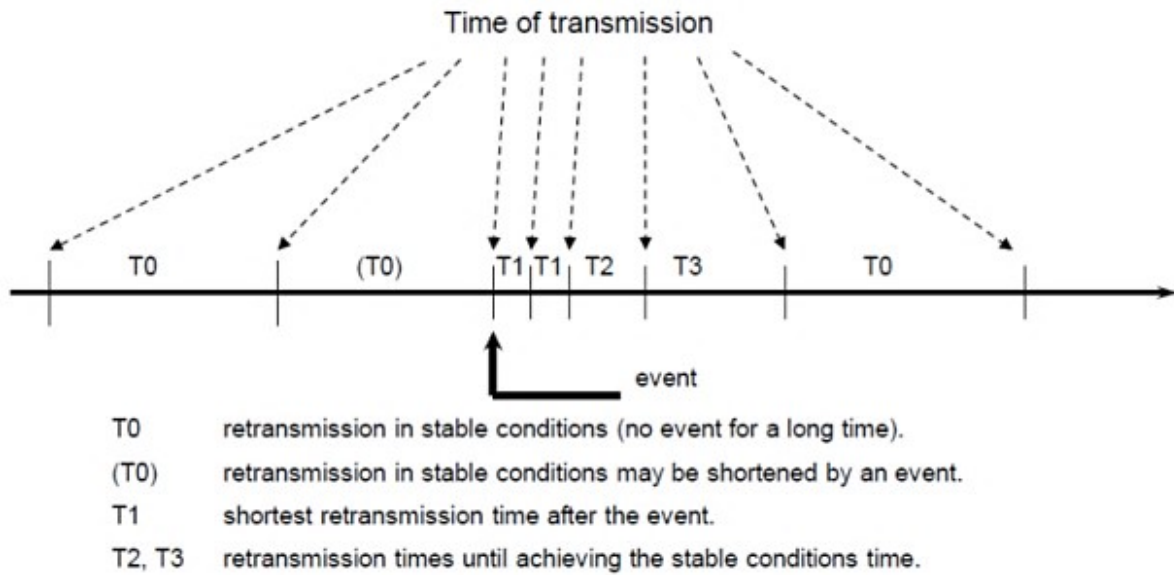
GOOSE-protokollan perustana on yhteydetön multicast viestintä niin kutsutulla julkaisija/tilaajamallilla. Yhteydetön tarkoittaa, että julkaisevassa laitteessa ei määritellä vastaanottajaa viesteille, vaan viestit kulkevat multicast-osoitteeseen, johon IEC 61850-8-1 standardista löytyy suositus. Viestejä tilaavat laitteet liittyvät multicast-osoitteen tilaajiksi ja voivat näin vastaanottaa julkaisijan GOOSE-viestit. Taulukossa 6 on esitetty suositellut multicast osoitevälit eri protokollille.

Taulukko 6. GOOSE- ja SV-protokollien multicast osoitevälit (Mäkelä 2018, 46)

Service	Recommended address range assignment	
	Starting address (hex)	Ending address (hex)
Multicast Sampled Values	01-0C-CD-04-00-00	01-0C-CD-04-01-FF
GOOSE	01-0C-CD-01-00-00	01-0C-CD-01-01-FF
GSSE	01-0C-CD-02-00-00	01-0C-CD-02-01-FF

GOOSE-viestintä on horisontaalista viestintää, jossa viestejä ei lähetetä ylemmän kerroksen kautta, vaan viestintä tapahtuu suoraan samassa väylässä olevien rinnakkaisten IED-laitteiden välillä. IED-laitteet julkaisevat GOOSE-viestejä jatkuvasti ja vähintään timeAllowedTo Live-arvolla määritellyn ajan välein. Näin voidaan varmistua, että IED-laitteet ja tietoliikenneyhteydet ovat kunnossa. (Lemmetyinen 2015, 35–36.)

Kun IED-laite havaitsee muutoksen datajoukkonsa arvossa, esimerkiksi virtarajan ylittymisen, luo IED-laite siihen perustuvan tapahtuman ja lähettää tapahtuman välittömästi GOOSE-viestinä asemaväylään. Toiset IED-laitteet havaitsevat viestin väylästä ja toimivat asettelujensa mukaisesti. Viestejä lähetetään useita nopeaan tahtiin. Tilanteen vakiinnuttua viestien lähetysväli palautuu timeAllowedToLive välin mukaiseksi. Tapahtuma on esitetty kuviossa 6. (Lemmetyinen 2015, 38.)



Kuvio 6. GOOSE-viestien lähetyksen aikavälit (Lemmetyinen 2015, 39)

GOOSE-protokolla määritetään suoraan ethernet-kehikseen 88b8, jonka avulla se voidaan tunnistaa (Lemmetyinen 2015, 39). Suora ethernet-määrittäminen myös pienentää viivettä protokollien käsittelyssä. Tästä syystä GOOSE-protokolla sopii hyvin aikakriittiseen datan siirtoon (Söderbacka 2013, 68). GOOSE-protokollan siirtoaikavaatimus on P1 luokassa vähintään 10 ms ja parhaimmillaan P2 ja P3 luokissa 3 ms (Lemmetyinen 2015, 39). IEC 61850 siirtoaikavaatimukset on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. IEC 61850 siirtoaikavaatimukset (Lemmetyinen 2015, 32)

Tyyppi	Sovellus	Suorituskykyluokka	Siirtoaikavaatimus/tarkkuus
1A	Nopeat viestit (esim. releen laukaisuviesti)	P1	10 ms
		P2/P3	3 ms
1B	Nopeat viestit (muut)	P1	100 ms
		P2/P3	20 ms
2	Keskinopea	-	100 ms
3	Hidas	-	500 ms
4	Raakadata	P1	10 ms
		P2/P3	3 ms
5	Tiedostonsiirto		≥ 1000 ms
6a	Aikasykronointi, IEC 61850 - asemaväylä	T0,T1,T2	± 10 ms, ± 1 ms, ± 100 μ s
6b	Aikasykronointi, IEC 61850 - prosessiväylä	T3,T4,T5	± 25 μ s, ± 4 μ s, ± 1 μ s

IEC 61850 väylässä olevien laitteiden ajat on oltava tahdissa. Esimerkiksi laukaisutietojen on siirryttävä IED-laitteiden välillä muutamassa millisekunnissa. GOOSE- ja MMS-protokollien tapahtumasekvenssien aikaleimojen tarkkuus on 1 ms. Aikasykronoinnin tarkkuudeksi riittää tässä tapauksessa T1-luokan tarkkuus, joka voidaan saavuttaa SNTP-protokollan (Simple Network Time Protocol) avulla. (Lemmetyinen 2015, 31.)

Prosessiväylässä käytettävälle SV-protokolalle täytyy aikasykronointi toteuttaa esimerkiksi PTP-protokollan (Precision Timing Protocol) avulla. PTP-protokollalla aikasykronointi voidaan toteuttaa tiukimman T5-luokan mukaan, jolloin päästään alle 1 μ s tarkkuuteen. Tämä tarkkuus tarvitaan,

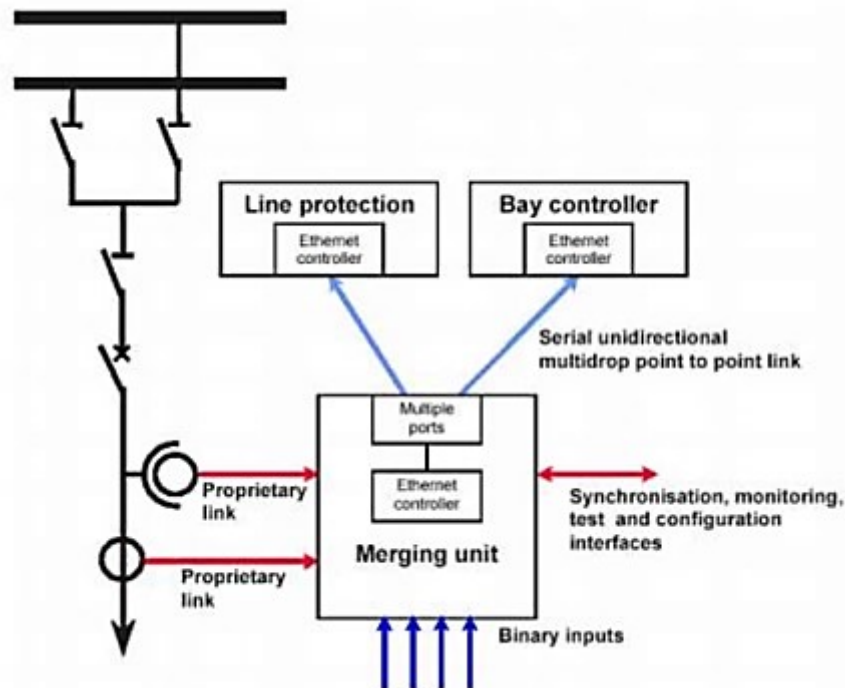
jotta SV-protokollan avulla tuotettujen vektorisuureiden kokonaisvirhevektori pysyy alle 1 %, kuten IEEE C37.118.1 standardissa määritellään. (Lemmetyinen 2015, 33.)

2.1.5 Sampled values (SV)

SV-protokollan avulla välitetään mittamuuntajien mittaamat analogiset arvot nopeasti ja luotettavasti IED-laitteille. IEC 61850-9-2 standardi antaa SV-protokollan suorituskyvylle ja palveluille kriittiset vaatimukset. Yksikään mittausarvon näyte ei saa kadota tai suhteessa muihin näytteisiin ei saa olla viivettä. (Lemmetyinen 2015, 40.)

Mittamuuntajien mittaamat analogiset arvot muunnetaan digitaaliseen muotoon Mergin Unit-laitteilla (MU). MU-laitteilla analogisista mitta-arvoista otetut näytteet pakataan digitaalisiksi paketeiksi, jotka lähetetään prosessiväylää pitkin IED-laitteille. IEC 61850-9-2 standardin vaatimusten mukaan MU-yksiköiden tulee pystyä ottamaan 80 tai 256 näytettä yhden verkon taajuuden jakson aikana. Tämä tarkoittaa 50 Hz:n verkossa 4000 tai 12800 näytettä sekunnissa. (Mäkelä 2018, 45.)

Ethernet väylästä voi tunnistaa SV-protokollan mukaiset paketit sille määritetystä Ethertype-kehuksesta, joka on 88ba (Lemmetyinen 2015, 40). SV-protokollan toiminta perustuu joko unicast- tai multicast-periaatteelle. Unicast-periaatteella SV-pakettien tilaajan on ainoastaan yksi IED-laite. Multicast-periaatteella tilaajana voi olla useampi IED-laite. Tässä tapauksessa MU-laite toimii julkaisijana ja lähettää viestit MAC-osoitteisiin, joiden suositeltu osoiteväli on esitetty taulukossa 6. Kuviossa 7 on nähtävissä MU-yksikön sijoittuminen prosessiverkkoon ja multicast toiminta. (Mäkelä 2018, 45.)



Kuvio 7. Merging unit-yksikön toimintaperiaate (Mäkelä 2018, 45)

2.2 Konfigurointikieli ja tiedostotyypit

IEC 61850-standardin mukainen sähköasema-automaation konfigurointi tehdään SCL (System Configuration description Language) -kielellä, joka perustuu XML (eXtensible Markup Language) -kielen. SCL-kielen avulla kuvataan sähköasema-automaation rakenne ja IED-laitteiden välinen kommunikointi. SCL-kielen tarkoitus on varmistaa IED-laitteiden kuvausten ja sähköasema-automaatioiden kuvausten yhteensopivuus eri laitevalmistajien ohjelmointi ohjelmien välillä. (Söderbacka 2013, 26–27.)

Sähköasema voidaan kuvata yksiviiva esityksenä. Kuvaus voi sisältää sähköaseman kaikki jännitetasot, kiskostot, muuntajat, johtolähdöt ja kaikki niihin liittyvät kytkinlaitteet. Tähän esitykseen voidaan liittää reaaliaikainen data IED-laitteilta, jolloin saadaan aikaan aseman valvonta ohjelmisto. (Söderbacka 2013, 27.)

IEC 61850-6-standardi määrittelee SCL-kielelle useita eri tiedostotyypppejä. Eri tiedostotyyppit voi tunnistaa niiden tiedostopäätteestä. Tiedostotyyppit on lueteltu taulukossa 8. Standardin osassa 6 myös määritellään erityyppiset ohjelmointi työkalut, joita käytetään eri tiedostotyyppien hallintaa.

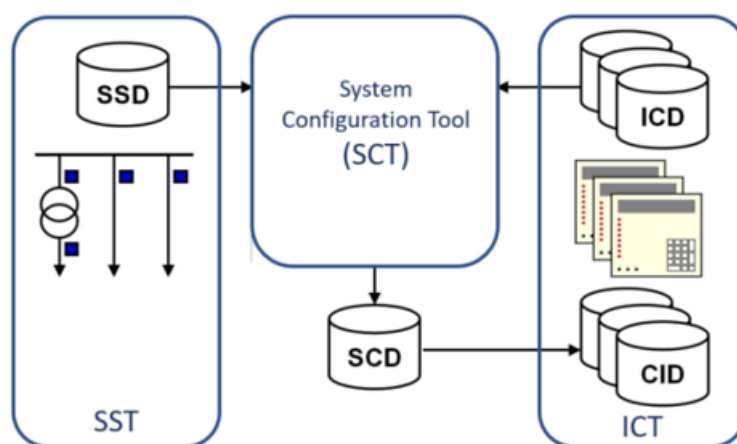
Taulukko 8. SCL tiedostojen eri muodot (Carvalheira & Klien 2019, 2)

Tiedos- topääte	Tiedostotyyppi	Selite
SSD	System Specification Description	Kuvaa aseman yksiviivaesityksen, joka sisältää jännitetasot, ensiolaitteet ja aseman toimintoihin tarvittavat loogiset solmut. Tiedosto luodaan SST työkalulla.
ICD	IED Capability Description	Sisältää IED:n loogiset solmut, datan ja palvelut. Kuvaa IED-laitteen eri toiminnallisuuden mahdollisuuksia. Tiedosto luodaan ICT työkalulla.
SCD	Substation Configuration Description	Sisältää aseman kaikki konfiguroidut IED:t ja kommunikointi konfiguraation, eli sisältää kaikki IEC61850 -standardiin liittyvät osat.
CID	Configured IED Description	Sisältää osan SCD tiedostosta, eli sisältää yhden IED:n osalta kaiken konfiguroidun tiedon.
IID	Instantied IED Description	Kuvaa yhden esikonfiguroidun IED-laitteen jollekin tietylle projektille.
SED	System Exchange Description	Tiedostoa käytetään eri projektien väliseen tiedon vaihtoon.

ICT (IED Configuration Tool) ohjelma on laitevalmistaja kohtainen ohjelmisto, jolla ohjelmoidaan IED-laitteiden datamallit. Työkalulla saadaan aikaan IED kohtainen .ICD muotoinen tiedosto. SCT (System Configuration Tool) ohjelmistolla luodaan IED-laitteiden välinen kommunikoinnin osoitteisto ja dataliikenne. Ohjelmisto ei ole riippuvainen IED-laitteesta. Ohjelmistolla tuotetaan koko asemaa koskevia konfigurointi tiedostoja. SST (System Specification Tool) ohjelmistolla tuotetaan tiedostoja, joilla voidaan esittää sähköaseman rakenne yksiviivaesityksenä. (Söderbacka 2013, 28.)

2.3 Konfigurointi prosessi

Sähköasema-automaatiota konfiguroitaessa eri ohjelmointi ohjelmistojen välillä vaihdetaan eri SCL tiedostoja. Ohjelmat eivät muokkaa niihin tuotuja tiedostoja, vaan käyttävät niiden tietoja uusien tiedostotyyppien muodostamiseen. (Söderbacka 2013, 30.) Ohjelmointiprosessia on kuvattu kuviossa 8.



Kuvio 8. Konfigurointi prosessi (Carvalheira & Klien 2019, 1)

Konfigurointi prosessi aloitetaan ICT-ohjelmalla (IED Configuration Tool). Ohjelmaan tuodaan IED-laitteelta ICD-tiedosto tai ohjelmalla luodaan uusi ICD-tiedosto. Ohjelmalla määritetään IED-

laitteelle logiikka ja laukaisutiedot, IED-laitteen HMI-näyttö, sisäiset määrytykset ja IEC 61850 riippumattomat parametrit. (Söderbacka 2013, 31.)

ICT-ohjelmasta ICD-tiedosto tuodaan SCT-ohjelmalle (Substation Configuration Tool). SCT-ohjelmaan tuodaan myös SST-ohjelmalla (System Specification Tool) luotu SSD-tiedosto, jossa on kuvattu sähköaseman rakenne yksiviivaesityksenä. SCT-ohjelmalla konfiguroidaan GOOSE-protokollan mukaiset kommunikointiyhteydet IED-laitteiden välillä. Ohjelmalla luotu SCD-tiedosto sisältää kaikki aseman konfiguroidut IED-laitteet ja kaikki kommunikointi konfiguraatiot laitteiden välillä. (Söderbacka 2013, 31.)

Tämän jälkeen SCD-tiedosto vietään takaisin ICT-ohjelmaan. ICT-ohjelma purkaa SCD-tiedostosta jokaiselle IED-laitteelle oman CID-tiedoston, joka sisältää IED kohtaisen täydellisen konfiguraation. CID-tiedosto ladataan IED-laitteeseen, jolloin IED on konfiguroitu toimivaksi osana automaatiojärjestelmää. (Söderbacka 2013, 31.)

Koska SCD-tiedosto sisältää täydellisen kuvauksen sähköaseman automaatiojärjestelmästä, käytetään sitä dokumentoinnin ja konfiguroinnin lisäksi myös eri testausohjelmistoissa. Vaikka standardi määrittelee selkeän konseptin konfiguroinnille, se ei kuitenkaan määrittele SCD-tiedoston vähimmäisisältöä. Esimerkiksi aseman topologia tieto on vapaaehtoinen. Onkin selvää, että testausohjelmien tehokkuus riippuu valittujen IED-laitteiden kyvystä ja SCD-tiedoston sisältämästä informaatiosta. (Carvalheira & Klien 2019, 3.)

2.4 Konfiguroinnissa huomioitavia seikkoja testauksen kannalta

Jo sähköasema-automaation suunnittelu vaiheessa tulisi huomioida, kuinka automaatiojärjestelmää testataan sen elinkaaren aikana. Edellisen kappaleen perusteella voidaan todeta, että SCD-tiedosto on tärkeässä roolissa testausohjelmien kannalta. Tämän vuoksi on hyvä ymmärtää SCD-tiedoston ja IED-laitteiden vähimmäisvaatimukset testauksen optimoimiseksi. (Carvalheira & Klien 2019, 3.)

2.4.1 IED-laitteen vaatimukset

Käytössä olevan sähköaseman testaaminen vaatii yleensä varotoimenpiteenä testattavan IED-laitteen toiminnan estämisen jollain tasolla. Toiminnan estämisellä voidaan välttyä tahattomilta katkaisijan laukaisukäskyiltä tai tahattomilta signaaleilta muille IED-laitteille. IEC-61850 standardin editio 2 tarjoaa tähän kaksi vaihtoehtoa. (Carvalho & Klien 2019, 3.)

Ensimmäinen vaihtoehto on käyttää dataobjektia Mode ja laittaa IED testitilaan. Usein valmistajat käyttävät vain yhtä Mode dataobjektia, jolla koko IED saadaan testitilaan. Dataobjektin mahdolliset tilat ovat: on, blocked, test, test/blocked ja off. Toinen vaihtoehto on käyttää simulointi liputusta GOOSE- ja SV-protokollissa. Tässä dataobjekti LPHD.Sim toimii eräänlaisena kytkimenä, joka välittää todelliset viestit muilta järjestelmän IED-laitteilta ja simuloitua viestit testilaitteelta. (Carvalho & Klien 2019, 3.)

GOOSE- ja SV-protokollien mukaisten viestien varmistamiseen on omat loogiset solmut. Koska viestintä perustuu multicast-periaatteelle, eli julkaisija/tilaaja mallille, on julkaistut viestit helppo havaita väylästä. Tilatut viestit sen sijaan olisi hankala havaita ilman IEC 61850-7-4 standardin määrittelemiä LGOS (Logical Node for GOOSE Subscription) ja LSVS (Logical Node for Sampled Values Subscription) loogisia solmuja. Näiden loogisten solmujen avulla testausohjelmat voivat varmistaa automaattisesti client/server-yhteyden kautta viestien vastaanoton. Testausohjelmat pysyvät myös havaitsemaan, jos julkaisija/tilaaja konfiguroinnissa on virheitä. LGOS ja LSVS loogiset solmut tulisivat olla mukana jokaisessa tilatussa GOOSE- ja SV-viestissä. (Carvalho & Klien 2019, 3.)

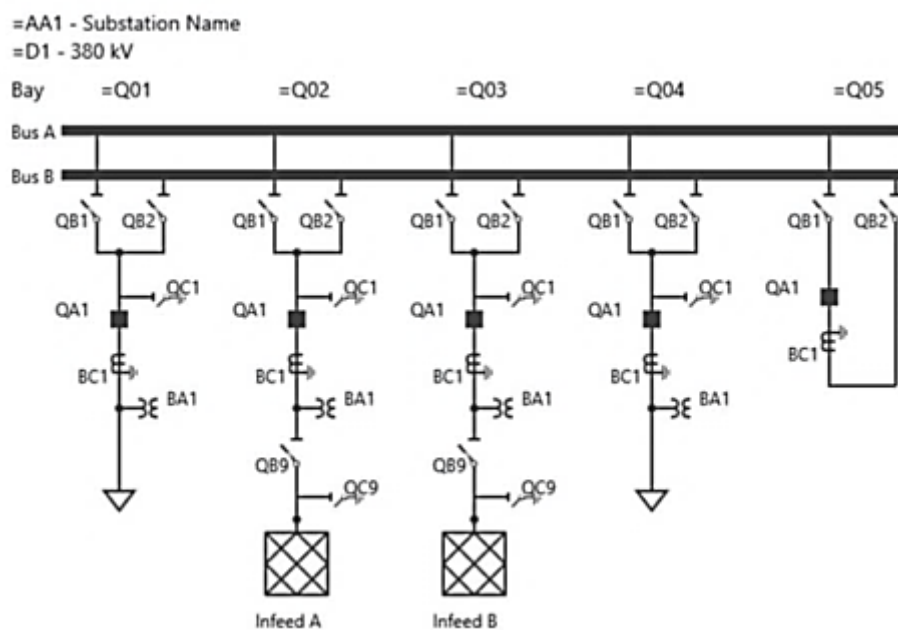
Raportit on client/server-periaatteella toimiva palvelu, joka siirtää tapahtumalistauksen IED-laitteelta esimerkiksi SCADA-järjestelmään. Palvelu käyttää tiedonsiirtoon MMS-protokollaa. IED-laitteen datamalli sisältää raporttien hallintalohkon, jonka vapaaehtoiseen attribuuttiin "owner" voidaan määrittellä raportin vastaanottaja. Tämän attribuutin perusteella testausohjelmat voivat päätellä, ovatko konfiguroidut client/server-yhteydet aktiivisia. (Carvalho & Klien 2019, 3.)

Raportit määrittelevät datasettien avulla, mitkä kaikki signaalit raporttiin liitetään. Datasettejä voidaan luoda staattisesti tai dynaamisesti. Dynaamiset datasetit luodaan vastaanottajan esimerkiksi

SCADA:n määrittelemänä. Staattiset datasetit määritellään SCT-ohjelman avulla, jolloin vastaanottaja ei pääse niitä muuttamaan. Staattiset datasetit on kuvattu SCD-tiedostossa, jolloin niitä voidaan hyödyntää niin dokumentoinnissa kuin testauksessakin. (Carvalheira & Klien 2019, 3.)

2.4.2 SCD-tiedoston vaatimukset

SCD-tiedostossa sähköaseman topologia tieto on vapaaehtoinen. Mikäli osio kuitenkin konfiguroidaan kunnolla, osaavat testausohjelmistot näyttää IED-laitteet ja muut toimilaitteet oikeassa ja loogisessa paikassa. Kuviossa 9 on esimerkkinä käytettävän aseman yksiviivaesitys. (Carvalheira & Klien 2019, 4.)



Kuvio 9. Esimerkkiaseman yksiviivaesitys (Carvalheira & Klien 2019, 2)

Aseman SCD-tiedostossa, josta kuviossa 10 on aseman osio SCL-kielellä, nähdään aseman hierarkkinen järjestys <Substation>, <Voltage level>, <Bay>, ja <Equipment>. Tiedot konfiguroidaan käyttäen konfigurointiohjelmien graafisia käyttöliittymiä. Tässä esimerkkinä SCD-tiedoston osio SCL-tekstimuodossa. (Carvalheira & Klien 2019, 4.)

```

<Substation desc="Munich" name="AA1" sxy:x="1" sxy:y="5">
  <PowerTransformer name="TA1" sxy:y="9" type="PTR">
  <PowerTransformer name="TA2" sxy:x="15" sxy:y="9" type="PTR">
  <VoltageLevel name="D1">
    <Voltage multiplier="k" unit="V">380</Voltage>
    <Bay desc="TF1" name="Q01" sxy:x="1" sxy:y="2">
      <LNode iedName="AA1D1Q01Q1" ldInst="C1Q01F1" lnClass="PDIS" lnI
      <LNode iedName="AA1D1Q01Q1" ldInst="C1Q01F1" lnClass="PTOC" lnI
      <LNode iedName="AA1D1Q01Q2" ldInst="T3S1S1" lnClass="ATCC" lnIn
      <LNode iedName="AA1D1Q01Q2" ldInst="T3T1P1" lnClass="YLTC" lnIn
      <LNode iedName="AA1D1Q01Q2" ldInst="T3T1P1" lnClass="YPTR" lnIn
      <LNode iedName="AA1D1Q01Q1" ldInst="C1Q01F1" lnClass="PTRC" lnI
      <LNode iedName="AA1D1Q01Q1" ldInst="C1Q01F1" lnClass="RBRF" lnI
      <LNode lnClass="MXU" lnInst="1"/>
    <ConductingEquipment name="BC1" sxy:y="4" type="CTR">
    <ConductingEquipment name="QA1" sxy:y="5" type="CBR">
      <LNode iedName="AA1D1Q01Q1" ldInst="C1Q02QA1" lnClass="CILO"
      <LNode iedName="AA1D1Q01Q1" ldInst="C1Q02QA1" lnClass="XCBB"
      <LNode iedName="AA1D1Q01Q1" ldInst="C1Q02QA1" lnClass="CSWI"
      <Terminal bayName="Q01" cNodeName="L11" name="L11" substation
      <Terminal bayName="Q01" cNodeName="L12" name="L12" substation
    </ConductingEquipment>

```

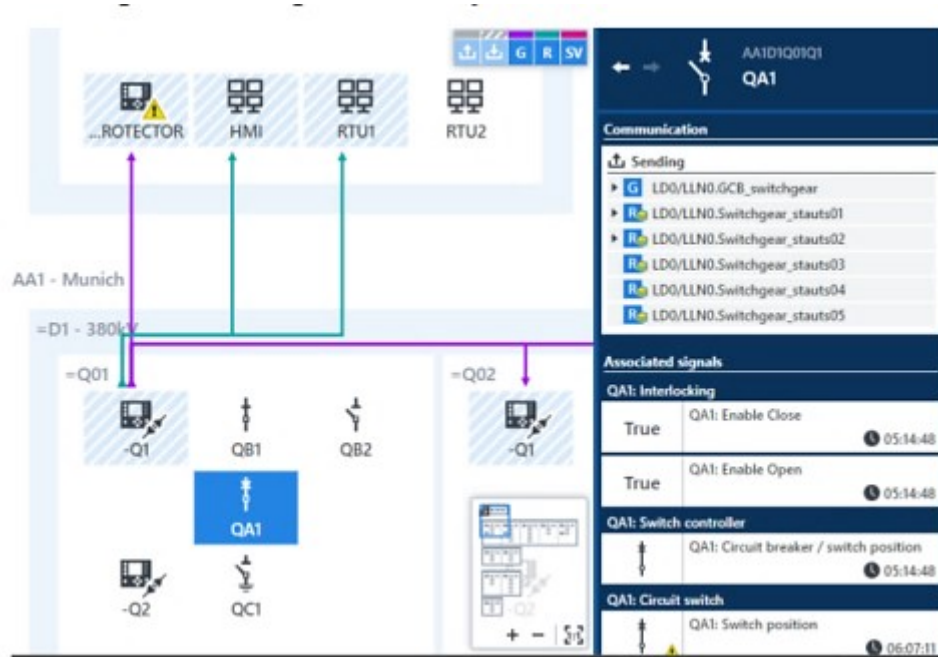
Kuvio 10. Asema osuus SCD-tiedostosta SCL-kielillä (Carvalho & Klien 2019, 4)

Hierarkiatietojen avulla testausohjelmisto osaa ryhmitellä IED-laitteet, katkaisijat ja erottimet omiin ryhmiinsä, kuten kuvioista 11 nähdään. Vaikka kaikki yksiviivaesityksen tiedot eivät näy testausohjelman näkymässä, on tieto kuitenkin tarpeeksi, jotta asema voidaan esittää ymmärrettävästi. (Carvalho & Klien 2019, 4.)



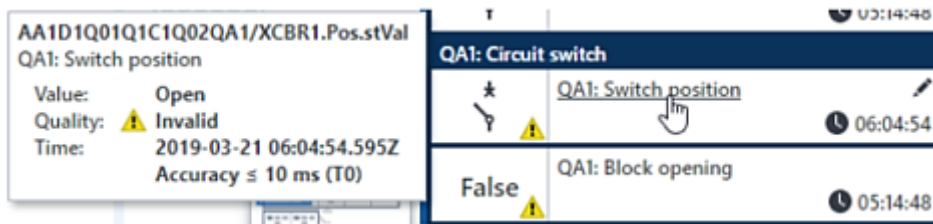
Kuvio 11. Esimerkkiaseman näkymä testausohjelmassa (Carvalheira & Klien 2019, 4)

Asema topologian lisäksi myös katkaisijat ja erottimet tulisi yhdistää IED-laitteen loogisiin solmuihin. Yhdistäminen tehdään SCD-tiedoston asema osiossa <Lnode> referenssin avulla. Kuviossa 10 on nähtävissä, miten katkaisijan QA1 kennossa Q01, on yhdistetty IED-laitteen AA1D1Q0Q1 loogisiin solmuihin XCBR, CSWI ja CILO. Testausohjelmisto pystyy nyt näyttämään katkaisijaan QA1 liittyvät signaalit, kuten kuviosta 12 nähdään. Testausohjelma pystyy myös erottelemaan GOOSE-signaalit raporteista ja esittää ne eri väreinä. (Carvalheira & Klien 2019, 4.)



Kuvio 12. Katkaisijan signaalit (Carvalheira & Klien 2019, 4)

Jos dataobjekteilla on käytössä desc- attribuutti (description), voidaan dataobjektille antaa käyttäjän valitsema nimi. Tästä esimerkkinä kuvio 13, jossa katkaisijan asentotieto signaali on esitetty katkaisijan tunnuksella, kun taas yksityiskohtaisessa tietokentässä on näkyvissä loogisen solmun koko nimi. Käyttämällä desc-attribuutteja, testausohjelman näkymä pysyy selkeästi tulkittavana. (Carvalheira & Klien 2019, 4.)



Kuvio 13. Signaalin nimeäminen (Carvalheira & Klien 2019, 4)

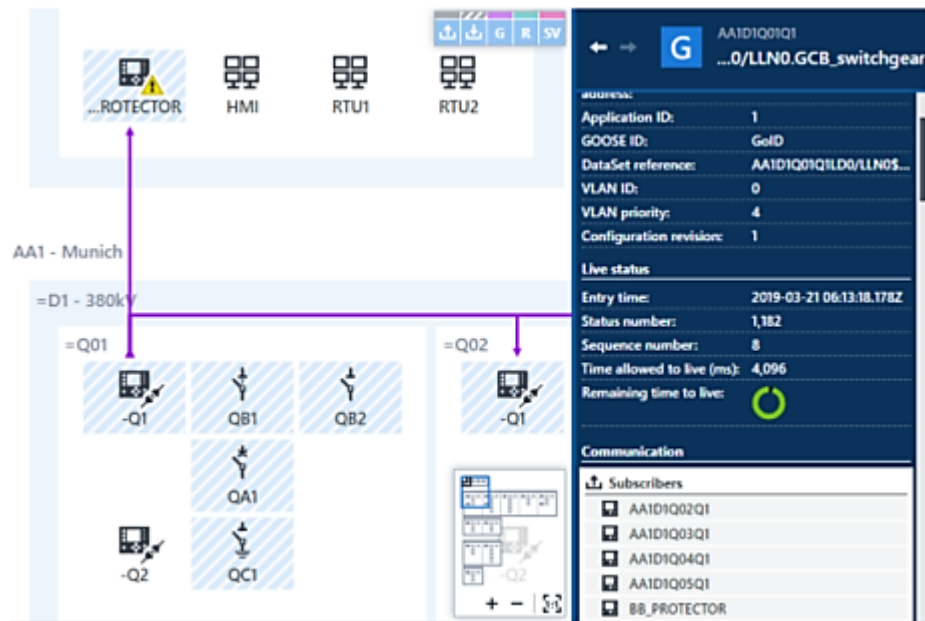
GOOSE konfiguroinnille SCL-kieli antaa muitakin mahdollisuuksia kuin edellisessä kappaleessa kuvattu LGOS looginen solmu. GOOSE viestien tilaajat voidaan määrittää myös käyttämällä SCL-kielen IED osiossa GOOSE hallinta lohkon <GSEControl> alla elementtiä <IEDName>. Toinen vaihtoehto on käyttää <Inputs><ExtRef type="GOOSE"> elementtejä. Kuviossa 14 on esitetty IED-laitteen AA1D1Q01Q1 GOOSE viestien tilaajat. (Carvalheira & Klien 2019, 5).

```
<GSEControl name="GCB_switchgear" type="GOOSE" dataSet='
  <IEDName>BB_PROTECTOR</IEDName>
  <IEDName>AA1D1Q02Q1</IEDName>
  <IEDName>AA1D1Q03Q1</IEDName>
  <IEDName>AA1D1Q04Q1</IEDName>
  <IEDName>AA1D1Q05Q1</IEDName>
</GSEControl>
```

Kuvio 14. GOOSE tilaajat (Carvalheira & Klien 2019, 5)

Kun GOOSE viestien tilaajat on määriteltä jollain edellä mainituista tavoista, pystyy testausohjelmisto näyttämään GOOSE viestit helposti ymmärrettävällä tavalla, kuten kuviossa 15 nähdään. Li-

säksi SCD-tiedoston GOOSE konfiguraatioon tulisi lisätä vapaaehtoiset attribuutit minTime ja maxTime. Kyseiset attribuutit määrittelevät minimi ja maksimi ajat GOOSE viestien uudelleenjulkaisuille. (Carvalheira & Klien 2019, 5.)



Kuvio 15. GOOSE viestit testausohjelmassa (Carvalheira & Klien 2019, 5)

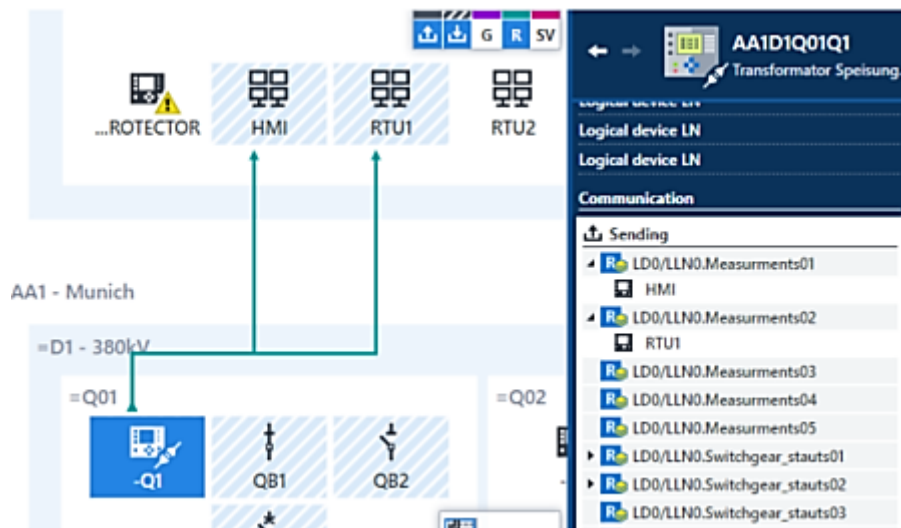
GOOSE viestien lisäksi myös raportit SCADA järjestelmään voidaan kuvata SCD-tiedostossa. Raporttien hallinta lohossa, raportit tulisi määrittää käyttäen <ReportControl> ja <ClientLN> elementtejä. Tämä on esitetty kuviossa 16. Tämän vuoksi testausohjelma osaa esittää raporttien reitit yksinkertaisesti kuvion 17 mukaan. (Carvalheira & Klien 2019, 5.)

```

<ReportControl name="Measurments" buffered="true" bufTime="100" dat
  <TrgOps dchg="true" qchg="true" dupd="true" period="true" gi=
  <OptFields seqNum="true" timeStamp="true" dataSet="true" reas
  <RptEnabled max="5">
  <ClientLN iedName="HMI" ldInst="none" lnInst="1" lnClass="IHMI"/>
  <ClientLN iedName="RTU1" ldInst="none" lnInst="1" lnClass="ITCI"/>
  </RptEnabled>
</ReportControl>

```

Kuvio 16. Raporttien määrittäminen (Carvalho & Klien 2019, 5)

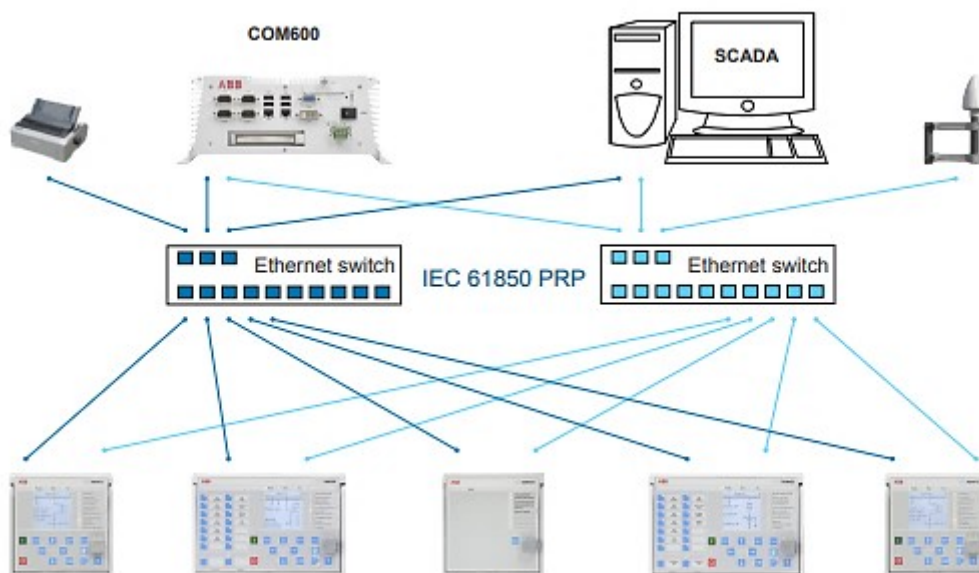


Kuvio 17. Raporttien näkymä testausohjelmassa (Carvalho & Klien 2019, 5)

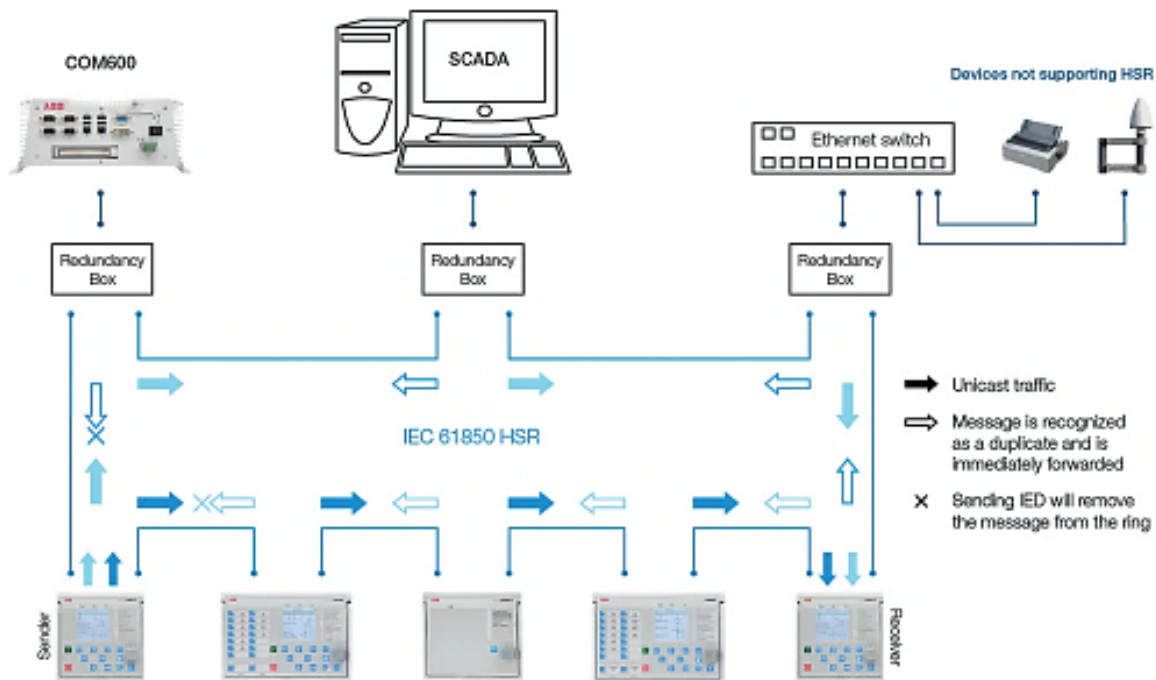
2.4.3 Kommunikointiväylän vaatimukset

Suunniteltaessa sähköaseman kommunikoinnin tietoliikenneverkkoa tulisi automaatiojärjestelmän testaus mahdollisuus ottaa huomioon. FAT testin aikana laitteita voidaan lisätä ja poistaa järjestelmästä suhteellisen helposti ja testaaminen onnistuu helpommin. Aseman käyttöönoton jälkeen testaus on huomattavasti vaikeampaa. Selkeät testaus menetelmät ja erilaiset testi skenaariot tulisi määrittellä jo suunnitteluvaiheessa. Tietoliikenneverkon tulisi tukea testausta ilman, että verkkoon kohdistuu tietoturva uhkia. (Carvalho & Klien 2019, 5.)

Verkon topologiaa suunniteltaessa tulisi suunnitella fyysiset liityntäpisteet testausta varten. Testauksia suorittavalla henkilöstöllä tulisi olla tiedossa mihin testauslaitteet voidaan kytkeä. Verkon kommunikoinnin valvontaa varten tulisi olla pääsy kaikkiin verkon osiin. Asemaverkko ja prosessiverkko täytyy olla täysin saatavilla, jotta verkon kaikki liikenne on tarkasteltavissa. Mikäli käytetään redundanttisia verkoja, joko kuvion 18 PRP (Parallel Redundancy Protocol) tai kuvion 19 HSR (High-availability Seamless Redundancy) mukaisesti, on harkittava RedBox (Redundant Box) laitteen käyttöä kytkettäessä testilaitteita asemaväylään. (Carvalho & Klien 2019, 5.)



Kuvio 18. PRP verkko (Technical manual REF 615 2018, 57)



Kuvio 19. HSR verkko (Technical manual REF 615 2018, 58)

Verkon mahdollista ylikuormitusta voidaan estää rajoittamalla tarpeetonta liikennettä verkossa. Rajoittamiseen voidaan käyttää esimerkiksi multicast- tai VLAN- suodatusta. Jos verkossa käytetään edellä mainittuja suodatuksia, on huomioitava, että testaus on edelleen mahdollista ilman konfiguraatio muutoksia verkon laitteisiin. Konfigurointi muutoksia testauksen vuoksi tulisi välttää. Esimerkiksi VLAN suodatusta käytettäessä on konfiguroitava testauslaitteille omat portit ja konfiguroitava ne asianmukaisesti. (Carvalho & Klien 2019, 5.)

3 StationScout testausohjelmisto

StationScout on Itävaltalaisen Omicron testilaittevalmistajan kehittämä sähköasema-automaation testausjärjestelmä. Testausjärjestelmä koostuu StationScout ohjelmistosta ja kuvion 20 testilaitteesta MBX1.



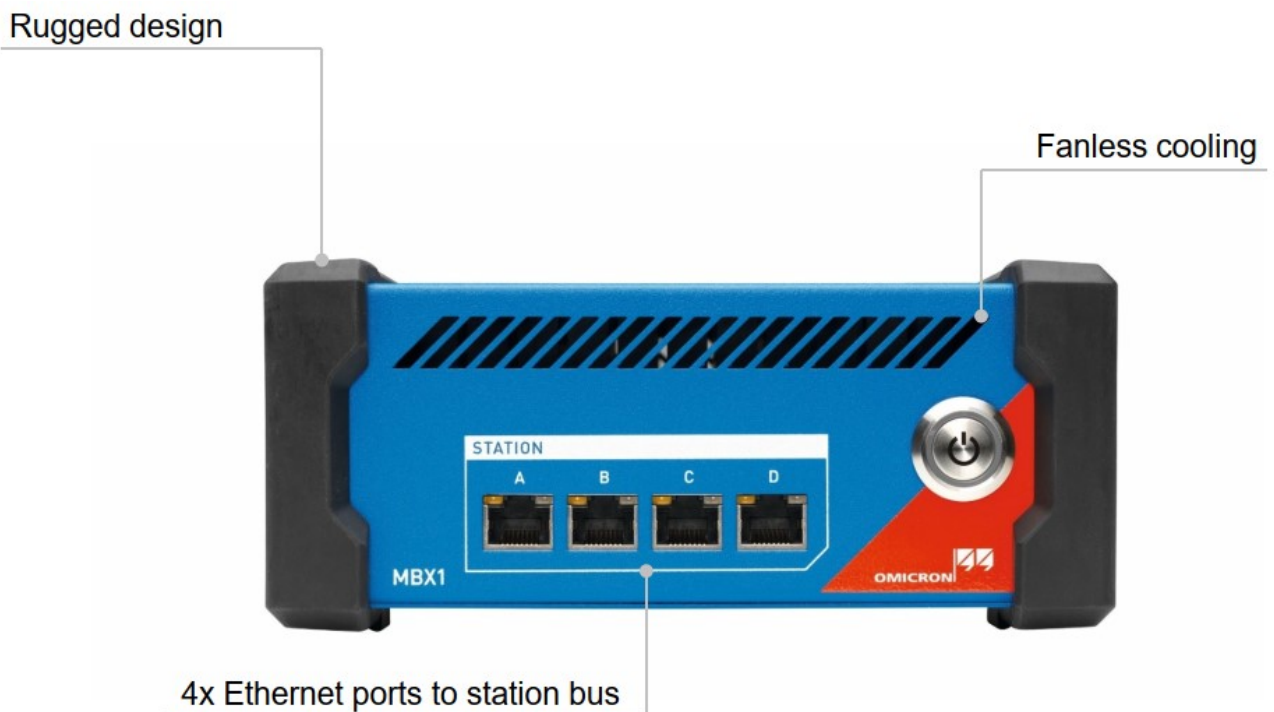
Kuvio 20. MBX1 (StationScout IEC 61850 substation automation system testing 2021, 6)

Testilaitteisto mahdollistaa tietoturvallisen liittymisen sähköaseman tietoliikenne verkkoon. Testilaitteen käyttöliittymästä voidaan nähdä selkeästi eri signaalit aseman laitteiden välillä. StationScout myös mahdollistaa IED-laitteiden simuloinnin, mikäli niitä fyysisesti puuttuu sähköasema-automaatiosta.

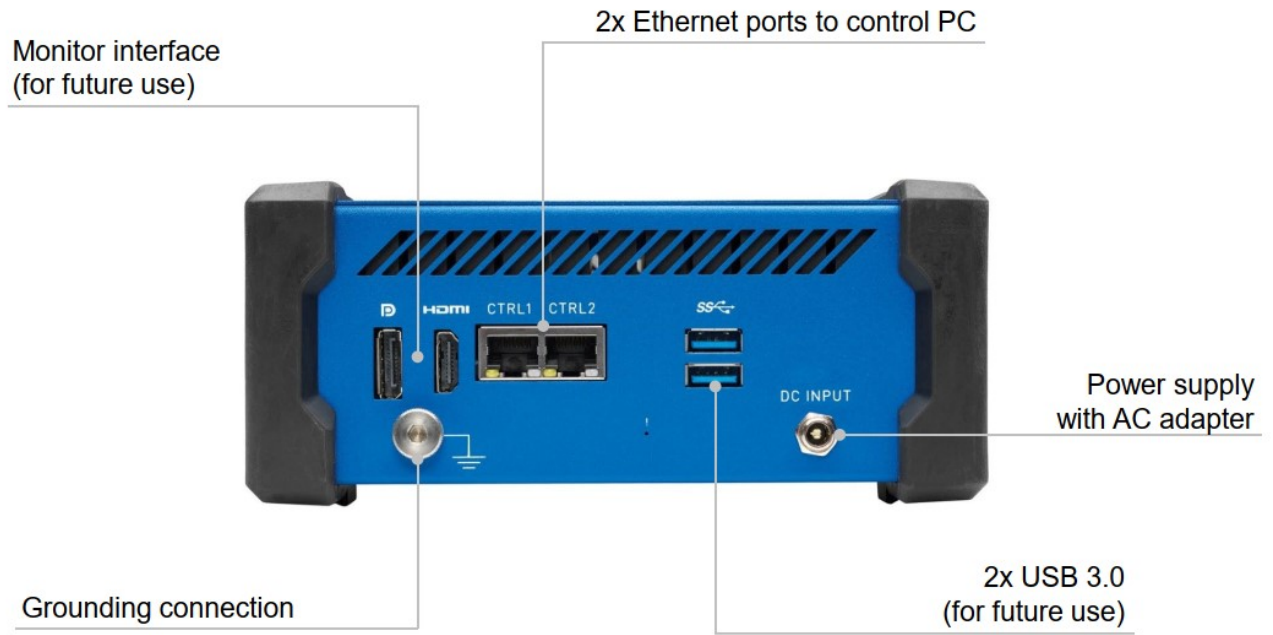
StationScout soveltuu käytettäväksi sähköasema-automaation koko elinkaaren ajan. Suunnittelu- vaiheessa voidaan koko asema visualisoida ja tarvittaessa simuloida puuttuvat laitteet tai koko asema. FAT ja SAT testien aikana voidaan simuloida puuttuvat IED-laitteet, SCADA ja RTU-laitteet,

jolloin voidaan suorittaa täysi testaus riippumatta puuttuvista laitteista. Käytön aikana IED-laitteet voidaan simuloida ja testata signaalit aiemmin luotuja testiohjelmia hyväksikäyttäen. (Omicron StationScout brochure.)

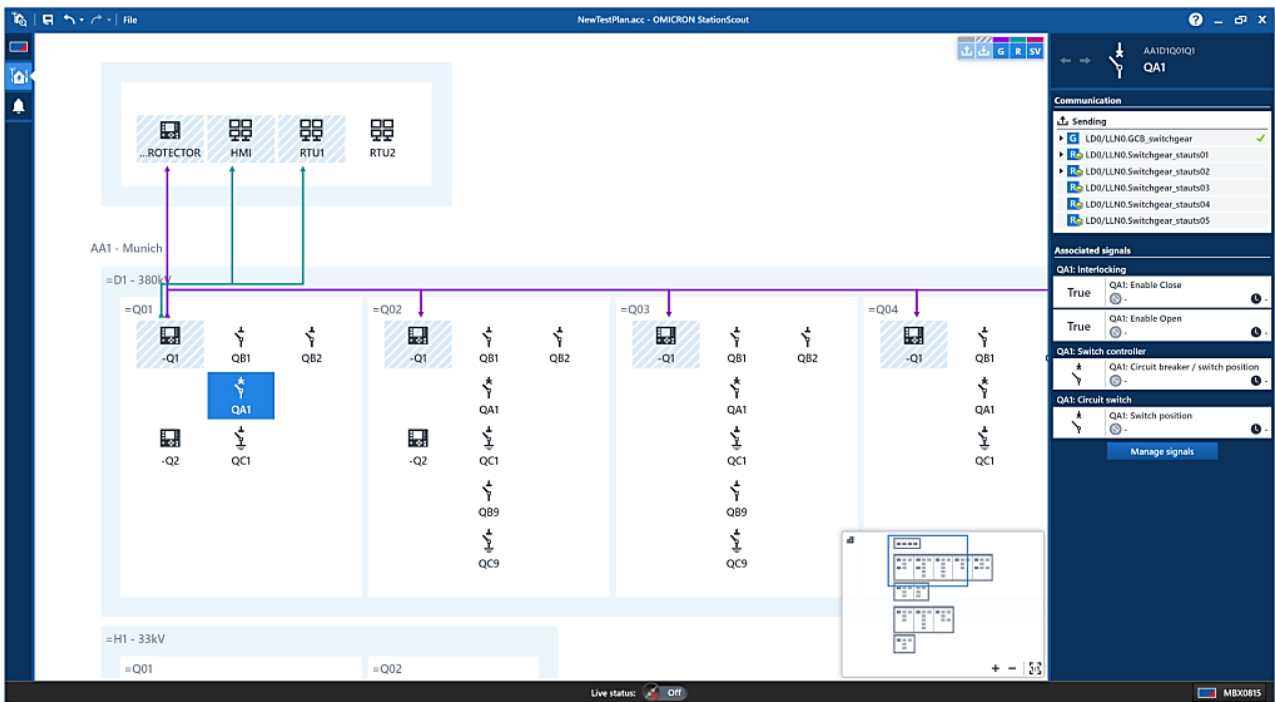
StationScout liitetään aseman väylään MBX1-laitteen etupuolelta löytyvien ethernet-porttien kautta. Laitteen takapuolella on ethernet-portit PC liityntää varten. Kuviossa 21 laitteen etupuoli ja kuviossa 22 laitteen takapuoli. MBX1-laitteeseen voidaan liittää neljä eri asemaväylää ja kaksi hallinta PC:tä. StationScoutin ohjelmiston näkymä avautuu kuvion 23 tyyliiseksi, kun laitteeseen on ladattu aseman SCD-tiedosto.



Kuvio 21. MBX1 etupuoli (StationScout IEC 61850 substation automation system testing 2021, 7)



Kuvio 22, MBX1 takapuoli (StationScout IEC 61850 substation automation system testing 2021, 8)



Kuvio 23. StationScout ohjelman näkymä (StationScout IEC 61850 substation automation system testing 2021, 9)

Kuviossa 23 on näkyvillä ohjelmiston näkymä SCD-tiedoston lataamisen jälkeen.

3.1 Tietoturva

StationScout ohjelmisto kytkeytyy sähköasema verkkoon MBX1 testilaitteen kautta. Ohjelmistoa käyttävä Windows-PC kytketään MBX1-laitteen control-porttiin. Asemaväylä taasen kytkeytyy laitteen station-porttiin. MBX1-testilaitte erottelee control- ja station-portit toisistaan. Laite ei välitä dataa näiden porttien välillä. Käyttöliittymän toiminnot mukaan lukien kaikki muut toiminnallisuudet toteutetaan MBX1 laitteen ohjelmiston kautta. Windows-PC ainoastaan visualisoi StationScoutin näkymän. Tietoliikenne MBX1-laitteen ja Windows_PC:n välillä on todennettu ja salattu TLS 1.3 protokollan avulla. StationScout myös hyväksyy kytkennän laitteisiin vain, jos niistä löytyy MBX1 turvallisuussertifikaatti. MBX1-laiteella voidaan erottaa Windows-PC:n käyttöjärjestelmä ja protokollat asemaväylästä täysin. (Cybersecure features of the MBX1 platform.)

4 Sähköasema-automaation koestus

StationScout testausjärjestelmää kokeiltiin kahdella eri Alva Sähköverkon sähköasemalla testamalla asemien automaatiojärjestelmiä. Testauksessa käytettiin varakennoa, jonka IED-laitetta hyödynnettiin testauksen aikana. Kennon IED myös poistettiin aseman automaatio väylästä ja simuloitiin käyttäen StationScouttia.

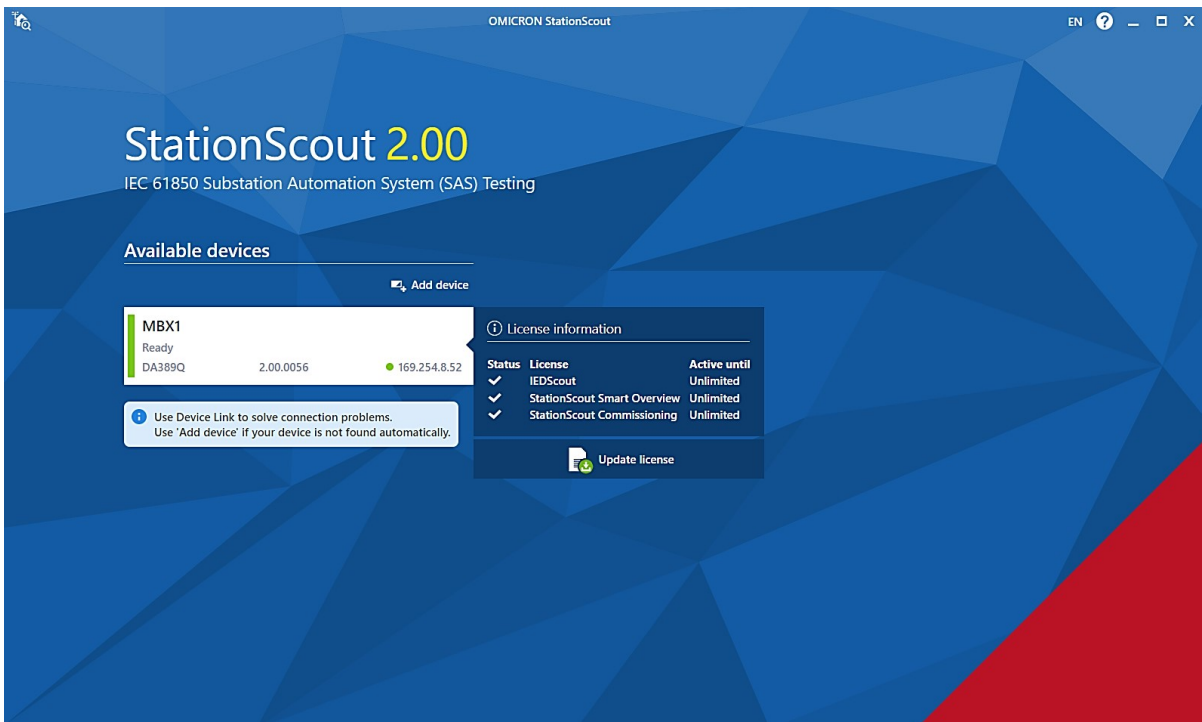
4.1 Asettelut ja valikkonäkymät

Tässä luvussa esitellään MBX1-laitteen kytkentä asemien verkkoon ja ohjelmiston asettelut käyttöä varten. Luvussa myös tarkastellaan asemien näkymää StationScout-ohjelmassa ja löydettyjä vikoja asemien IEC 61850 konfiguroinnissa.

Asema 1

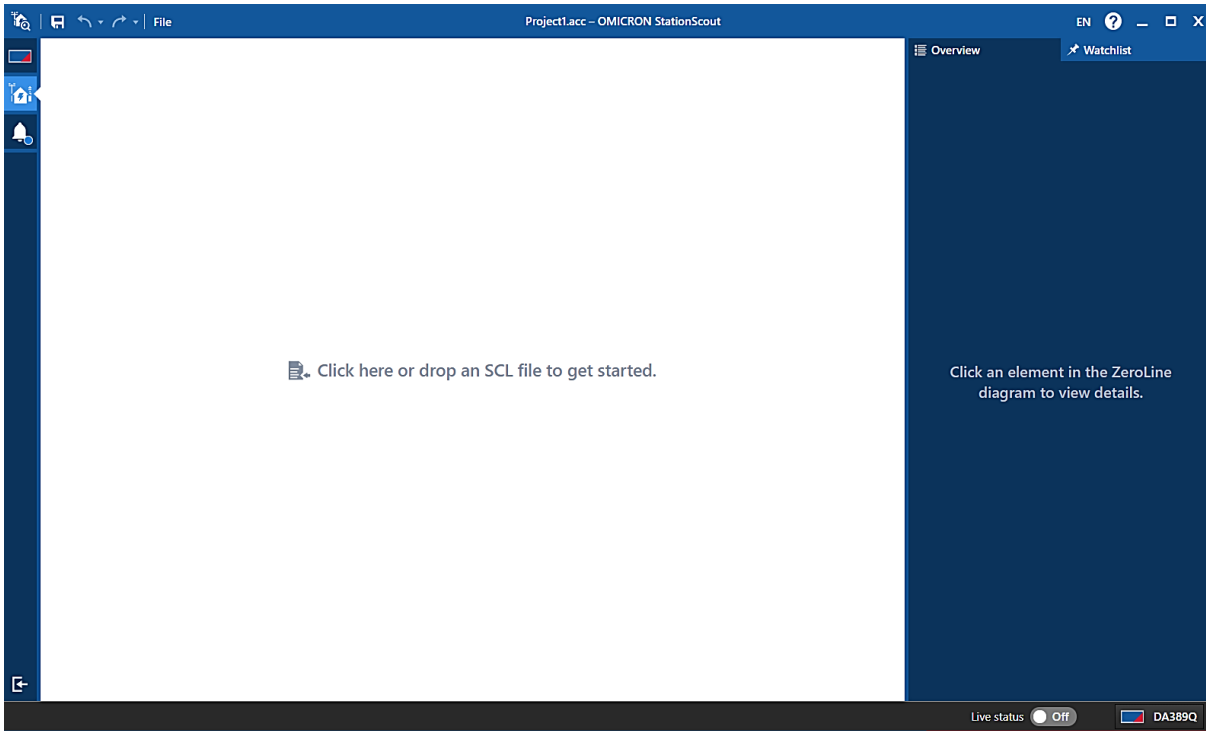
MBX1-laitteen fyysinen kytkentä sähköaseman verkkoon tehtiin kappaleessa 3 kuvatulla tavalla. Aseman SCD-tiedosto saatiin PCM600 ohjelman kautta. Ennen tiedoston luontia kaikkien releiden tiedot luettiin PCM600 ohjelmalla. Samalla tarkastettiin, että kaikkien releiden kommunikointiportiksi oli määritelty LAN-portti releen etupaneelin portin sijaan.

StationScout ohjelma avautuu kuvion 24 mukaiseen ruutuun, josta valitaan käytettävä laite.



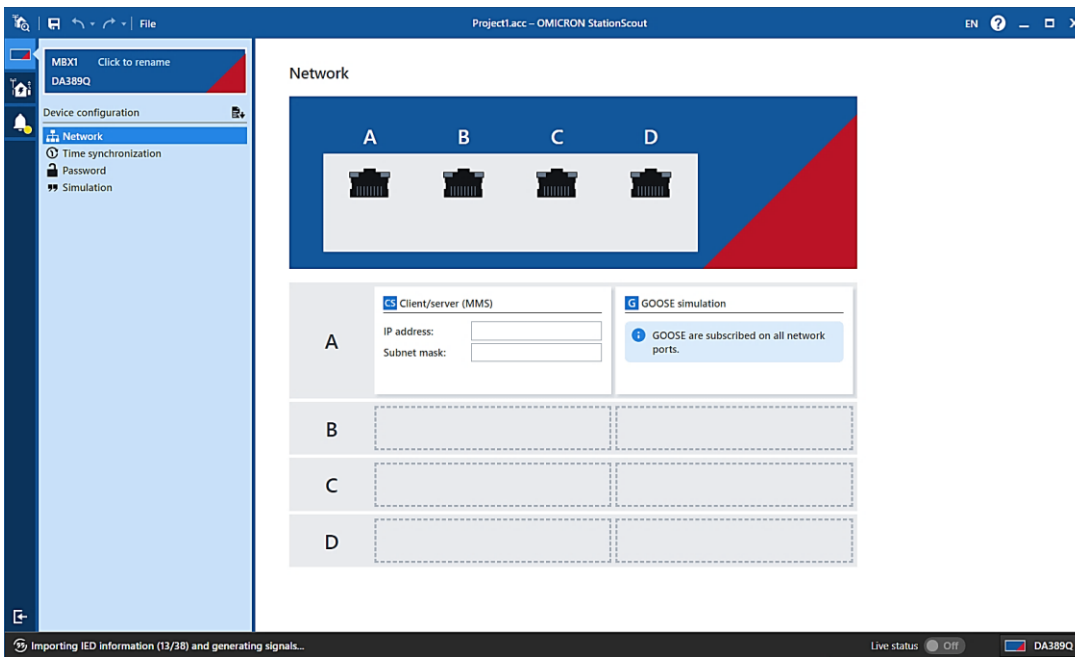
Kuvio 24. StationScout aloitusruutu

Käytettävän laitteen jälkeen ohjelma avautuu kuvion 25 mukaiseen näkymään. Tähän ruutuun voi vetää ja pudottaa aseman SCD-tiedoston, jota halutaan tarkastella.



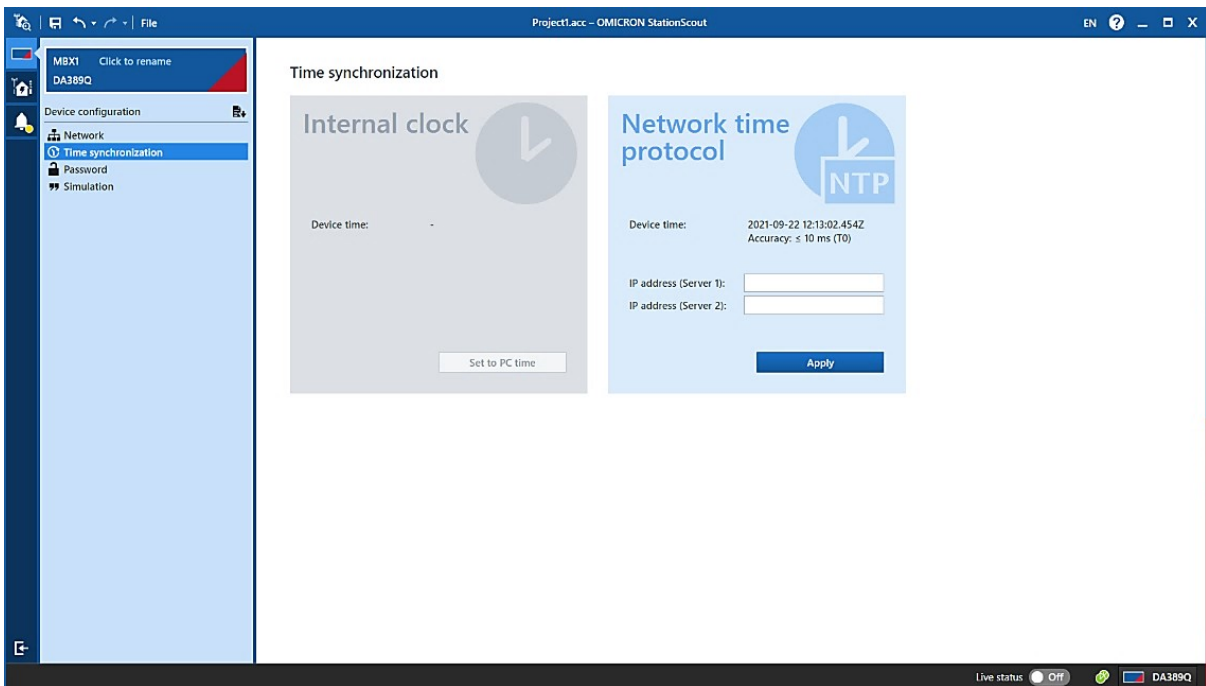
Kuvio 25. StationScout aloitusruutu 2

SCD-tiedoston lataamisen jälkeen, on määriteltävä yhteysasettelut ja aikasykronointipalvelu. Määritykset on tehtävä, jos halutaan tarkastella aseman signaaleja reaaliaikaisesti. Kuvioissa 26 ja 27 on näkyvissä kyseiset asettelu ikkunat.



Kuvio 26. Yhteysasettelut

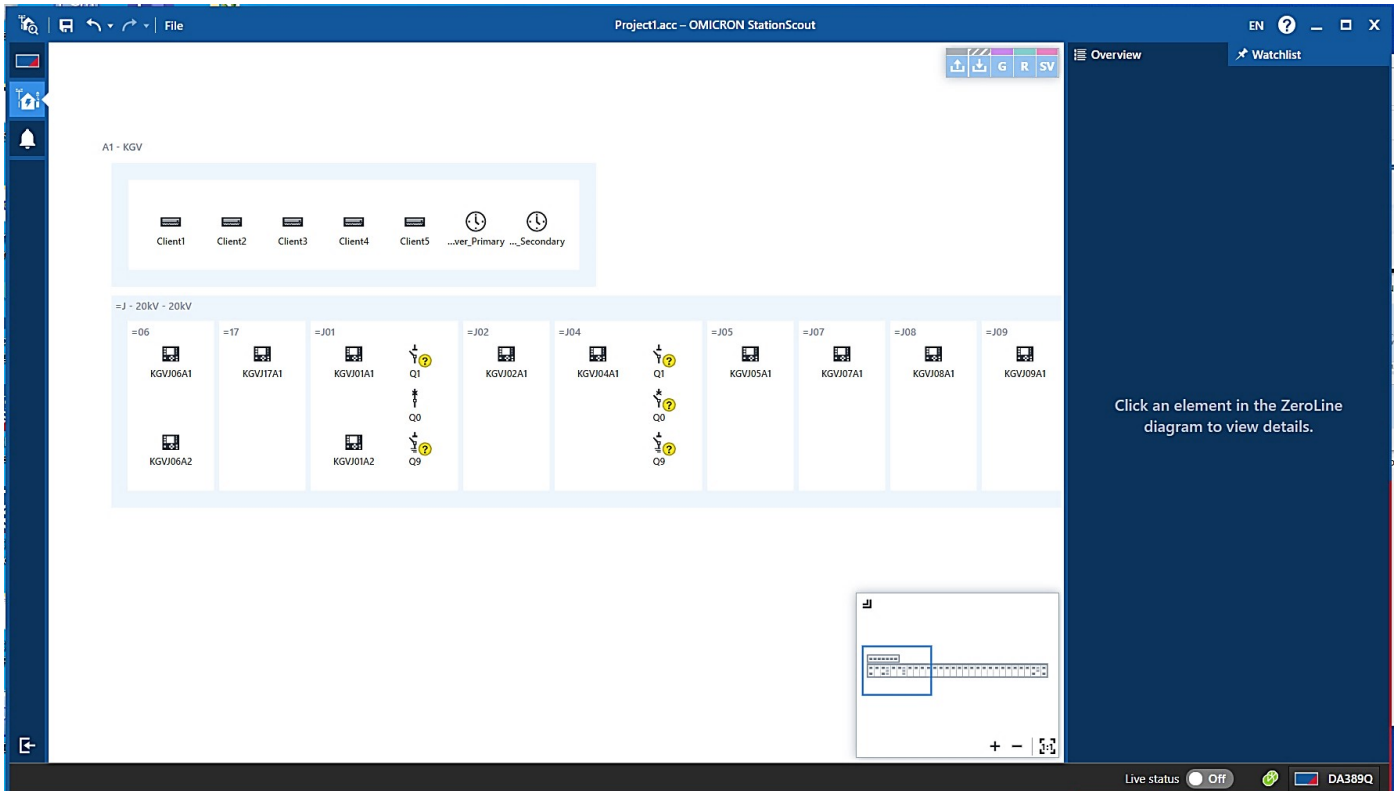
Yhteysasetteluissa valitaan ensin portti, jonka asetuksia määritellään. Portin asetteluihin tulee IP-osoitteeksi jokin vapaana oleva IP-osoite aseman verkon osoitteistosta. Myös aliverkon peite on sama kuin asemalla käytössä oleva.



Kuvio 27. Aikapalvelin asetukset

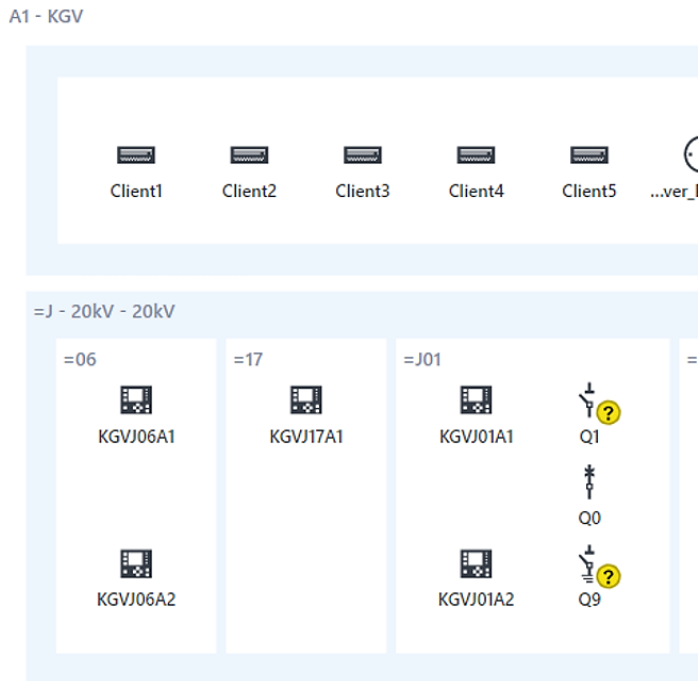
Koska GOOSE viestit ovat aika kriittisiä, tulee MBX1-laitteen aikapalvelin määrittä samaksi kuin aseman IED-laitteiden käyttämä aikapalvelin.

Asetteluojen ja SCD-tiedoston latauksen jälkeen ohjelmaan avautuu aseman zeroline-näkymä, joka nähdään kuviossa 28.



Kuvio 28. Aseman 1 zeroline

Kuviossa 28 nähdään aseman releet ja kytkinlaitteet omiin kennoihinsa jaoteltuna. Aseman ja kennojen nimet ovat myös näkyvissä, mikäli ne on oikein määritelty. Kuviossa 29 nähdään aseman 1 osalta virheitä nimeämisissä ja kytkinlaitteiden määrittelyssä. Nimeämisten osalta virheet johtuvat pääosin huolimattomuus virheistä IED-laitteiden konfiguroinnissa ICT-työkalulla. Kytkinlaitteiden määrittelyt tehdään SCT-työkalulla. Kyseiset topologia määrittelyt eivät kuitenkaan ole pakollisia. Kennon kytkinlaitteiden ohjaus- ja lukitussignaalit toimivat mutta testausohjelmisto ei osaa näyttää kytkinlaitteita osana zeroline-näkymää. Signaalien toiminnan testaaminen on näin ollen hankalampaa.



Kuvio 29. Aseman 1 kennojen nimeäminen

Kuviossa 29 on nähtävissä, että aseman ja kytkinhallin nimeämistä ei ole tehty oikein. Asemalle on annettu nimeksi A1, kun parempi nimi olisi esimerkiksi Asema 1. Kytkinhallin nimeksi on tässä annettu =J. Parempi nimeämistapa olisi esimerkiksi =Kytkinhalli 1. Kennot tulisi esittää loogisessa järjestyksessä alkaen kennosta J01. Tässä konfiguraatiossa kennot alkavat kuitenkin kennosta J06, joka on virheellisesti nimetty pelkästään 06. Sama koskee myös kennoa J17. Kyseiset virheet johtuvat aseman ja kennojen nimen ja description attribuuttien virheistä. Kytkinhallin osalta tämä voidaan nähdä kuvion 30 esittämässä SCD-tiedoston SCL-kielisessä esityksessä.

```

<Substation name="A1" desc="KGV">
  <Private type="ABBPCMInternalObjRef">90d43798-5c01
  <VoltageLevel name="J" desc="20kV">
    <Private type="ABBPCMInternalObjRef">8d101ab0-
    <Voltage unit="V" multiplier="k">20</Voltage>
    <Bay name="J28" desc="J28">
      <Private type="ABBPCMInternalObjRef">d4840
      <LNode iedName="KGVJ28A1" ldInst="LD0" lnC
    </Bay>

```

Kuvio 30. Aseman 1 nimeämiset SCL-kielellä

Samanlainen virhe voidaan nähdä myös kennojen J06 ja J17 osalta. Kennoissa pitäisi myös näkyä erottimia 2 kpl, katkaisija ja maadoituserotin. Useiden kennojen kohdalla näitä ei kuitenkaan tule näkyviin. Kennon J01 kohdalla näkyy vain osa toimilaitteista. Tämä johtuu myös määrittely virheestä SCD-tiedostossa. Tiedostoon ei ole liitetty kennoon kuuluvaksi kytkinlaitteita. Kenossa J01 näkyvät kytkinlaitteet on liitetty osaksi kennoa.

```

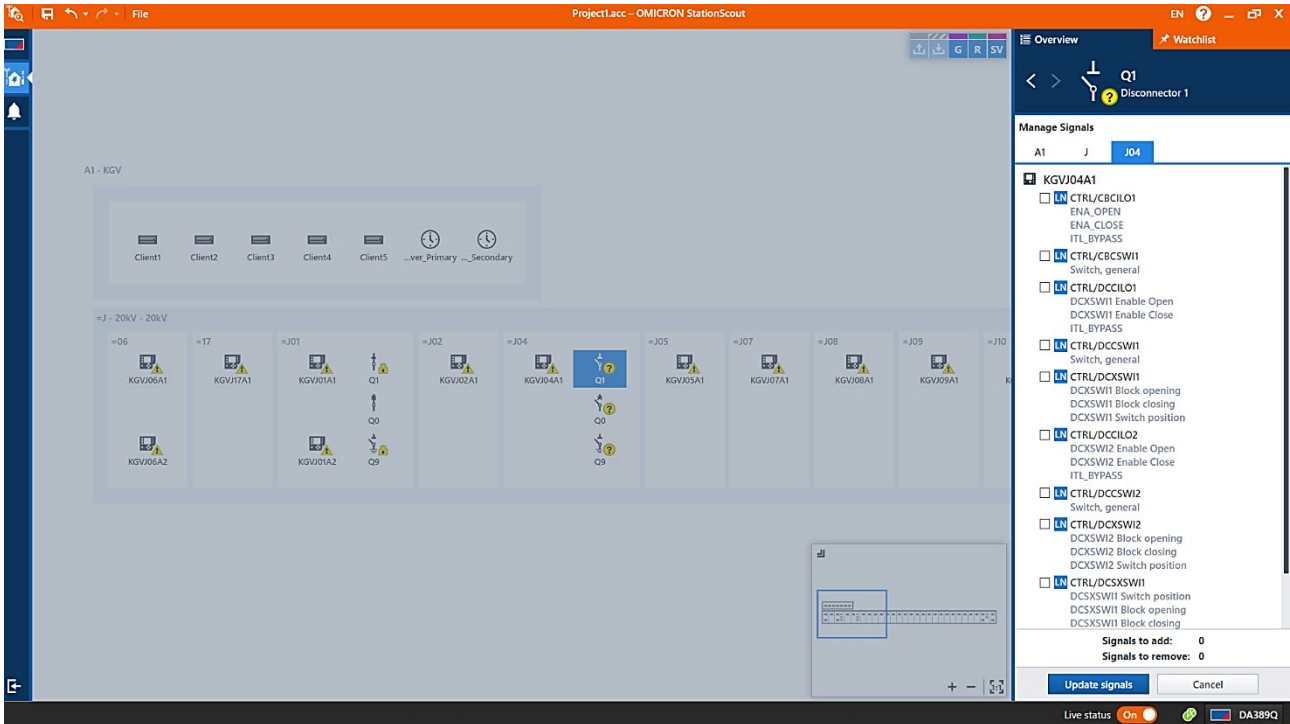
<Bay name="J01" desc="J01">
  <ConductingEquipment name="Q0" desc="Breaker 1" type="CBR" sxy:x="780" sxy:y="2220">
    <Private type="ABB SLD">
      <esld:Coord x="780" y="2220" />
    </Private>
    <Terminal name="T_ConnectivityNode_8" connectivityNode="A1/J/J01/ConnectivityNode_8" substationName="A1" voltageLevelName="
    <Terminal name="T_ConnectivityNode_7" connectivityNode="A1/J/J01/ConnectivityNode_7" substationName="A1" voltageLevelName="
  </ConductingEquipment>

```

Kuvio 31. Aseman 1 kennon J01 katkaisija Q0 SCL kielellä

Kuviossa 31 nähdään katkaisijan Q0 osalta, miten katkaisijan tulisi näkyä SCD-tiedoston SCL-kielisessä esityksessä, jotta StationScout osaa näyttää sen osana kennoa. Tämä määrittely tulee löytyä jokaiselta kennoon liitetyltä kytkinlaitteelta.

Kuviossa 28 nähdään, että erottimien kohdalla on kysymysmerkit. Ohjelmassa täytyy erottimien ohjauslohkot liittää oikealle erottimelle. Liittäminen tehdään valitsemalla erotin ja oikealle avautuvasta valikosta valitaan *manage signals*, jolloin aukeaa kuvion 32 mukainen näkymä.

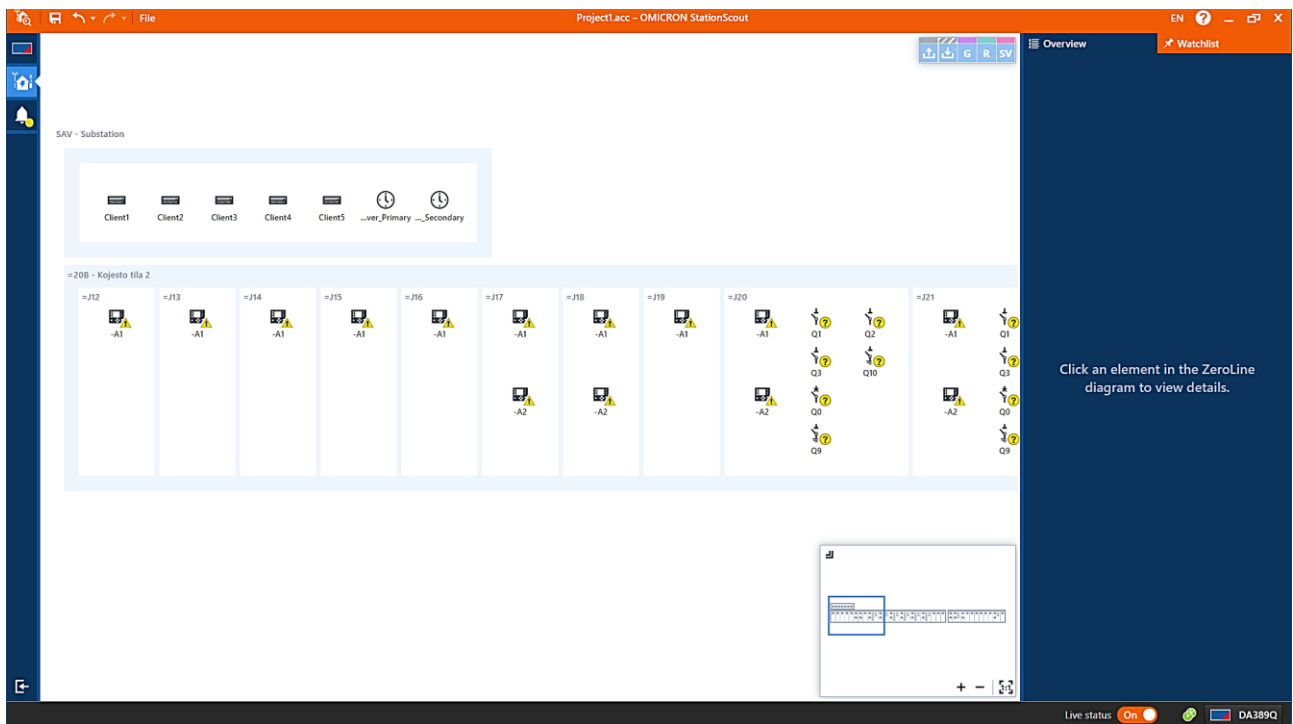


Kuvio 32. Erottimien yhdistäminen oikeaan lohkokon

Kyseiselle erottimelle voidaan nyt valita oikeat DCCILO, DCCSWI ja DCXSWI lohkokot. Asemalta 1 ei löytynyt kennoa, jossa kaikki kytkinlaitteet olisivat näkyvissä testausohjelmistossa.

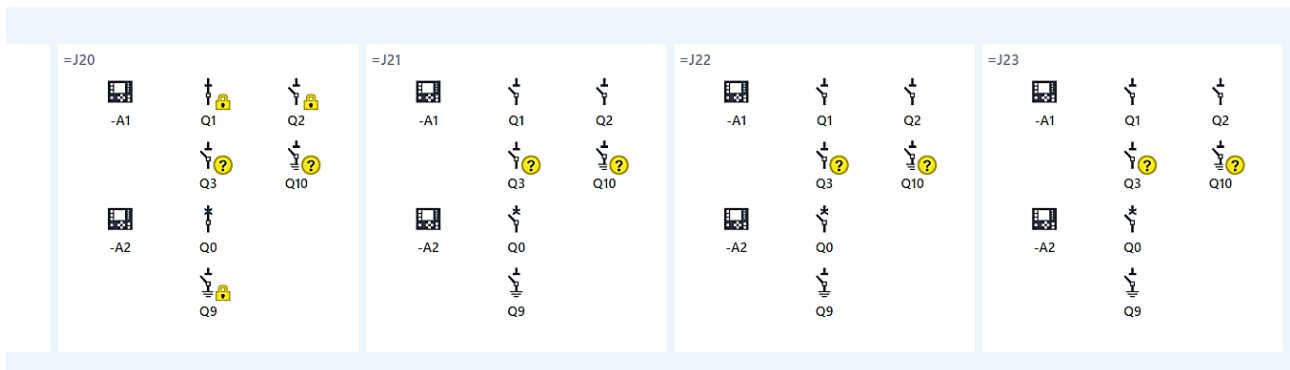
Asema 2

Asemalla 2 fyysiset kytkennät ja MBX1-laitteen asettelut tehtiin vastaavalla tavalla kuin asemalla 1. Myös aseman IED-laitteiden tiedot ladattiin ja luotiin viimeisin versio SCD-tiedostosta. Ladattaessa SCD-tiedosto testausohjelmistoon, huomattiin, että tällä asemalla on samanlaisia virheitä, kuin asemalla 1.



Kuvio 33. Aseman 2 zeroline näkymä

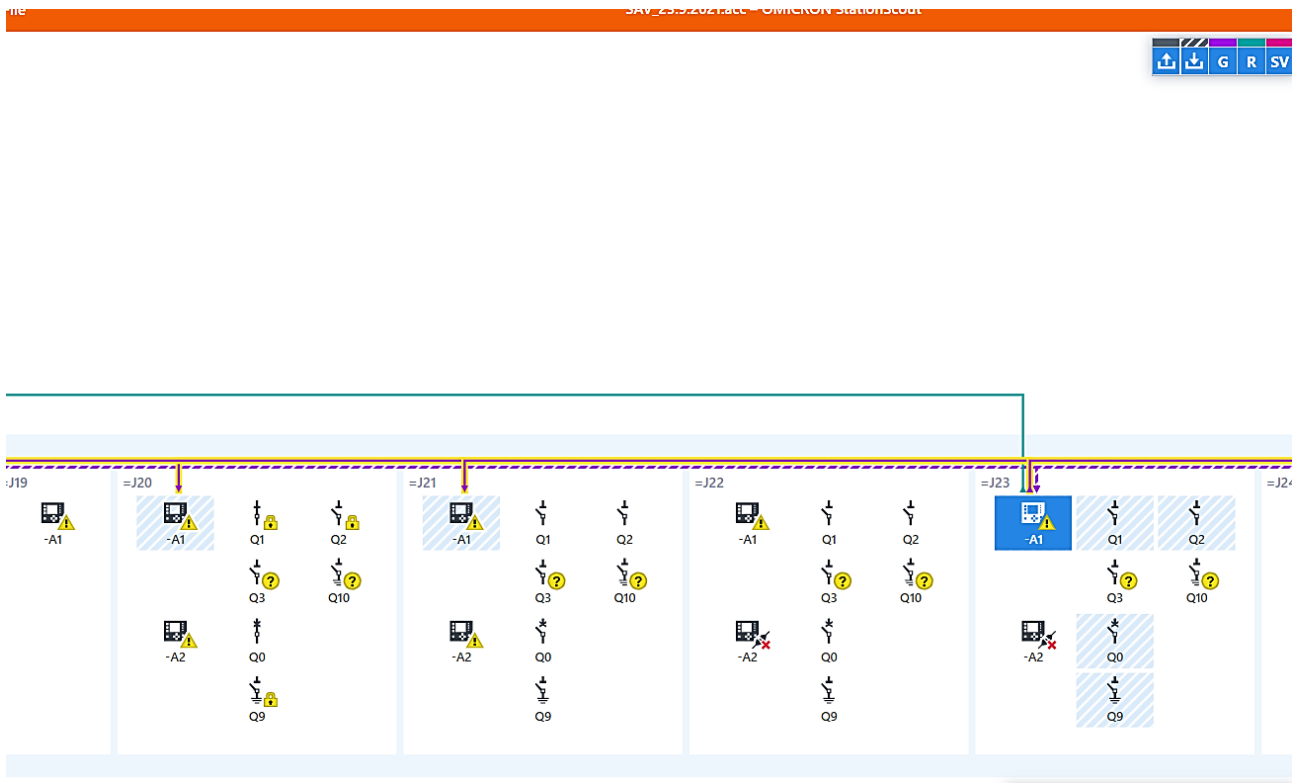
Kuviosta 33 nähdään, että suuresta osasta kennoja kytkinlaitteet eivät näy testausohjelman näkymässä. Erottimien DCCILO, DCCSWI ja DCXSWI lohkojen yhdistämisen jälkeen kennot olivat kuvion 34 mukaiset.



Kuvio 34. Yhdistetyt erottimet

Erottimissa nähdään nyt reaaliaikaisesti erottimen todellinen tila, ohjelmiston ollessa live-tilassa. Kytkinlaitteita voidaan myös ohjata tästä näkymästä. Kuviossa 34, kennossa J20 nähdään suoraan, että erottimien ohjaus on lukittu, koska katkaisija on kiinni. Lukitus esitetään keltaisella lukon kuvalla.

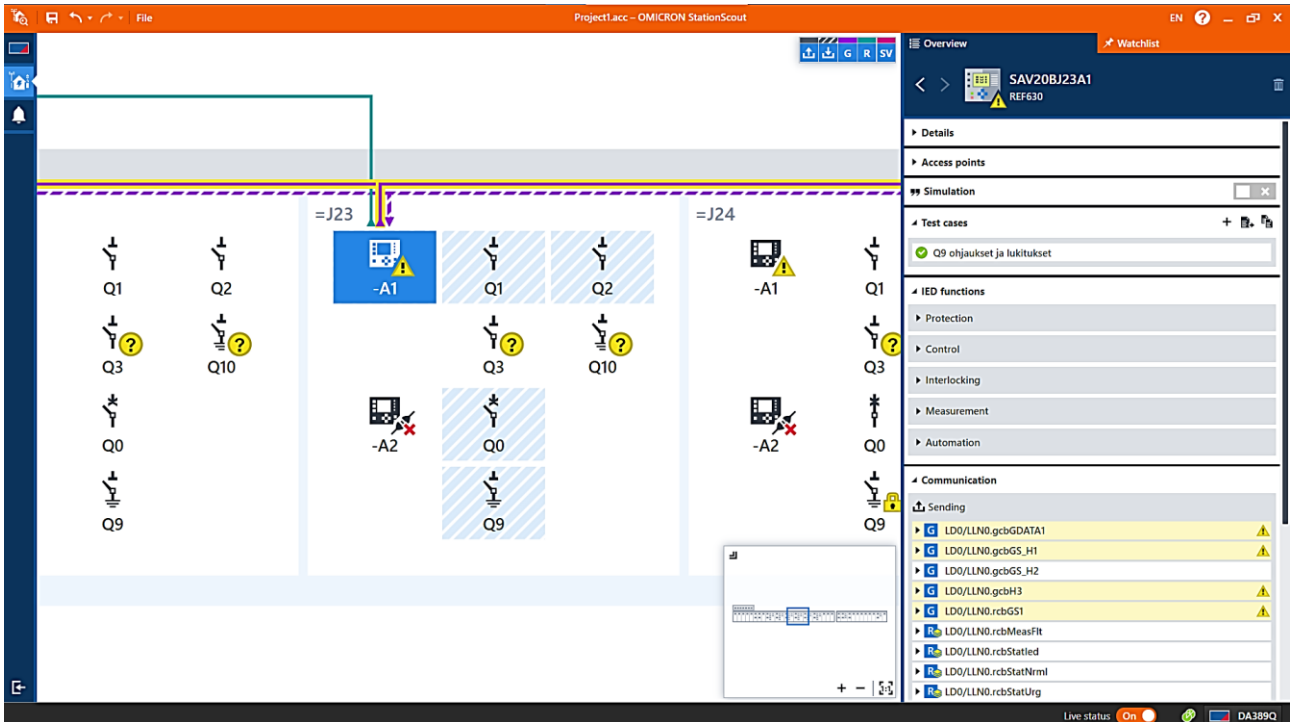
Testausohjelmassa on myös helposti nähtävissä mitä signaaleja eri kennojen välillä liikkuu. Kuviossa 35 on esitetty kennon J23 signaaleja.



Kuvio 35. Aseman 2 kennon J23 signaalit

Kuviossa 35 nähdään, että kennosta J23 lähtee GOOSE- ja raportti signaaleja. Kenno myös vastaanottaa GOOSE-signaaleja. Kuvion oikeassa yläkulmassa on näkyvissä selitteet eri signaalityypeille. Näistä G = GOOSE, R = raportti ja SV = Sampled Value. Nuolimerkinntät kuvaavat lähteviä ja tulevia signaaleja. Näillä voidaan myös vaihdella ovatko tietyt signaalityypit näkyvillä kuvassa. Keltainen väri GOOSE-signaalin ympärillä ja keltainen kolmio IED-laitteen päällä ilmaisevat virheestä signaaleissa.

IED-laitteen ollessa valittuna ohjelmiston oikeaan laitaan tulee näkymä IED-laitteen tiedoista. Kuviossa 36 on näkyvissä kennon J23 yleisnäkymä.



Kuvio 36. Aseman 2 kennon J23 näkymä

Kuvion 36 oikeassa laidassa nähdään suoraan IED-laitteen yksityiskohtaiset tiedot. Näkyville tulee myös avautuvista valikoista kaikki toiminnallisuudet, jotka laitteeseen on ohjelmoitu. Kuvion oikeassa alalaidassa on näkyvillä kommunikointiosiota. Osiosta nähdään suoraan, mistä GOOSE-lohkoista edellä mainitut virheet tulevat. Kun valitaan esimerkiksi listan ensimmäinen GOOSE-signaali, avautuu kuvion 37 mukaiset tarkemmat tiedot kyseisestä signaalista.

Overview
Watchlist

< >

G

SAV20BJ23A1


LD0/LLN0.gcbGDATA1

⚠ GOOSE warning

- Clock error reported by IED: Issue with IED's time synchronization settings possible.

VLAN ID:	0 (000 _{hex})
VLAN priority:	4
Configuration revision:	100

Live status

Entry time:	2018-04-18 08:25:50.778Z
Status number:	5
Sequence number:	10846292
Time allowed to live (ms):	11000
Remaining time to live:	

▶ **Communication**

⚡ **Transmitted signals**

SP Generic process I/O 36



False	Output status	🕒 08:25:39
-------	---------------	------------

SP Generic process I/O 37

False	Output status	🕒 08:25:39
-------	---------------	------------

⚡ **Dataset – GDATA1**

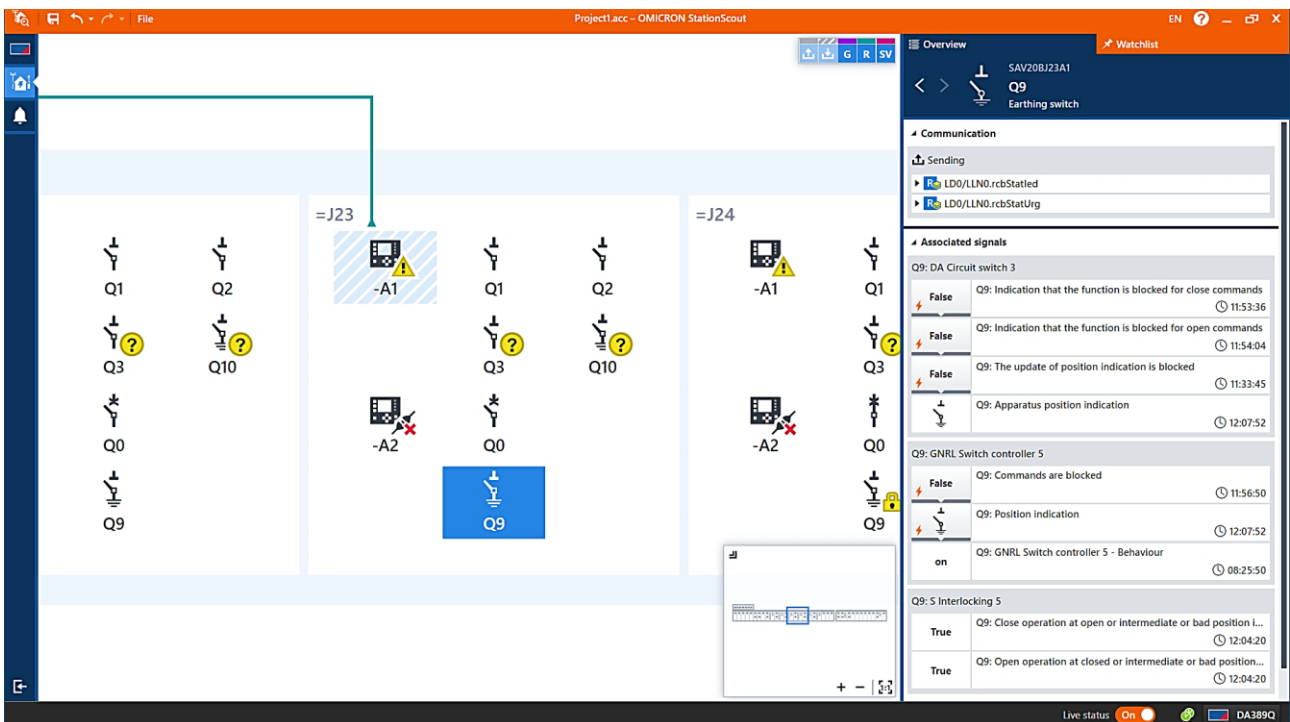
Name	Value
DA SPGGIO36.Ind.stVal	[ST] False
DA SPGGIO36.Ind.q	[ST] Good
DA SPGGIO37.Ind.stVal	[ST] False
DA SPGGIO37.Ind.q	[ST] Good

Live status On

 DA389Q

Kuvio 37. Aseman 2 kennon J23 GOOSE virhe

Testausohjelma osaa suoraan ehdottaa mahdollista virhettä signaalissa, kuten kuvista 37 nähdään. Näkymästä voidaan myös nähdä suoraan, että kyseessä on SP Generic I/O 36 ja 37. Tiedoista nähdään myös, että kyseiset signaalit kuuluvat GDATA1 datajoukkoon. Datajoukon tiedoista nähdään, että kyseisiä signaaleista on luettu tila (stValue) ja laatu (q). Aika-attribuuttia ei ole otettu mukaan, joten mahdollinen aikasyntonointi vika voi johtua tästä.

Valittaessa joku toimilaitteista esimerkiksi Q9 aktiiviseksi avautuu kuvion 38 mukainen näkymä.



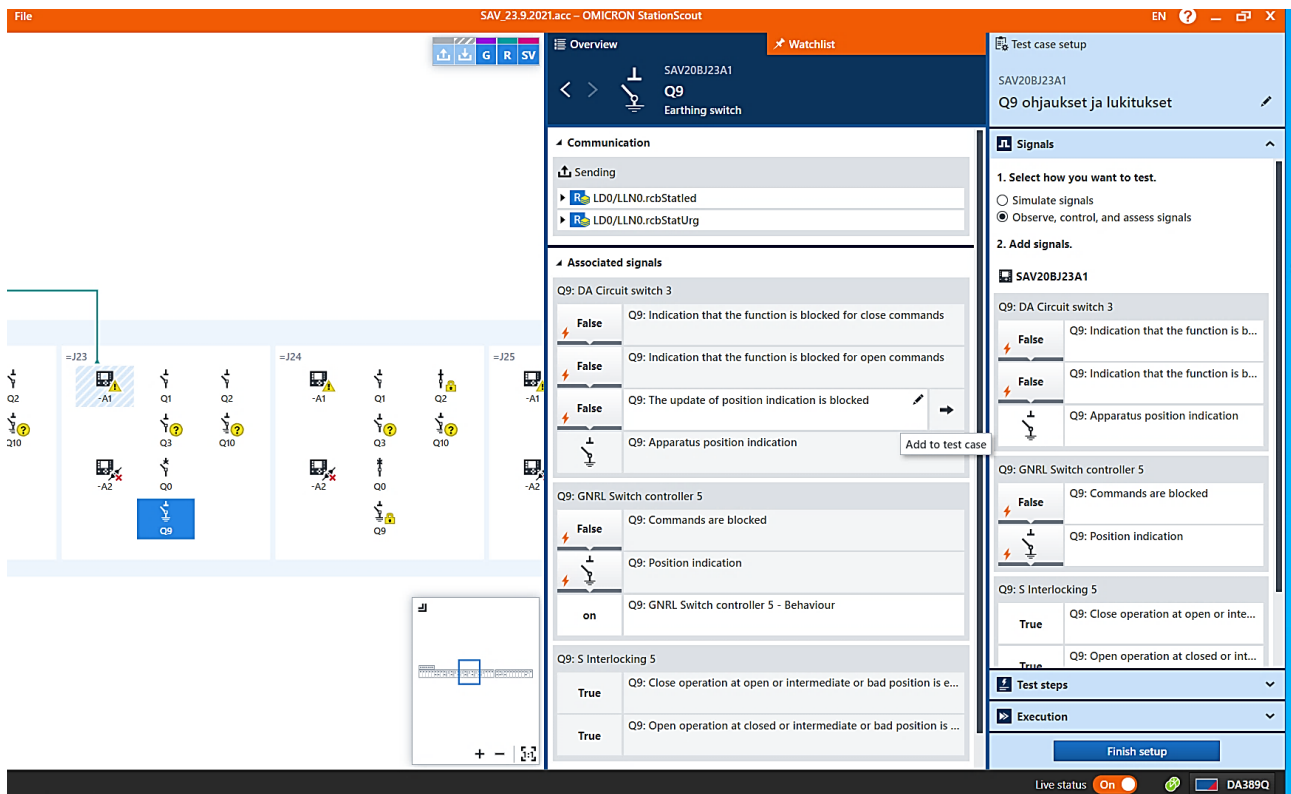
Kuvio 38. Aseman 2 kennon J23 Q9 näkymä

Oikealle avautuvassa näkymässä on näkyvillä erottimen tilatiedot ja lukitustiedot. Tästä näkymästä myös erottimen ohjaus on mahdollista.

4.2 Signaalien koestus

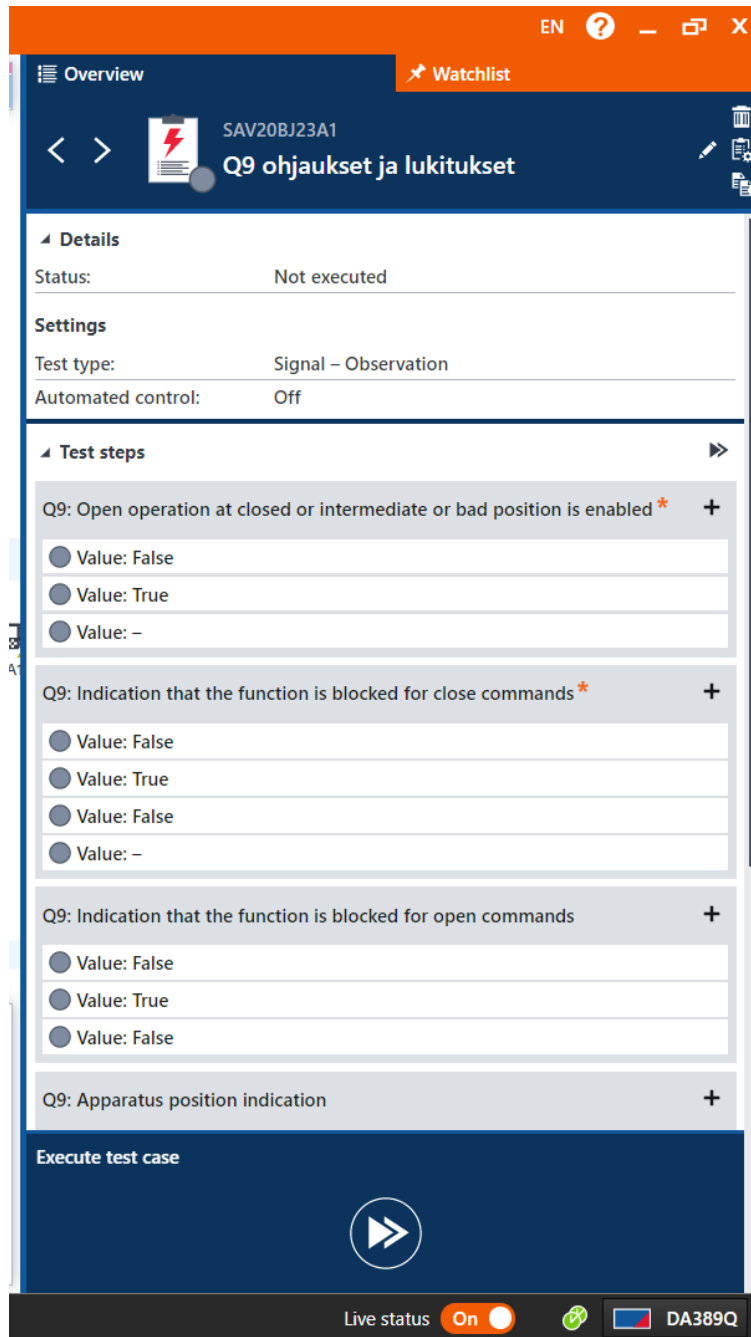
Koska asemalla 1 ei kytkinlaitteita ollut näkyvissä testausohjelmistolla, suoritettiin signaalien koestuksen testaus asemalla 2. Ohjelmistolla testattiin kennon J23 Q9 erottimen ohjaus- tilatieto- ja lukitussignaaleit.

Koestusohjelman luonti alkaa kuvion 39 näkymästä valitsemalla Test Case valikosta Add test case. Tämän jälkeen valitaan laite, jonka signaaleja halutaan testata. Ohjelmaan avautuu nyt kuvion 39 mukainen näkymä.



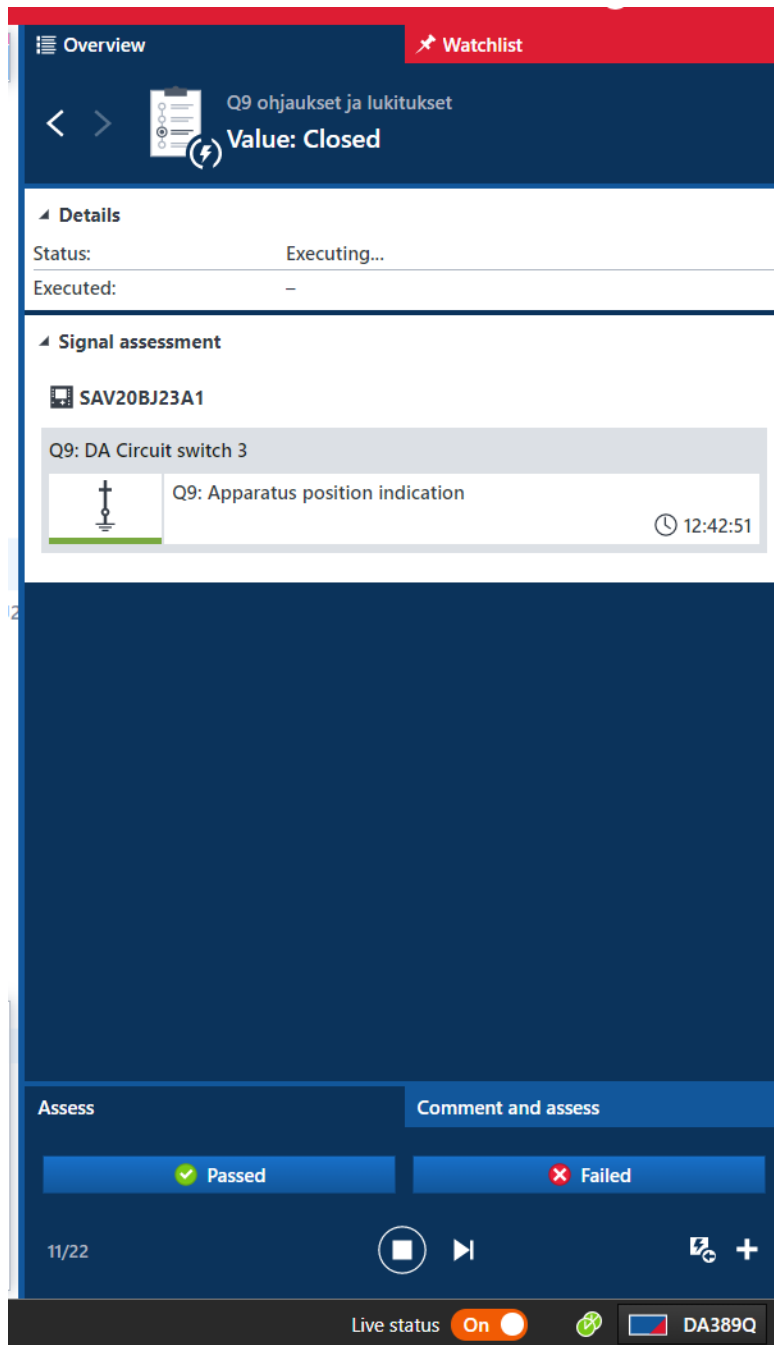
Kuvio 39. Testauksen asetteluruutu

Kuvion keskellä on esitetty erottimeen Q9 liittyvät signaalit. Nämä on nyt helppo lisätä testauslistalle klikkaamalla nuolta add to test case. Kun testilistauksen on lisätty kaikki halutut signaalit, klikataan Finish setup, jolloin avautuu kuvion 40 mukainen näkymä, josta testi voidaan suorittaa.



Kuvio 40. Aseman 2 kennon J23 Q9 testaus

Testaus käynnistetään alalaidan nuolinäppäimestä. Testausta tehtäessä käytössä olevalla asemalla on syytä huomioida, että StationScout testaa todelliset signaalit. Eli testatessa esimerkiksi suojauskien signaaleja, tulee huomioida, että signaalit saattavat mennä myös toisiin kennoihin ja aiheuttaa ei toivottuja toimintoja asemalla. Signaalien siirtyminen voidaan estää asettamalla testattava IED-laite testi tilaan, jolloin lähtevät signaalit voidaan estää tai liittää niihin niin kutsuttu testi lipuke. Toinen tapa on poistaa IED-laite väylästä ja simuloida signaalit StationScout-ohjelmistolla ja liittää signaaleihin testi lipuke. Lipukkeen avulla IED-laitteet tunnistavat signaalin testiksi, eivätkä suorita signaalin toimintoa loppuun asti. Signaalin siirtyminen kuitenkin voidaan havaita väylästä ja näin todeta sen toimivuus.

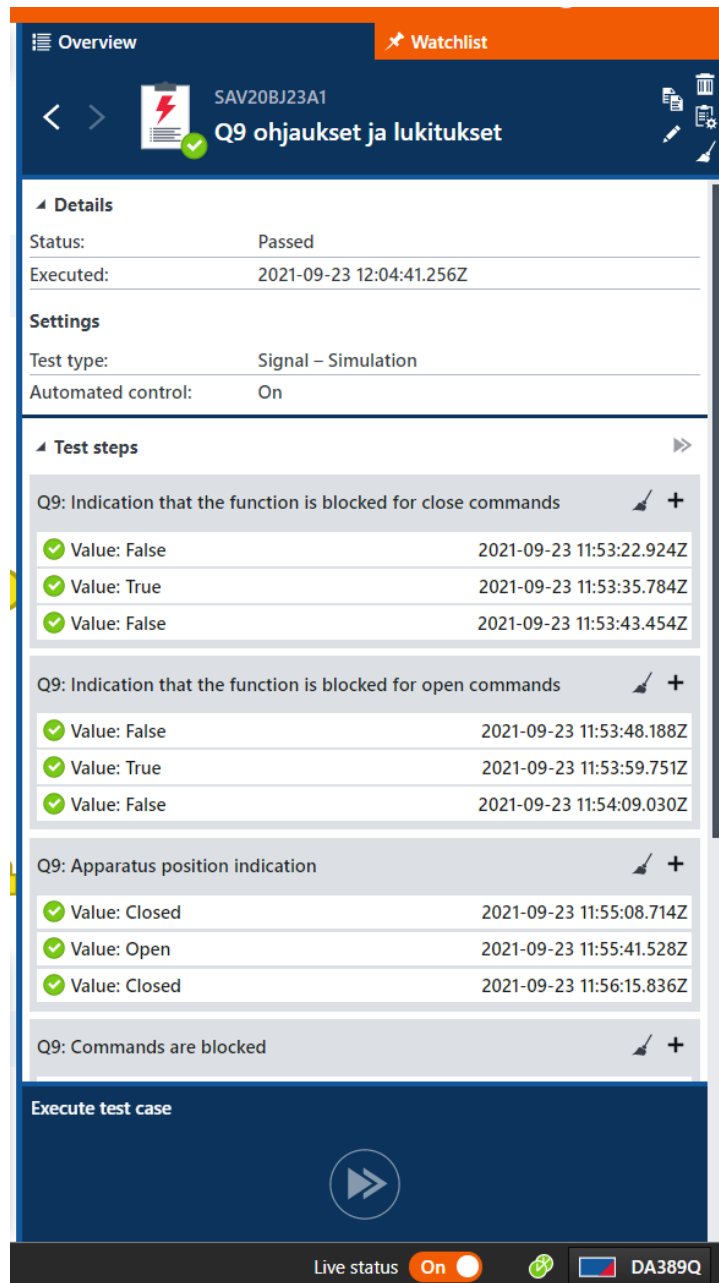


Kuvio 41. Testi käynnissä

Kuviossa 41 nähdään testin vaihe, jossa testataan Q9 erottimen tilatieto ”kiinni”. Signaali tulee oikein, joten erottimen kuvan alla on vihreä viiva. Tulos hyväksytään Passed-painikkeella, jonka jälkeen ohjelma siirtyy seuraavaan testiin. Kuviossa 42 on esitetty valmis testaus. Testauksen aikana ohjelmisto ohjaa itsenäisesti erotinta tai pyytää käyttäjää muuttamaan erottimen tilaa. Ohjelmisto

poimii väylästä ohjaussignaalit ja tarkastaa ovatko ohjauskäskyt menneet perille vaaditulla tavalla. Ohjelmisto myös tarkastaa muuttuvatko tilatieto- ja lukitussignaalit vaaditulla tavalla.

Testausohjelmistolla voidaan testata kytkinlaitteiden todellisten tilatietojen ja ohjausten toimivuus. Ohjelmistolla voidaan myös tarvittaessa simuloida signaaleja. Jos esimerkiksi käytössä olevalle asemalle halutaan lisätä kenoja, voidaan SCD-tiedostoon lisätä uudet kennot ja testata niiden toiminta koko aseman kanssa. Testaus voidaan tehdä kytkemällä testauslaitteisto olemassa olevan aseman väylään ja simuloimalla uudet kennot. Uusien kenojen signaalien toiminta ja koko uuden SCD-tiedoston toiminta voidaan siis testata jo ennen kuin fyysisiä laitteita on edes hankittu.



Kuvio 42. Suoritettu testaus

Testaus on onnistuneesti suoritettu. Testiohjelma jää myös muistiin, joten se voidaan tarvittaessa uusia. Mikäli kyseisen erottimen ohjauksien tai lukitusten logiikkaan tulee muutoksia, on toiminta helppo tarkastaa valmiilla testiohjelmalla. Suoritetusta testistä voidaan myös luoda helposti raportti, josta selviää testin kulku. Erottimen Q9 testauksen raportti on liitteessä 1.

4.3 Aineiston analyysi

Tutkimuksessa tehdyn Q9 erottimen testauksen tuloksen laadukkuuteen vaikuttaa suuresti käytävissä olevan SCD-tiedoston laatu. Tässä tapauksessa Q9 erottimen testaus oli mahdollista suorittaa. Testauksesta saadut tulokset ovat tarkkoja ja luotettavia. Testauksesta myös jää uudelleen käytettävä testauslista. Testauksen toistettavuus onkin yksi StationScoutin tärkeimpiä ominaisuuksia.

Käytössä olleen SCD-tiedoston laadukkuus ei ollut paras mahdollinen. Tämän vuoksi vastaavia testauksia on lähes mahdoton tehdä useisiin muihin kennoihin. SCD-tiedoston puutteet heikentävät tehtävien testien mahdollisuuksia ja osittain myös luotettavuutta. Jos testataan aikakriittisiä signaaleja, ei testattavilla signaaleilla saisi olla aika synkronointi virheitä.

5 Tulokset

Tutkimuksen tuloksena saatiin tehtyä esimerkki raportti, jossa on koestettu yhden maadoituserottimen lukitus- ja ohjaussignaalit. StationScoutin peruskäytöstä ja ominaisuuksista saatiin paljon oppia tutkimuksen aikana. Näiltä osin tutkimukselle asetetut tavoitteet voidaan katsoa täyttyneeksi. Tutkimusta vaikeutti asemien SCD-tiedostoissa havaitut puutteet. Tämä voidaan kuitenkin tulkita onnistumiseksi. Puutteiden havaitseminen ja niiden syiden tunteminen osoittaa, että tieto on lisääntynyt tutkittavasta aiheesta.

Tutkimuksen aikana perehdyttiin myös IEC61850 -standardin olennaisimpiin osiin sähköaseman sisäisen tietoliikenteen kannalta. Aiheesta saatiin paljon lisätietoa ja osaamista. Tutkimuksen aikana kävi selväksi, että aihetta on syytä tutkia ja opiskella vielä runsaasti lisää. Nyt saadut tiedot kuitenkin auttavat jo tavoitteeksi asetetun sähköasema-automaation määrittelyjen tekemisessä.

6 Pohdinta

6.1 Luotettavuus ja eettisyys

Teoriaosuuden aineistona on käytetty valmistajalta saatuja tietoja ja esitteitä. Tiedot ovat varmasti paikkaansa pitäviä. Tiedoista ei kuitenkaan käy hyvin ilmi laitteiston huonoja puolia tai kehitystä vaativia kohteita. Laitteiston toimittajalla on aina tarkoituksena saada myytyä tuotteita.

Muu teoriaosuuden aineisto on kerätty pääosin yliopistojen diplomitöistä. Näitä töitä voidaan pitää luotettavina, koska tutkimuksen tekijä on joutunut perehtymään aiheeseen perinpohjaisesti. Aineistona on myös käytetty IEC61850 -standardia. Standardin ovat luoneet kansainväliset työryhmät, joiden jäsenet ovat alan parhaita osaajia. Näin ollen lähdettä voidaan pitää erittäin luotettavana.

Tutkimuksessa kerätyn aineiston luotettavuus on myös hyvä. Aineistona luodut testitiedostot ovat toistettavissa ja tulos on näin ollen varmistettavissa jälkikäteen.

Osa teoriaosuudessa käytetystä aineistosta on saatu laitevalmistajalta ja aineiston käyttöön on myös pyydetty lupa. Aineistona on myös standardin osia. Standardia kokonaisuudessaan ei ollut käytettävissä mutta lähteenä olleet osat ovat tarkasteltavissa standardia myyvän järjestön nettisivuilla. Lähteenä oleviin opinnäyte ja diplomitöihin on viitattu asianmukaisesti. Teoriaosuuden osalta aineisto eettisesti vakaalla pohjalla.

Tutkimusosiossa oleva aineisto on kerätty Alva Sähköverkon asemilta käyttäen yrityksen omistamaa StationScout ohjelmistoa ja MBX1-laitetta. Aineisto on myös esitetty täysin muokkaamattomana. Näin ollen myös tutkimusosion aineisto noudattaa hyviä tutkimustapoja.

6.2 Tulosten tarkastelu suhteessa viitekehykseen

Sähköasemien testauksissa nähdään selkeästi, että eri signaalien nimeämiset noudattavat alun teoriaosuudessa käsiteltyä IEC 61850 määrittelyjä ja nimeämisen tapoja. Alun teoriaosuudessa mainittu SCD-tiedoston konfiguroinnin suunnittelu testauksen näkökulmasta tulee myös hyvin esiin. Nämä näkyvät testauksen aikana havaittuina puutteina ja virheinä konfiguraatiossa.

6.3 Johtopäätökset ja kehitysehdotukset

StationScout laitteella pystytään simuloimaan ja testaamaan sähköasema-automaation signaalit. Ohjelmistolla nähdään reaaliaikaisesti signaalien kulku ja toiminta asemaväylässä. Ohjelmalla on mahdollista myös simuloida puuttuvia tai lisättäviä IED-laitteita. Ohjelmalla on myös mahdollista simuloida, tarvittaessa koko asema ja testata signaalien toiminta SCADA-järjestelmään. Tämä onkin ominaisuus, jota tulisi hyödyntää tulevilla sähköasema projekteilla.

Rakennettaessa uusia asemia StationScout ohjelmalla voidaan tarkastaa, että aseman konfiguraatio vastaa tilaus vaiheessa esitettyjä vaatimuksia. Laitteistolla voidaan myös tarkastaa FAT testien aikana signaalien oikea toiminta, vaikka kaikkia laitteiston osia ei olisikaan käytössä. Näin päästään mahdollisiin konfigurointi ongelmiin heti kiinni. Muutoksien teko aseman konfiguraation on tässä vaiheessa vielä helppoa verrattaessa käytössä olevaan asemaan.

Laitteistoa voidaan hyödyntää myös sähköasemien laajennus ja saneeraus tapauksissa. konfiguraatio on jälleen helppo tarkastaa ja logiikkojen toiminta varmistaa ennen kuin on asennettu ensimmäistäkin IED-laitetta.

StationScouttia voidaan hyödyntää myös käytön ja kunnossapidon tehtävissä. Laitteistoa voidaan käyttää vian etsinnässä, mikäli logiikoissa ja signaaleissa havaitaan vikoja. Laitteistoa on myös hyvä hyödyntää, kun lisätään IED-laitteiden toiminnallisuuksia. Tällöin voidaan tehdä SCD-tiedostoon halutut muutokset ja testata toimiiko signaalit halutulla tavalla. Ohjelmiston avulla ei kuitenkaan pystytä valvomaan sähköasema-automaatiota mahdollisten tietoturva hyökkäyksien varalta. Alva Sähköverkolla on tarvetta koestuksien ja simulointien lisäksi myös sähköasema-automaation reaaliaikaiseen valvontaan.

Yhtenä kehityskohteenä tutkimuksesta nousi konfiguroinnin määrittely. Jatkossa Alva Sähköverkolla tulisivin määritellä tarkemmin, miten sähköasema-automaatio kokonaisuudessa konfiguroidaan. Määrittelyn avulla konfiguroinneista saadaan selkeämpiä ja toimivampia. Määrittely parantaa myös käytettävyyttä ja automaation kautta saatava data on paremmin hyödynnettävissä. Määriteltäviä kohteita ovat muun muassa kennojen ja laitteiden nimeämiset, raporttien sisältö ja nimeämiset sekä eri datasettien nimeämiset. Määrittelyillä siis annettaisiin urakoitsijalle reunaehdot, jonka mukaan sähköasemien konfiguraatiot tulee toteuttaa.

Edellä mainituista käyttötavoista on mahdollista muodostaa myytävää palvelua. Tämä kuitenkin vaatii vielä lisää koulutusta aiheesta. Laitteiston käyttö on myös saatava entistäkin paremmin halltuun.

Lähteet

Adamiak M. & Baigent D. & Mackiewicz R. 2009. IEC 61850 communication networks and systems in substations: An overview for users. The Protection & Control Journal. 61-68. Viitattu 24.8.2021. <https://www.researchgate.net/publication/292238350> IEC 61850 communication networks and systems in substations An overview for users.

Alva yritysesittely. 2021. Yritysesittely powerpoint. ALVA.

Alva Sähköverkko Oy. N.d. Kuva verkkosivulla. Viitattu 1.10.2021. https://www.alva.fi/app/uploads/2/2020/01/Sahkon_jakelualue.pdf.

Carvalho E. & Klien A. 2019. How the engineering design process can simplify the testing of automation and control systems. Artikkelit Omicron yhtiön internet sivuilla. Viitattu 28.8.2021. https://www.omicronenergy.com/en/search/?tx_solr%5Bfilter%5D%5B0%5D=type:tx_solr_file&tx_solr%5Bq%5D=%22How%20the+engineering+design+process+can+simplify+the+testing+of+automation+and+control+systems.%22

Cybersecure features of the MBX1 platform. 2019. Tekninen dokumentti. Omicron.

IEC/TR 61850-1:2013. Communication networks and systems for power utility automation – Part 1: Introduction and overview. International Electrotechnical Commission. Viitattu 16.8.2021. https://webstore.iec.ch/preview/info_iec61850-1%7Bed2.0%7Ddb.pdf

IEC/TS 61850-2:2019. Communication networks and systems for power utility automation – Part 2: Glossary. International Electrotechnical Commission. Viitattu 16.8.2021. https://webstore.iec.ch/preview/info_iec61850-2%7Bed2.0%7Den.pdf.

IEC 61850-3:2013. Communication networks and systems for power utility automation – Part 3: General requirements. International Electrotechnical Commission. Viitattu 16.8.2021. https://webstore.iec.ch/preview/info_iec61850-3%7Bed2.0%7Ddb.pdf.

IEC 61850-4:2011. Communication networks and systems for power utility automation – Part 4: System and project management. International Electrotechnical Commission. Viitattu 16.8.2021. https://webstore.iec.ch/preview/info_iec61850-4%7Bed2.0%7Ddb.pdf.

IEC 61850-5:2013. Communication networks and systems for power utility automation – Part 5: Communication requirements for functions and device models. International Electrotechnical Commission. Viitattu 16.8.2021. https://webstore.iec.ch/preview/info_iec61850-5%7Bed2.0%7Ddb.pdf.

IEC 61850-6:2009. Communication networks and systems for power utility automation – Part 6: Configuration description language for communication in electrical substations related to IEDs. International Electrotechnical Commission. Viitattu 16.8.2021. https://webstore.iec.ch/preview/info_iec61850-6%7Bed2.1%7Den.pdf.

IEC 61850-7-1:2011. Communication networks and systems for power utility automation – Part 7-1: Basic communication structure – Principles and models. International Electrotechnical Commission. Viitattu 16.8.2021. https://webstore.iec.ch/preview/info_iec61850-7-1%7Bed2.1%7Den.pdf.

IEC 61850-7-2:2010. Communication networks and systems for power utility automation – Part 7-2: Basic information and communication structure – Abstract communication service interface (ACSI). International Electrotechnical Commission. Viitattu 16.8.2021. https://webstore.iec.ch/preview/info_iec61850-7-2%7Bed2.1%7Den.pdf.

IEC 61850-7-3:2010. Communication networks and systems for power utility automation – Part 7-3: Basic communication structure – Common data classes. International Electrotechnical Commission. Viitattu 16.8.2021. https://webstore.iec.ch/preview/info_iec61850-7-3%7Bed2.1%7Den.pdf.

IEC61850-7-4:2010. Communication networks and systems for power utility automation – Part 7-4: Basic communication structure – Compatible logical node classes and data object classes. International Electrotechnical Commission. Viitattu 16.8.2021. https://webstore.iec.ch/preview/info_iec61850-7-4%7Bed2.1%7Den.pdf

IEC 61850-8-1:2020. Communication networks and systems for power utility automation – Part 8-1: Specific communication service mapping (SCSM) – Mappings to MMS (ISO 9506-1 and ISO 9506-2) and to ISO/IEC 8802-3. International Electrotechnical Commission. Viitattu 16.8.2021. https://webstore.iec.ch/preview/info_iec61850-8-1%7Bed2.1%7Db.pdf.

IEC 61850-9-2:2020. Communication networks and systems for power utility automation – Part 9-2: Specific communication service mapping (SCSM) – Sampled values over ISO/IEC 8802-3. International Electrotechnical Commission. Viitattu 16.8.2021. https://webstore.iec.ch/preview/info_iec61850-9-2%7Bed2.1%7Den.pdf.

IEC 61850-9-3:2016. Communication networks and systems for power utility automation – Part 9-3: Precision time protocol profile for power utility automation. International Electrotechnical Commission. Viitattu 16.8.2021. https://webstore.iec.ch/preview/info_iec61850-9-3%7Bed1.0%7Den.pdf.

IEC 61850-10:2012. Communication networks and systems for power utility automation – Part 10: Conformance testing. International Electrotechnical Commission. Viitattu 16.8.2021. https://webstore.iec.ch/preview/info_iec61850-10%7Bed2.0%7Db.pdf.

Lehtimäki S. 2017. Usean kytkinlaitoskentän suojaaminen yhdellä suojalaitteella tuulivoiman liittytäsähköasemalla. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, sähkötekniikan koulutusohjelma. Viitattu 22.8.2021. <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/24622/Lehtimaki.pdf?sequence=4&isAllowed=y>.

Lemmetyinen A. 2015. IEC 61850 -standardin soveltaminen sulautetulla Linux-järjestelmällä. Diplomityö. Vaasan yliopisto, sähkö- ja energiatekniikan koulutusohjelma, sähkötekniikka. Viitattu 23.8.2021. https://osuva.uwasa.fi/bitstream/handle/10024/2619/osuva_6229.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Länsman, H. 2019. 110 kV digitaalisen sähköaseman toteutusvaihtoehdot. Diplomityö. Vaasan yliopisto, Tekniikan ja innovaatiojohtamisen yksikkö, sähkötekniikka. Viitattu 16.8.2021. https://osuva.uwasa.fi/bitstream/handle/10024/10276/UniVaasa_2019_Heija_Lansman.pdf?sequence=2&isAllowed=y.

Mäkelä K. 2018. IEC 61850 -standardin käyttö ja vaikutus sähköasemien kunnossapidossa. Opinnäytetyö. Oulun ammattikorkeakoulu, sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma, sähkötekniikka. Viitattu 1.8.2021. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/158522/Makela_Kalle.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Padilla, E. 2015. Substation Automation Systems: Design and Implementation, John Wiley & Sons, Incorporated. New York. Viitattu 1.10.2021. <https://janet.finna.fi>, Ebook central.

StationScout IEC 61850 substation automation system testing. Omicron. Luentomateriaali, PowerPoint esitys yrityksen Omicron koulutuswebinaarista. 16.5.2021.

Suittio A. 2010. Testing IEC 61850 in multi-vendor substation automation system. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, sähkövoimatekniikka. Viitattu 24.8.2021. <https://electrical-engineering-portal.com/res/res5/Testing-multi-vendor-substation-automation-system-IEC61850.pdf>.

Söderbacka R. 2013. The goose protocol. Diplomityö. Vaasan yliopisto, sähkö- ja energiatekniikan koulutusohjelma, automaatiotekniikka. Viitattu 23.8.2021. https://osuva.uwasa.fi/bitstream/handle/10024/5681/osuva_5225.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Technical manual REF 615. 2018. ABB nettisivut. Viitattu 3.10.2021. <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1MRS756887&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>.

Tebekaemi E. & Wijesekera D. 2016. Designing an IEC 61850 based power distribution substation simulation/emulation testbed for cyber-physical security studies. ResearchGate. Viitattu 23.8.2021. https://www.researchgate.net/publication/316167202_Designing_An_IEC_61850_Based_Power_Distribution_Substation_SimulationEmulation_Testbed_for_Cyber-Physical_Security_Studies.

Liitteet

Liite 1. Aseman 2 J23 Q9 ohjauksien ja lukitusten testausraportti

Project1.acc

Creation date/time: 2021-09-23 12:12:35.410Z

Test system

Device: DA389Q
 Software version: 2.00.0056
 SCL files: 23.9.2021.scd

Test results

SAV20BJ23A1 - REF630

Test case Q9 ohjaukset ja lukitukset – Passed

Test type: Signal – Simulation
 Automated control: On
 Q9: Apparatus position indication

Value: Closed – 2021-09-23 11:55:08.714Z – Passed

Comment: Q9 suljettu SCADAn kautta

Control

Signal	Timestamp	Value	Expected value
Apparatus position indication SAV20BJ23A1LD0/DAXSWI3.Pos	2021-09-23 11:54:29.201Z	Closed	Closed

Value: Open – 2021-09-23 11:55:41.528Z – Passed

Comment: Q9 avattu SCADAsta

Control

Signal	Timestamp	Value	Expected value
Apparatus position indication SAV20BJ23A1LD0/DAXSWI3.Pos	2021-09-23 11:55:22.623Z	Open	Open

Value: Closed – 2021-09-23 11:56:15.836Z – Passed

Comment: Q9 suljettu SCADAsta

Control

Signal	Timestamp	Value	Expected value
Apparatus position indication SAV20BJ23A1LD0/DAXSWI3.Pos	2021-09-23 11:56:00.515Z	Closed	Closed

Q9: Close operation at open or intermediate or bad position is enabled

Value: False – 2021-09-23 12:01:02.239Z – Passed

Comment: Q1 kiinni ollessa

Control

Signal	Timestamp	Value	Expected value
Close operation at open or intermediate or bad position is enabled SAV20BJ23A1LD0/SCILO5.EnaCls	2021-09-23 12:00:33.349Z	False	False

Value: True – 2021-09-23 12:02:16.917Z – Passed

Comment: Q1 ja Q2 auki ollessa

Control

Signal	Timestamp	Value	Expected value
Close operation at open or intermediate or bad position is enabled SAV20BJ23A1LD0/SCILO5.EnaCls	2021-09-23 12:01:57.758Z	True	True

Value: False – 2021-09-23 12:03:07.296Z – Passed

Comment: Q2 kiinni ollessa

Control

Signal	Timestamp	Value	Expected value
Close operation at open or intermediate or bad position is enabled SAV20BJ23A1LD0/SCIO5.EnaCls	2021-09-23 12:02:51.066Z	False	False

Q9: Commands are blocked

Value: False – 2021-09-23 11:56:21.860Z – Passed

Control

Signal	Timestamp	Value	Expected value
Commands are blocked SAV20BJ23A1LD0/GNRLCSWI5.BlkCmd	2021-09-23 11:36:51.509Z	False	False

Value: True – 2021-09-23 11:56:48.741Z – Passed

Control

Signal	Timestamp	Value	Expected value
Commands are blocked SAV20BJ23A1LD0/GNRLCSWI5.BlkCmd	2021-09-23 11:56:26.015Z	True	True

Value: False – 2021-09-23 11:56:56.638Z – Passed

Control

Signal	Timestamp	Value	Expected value
Commands are blocked SAV20BJ23A1LD0/GNRLCSWI5.BlkCmd	2021-09-23 11:56:50.920Z	False	False

Q9: Indication that the function is blocked for close commands

Value: False – 2021-09-23 11:53:22.924Z – Passed

Control

Signal	Timestamp	Value	Expected value
Indication that the function is blocked for close commands SAV20BJ23A1LD0/DAXSWI3.BlkCls	2021-09-23 11:32:31.975Z	False	False

Value: True – 2021-09-23 11:53:35.784Z – Passed

Control

Signal	Timestamp	Value	Expected value
Indication that the function is blocked for close commands SAV20BJ23A1LD0/DAXSWI3.BlkCls	2021-09-23 11:53:26.597Z	True	True

Value: False – 2021-09-23 11:53:43.454Z – Passed

Control

Signal	Timestamp	Value	Expected value
Indication that the function is blocked for close commands SAV20BJ23A1LD0/DAXSWI3.BlkCls	2021-09-23 11:53:36.096Z	False	False

Q9: Indication that the function is blocked for open commands

Value: False – 2021-09-23 11:53:48.188Z – Passed

Control

Signal	Timestamp	Value	Expected value
Indication that the function is blocked for open commands SAV20BJ23A1LD0/DAXSWI3.BlkOpn	2021-09-23 11:33:10.280Z	False	False

Value: True – 2021-09-23 11:53:59.751Z – Passed

Control

Signal	Timestamp	Value	Expected value
Indication that the function is blocked for open commands SAV20BJ23A1LD0/DAXSWI3.BlkOpn	2021-09-23 11:53:51.496Z	True	True

Value: False – 2021-09-23 11:54:09.030Z – Passed

Control

Signal	Timestamp	Value	Expected value
Indication that the function is blocked for open commands SAV20BJ23A1LD0/DAXSWI3.BlkOpn	2021-09-23 11:54:04.098Z	False	False

Q9: Open operation at closed or intermediate or bad position is enabled

Value: False – 2021-09-23 12:03:25.736Z – Passed

Control

Signal	Timestamp	Value	Expected value
Open operation at closed or intermediate or bad position is enabled SAV20BJ23A1LD0/SCILO5.EnaOpn	2021-09-23 12:02:51.066Z	False	False

Value: True – 2021-09-23 12:04:41.256Z – Passed

Comment: Q1 ja Q2 auki

Control

Signal	Timestamp	Value	Expected value
Open operation at closed or intermediate or bad position is enabled SAV20BJ23A1LD0/SCILO5.EnaOpn	2021-09-23 12:04:20.576Z	True	True

Q9: Position indication

Value: Closed – 2021-09-23 11:57:04.243Z – Passed

Control

Signal	Timestamp	Value	Expected value
Position indication SAV20BJ23A1LD0/GNRLCSWI5.Pos	2021-09-23 11:56:00.515Z	Closed	Closed

Value: Open – 2021-09-23 11:57:53.120Z – Passed

Comment: Q9 avautui automaattisesti testiohjelman signaalilla

Control

Signal	Timestamp	Value	Expected value
Position indication SAV20BJ23A1LD0/GNRLCSWI5.Pos	2021-09-23 11:57:13.743Z	Open	Open

Value: Closed – 2021-09-23 11:58:20.206Z – Passed

Comment: Q9 sulkeutui testiohjelman ohjaamana

Control

Signal	Timestamp	Value	Expected value
Position indication SAV20BJ23A1LD0/GNRLCSWI5.Pos	2021-09-23 11:58:03.627Z	Closed	Closed
