



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

ABB DEMOALAJAAMALE LABORATOORSE TÖÖ JA METOODILISE JUHENDI VÄLJATÖÖTAMINE

DEVELOPMENT OF METHODOLOGICAL GUIDE AND LABORATORY WORK FOR
ABB DEMO-SUBSTATION

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Raimo Lilletai

Üliõpilaskood: 144042AAAM

Juhendaja: professor Argo Rosin

Tallinn, 2019

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“.....” 201.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 201.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

Autor: Raimo Lilletai

Lõputöö liik: Magistritöö

Töö pealkiri: ABB demoalajaamale laboratoorse töö ja metoodilise juhendi väljatöötamine

Kuupäev: 24.05.2019

99 lk (lõputöö lehekülgede arv koos lisadega)

Ülikool: Tallinna Tehnikaülikool

Teaduskond: Inseneriteaduskond

Instituut: Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

Töö juhendaja(d): professor Argo Rosin

Töö konsultant (konsultandid): Elektrilevi OÜ SCADA spetsialistid

Sisu kirjeldus:

Lõputöö eesmärk on anda ülevaade ABB demoalajaamast, seal kasutatavatest seadmetest ning luua selle põhjal laboritöö metoodiline juhend.

Esmalt annan ülevaate elektri tarkvõrkudest ja alajaamade digitaliseerimisest ning toon välja seose ABB demoalajaama laboritöö ja Inseneriteaduskonna Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi õppeainete EES5180 Energiasüsteemide digitaliseerimine ja EEV5020 Energiahaldus elektri tarkvõrkudes vahel. Teine peatükk keskendub demoalajaama seadmete ja tarkvarade kirjeldamisele. Kolmandas peatükis töötan välja ABB demoalajaama laboratoorse töö metoodilise juhendi. Viimane peatükk kirjeldab metoodilise juhendi väljatöötamise protsessi ja sisaldab laboritöö ülesannet.

Töö lõpptulemuseks on väljatöötatud ja testitud laboratoorne töö koos selle metoodilise juhendiga, mida saab kasutada õppe-eesmärgil Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi õppeainetes.

Märksõnad: Laboratoorne töö, metoodiline juhend, SCADA, ABB MicroSCADA, RTU, REF615, kaugterminal, kohtterminal, alajaamade digitaliseerimine, elektri tarkvõrgud, andmeside, sideprotokoll, IEC 60870-5-104, IEC 61850

ABSTRACT

<i>Author:</i> Raimo Lilletai	<i>Type of the work:</i> Master Thesis
<i>Title:</i> Development of methodological guide and laboratory work for ABB demo-substation	
<i>Date:</i> 24.05.2019	<i>99 pages (the number of thesis pages including appendices)</i>
<i>University:</i> Tallinn University of Technology	
<i>School:</i> School of Engineering	
<i>Department:</i> Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics	
<i>Supervisor(s) of the thesis:</i> Professor Argo Rosin	
<i>Consultant(s):</i> Elektrilevi OÜ SCADA engineers	
<i>Abstract:</i> <p>The goal of the thesis is to give an overview of the ABB demo-substation and its equipment and to develop a methodological guide for the laboratory work.</p> <p>The first part of the thesis gives an overview of smart grids and digitalisation of the substations and establish how ABB demo-substation laboratory work is connected with the courses EES5180 Power Systems Digitalisation and EEV5020 Energy Management in Smart Grids in the department of Electrical Power Engineering and Mechatronics. The second chapter focuses on ABB demo-substation and its equipment and softwares. The third chapter is the methodological guide for the laboratory work. The final chapter describes what changes were made in the demo-substation and how methodological guide was composed.</p> <p>The result of the thesis is a completed and tested laboratory work which can be used for study purposes in the Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics study programme.</p>	
<i>Keywords:</i> Laboratory work, methodological guide, ABB, SCADA, RTU, REF615, digitalisation of substations, smart grid, data communication, communication protocols, IEC 60870-5-104, IEC 61850	

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema:	ABB demoalajaamale laboratoorse töö ja metoodilise juhendi väljatöötamine
Lõputöö teema inglise keeles:	Development of methodological guide and laboratory work for ABB demo-substation
Üliõpilane:	Raimo Lilletai, 144042AAAM
Eriala:	Energiamuundus- ja juhtimissüsteemid
Lõputöö liik:	Magistritöö
Lõputöö juhendaja:	Argo Rosin
Lõputöö ülesande kehtivusaeg:	30.06.2019
Lõputöö esitamise tähtaeg:	24.05.2019

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Õppekava juht (allkiri)

1. Teema põhjendus

Valikul sai määravaks isiklik ja tööalane huvi antud teema vastu ning soov teha magistritööks midagi praktilist. Lisaks on antud teema oluline tudengite oskuste täiendamiseks praktilise näite abil. Alajaamade ja üleüldse erinevate seadmete automatiseerimine ja juhtimine on valdkond, mis laieneb aasta-aastalt ning nõuab spetsialiste, kes oskavad selliste süsteemidega ümber käia. Dispetšisüsteemi (SCADA) seadistamine ja kasutamine ning fiidterminali seadistamine on hea võimalus tundma õppida lahendusi, mis on praegusel hetkel realselt Eesti suurimas võrguettevõttes kasutusel.

2. Töö eesmärk

Töö eesmärgiks on laboratoorse töö ja metoodilise juhendi väljatöötamine ABB demoalajaamale ABB MicroSCADA ja fiidterminali REF615 seadistamiseks ja testimiseks.

3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

ABB MicroSCADA kasutajaliidesega tutvumine ja SCADA pildi loomine etteantud skeemi ja signaalide kohta.

Fiidterminali REF615 ühendamine ja seadistamine vastavalt etteantud andmetele.

SCADA ja REF615 koostoitumise testimine pärast laboritöö lahendamist – lülituste tegemine, mõõteandmete saamine, alarmide tekkimine ja tagastumine.

4. Lähteandmed

Lõputöö baasiks on NRG-429 ruumis asuv demoalajaam. Stendil asuvate seadmete ja SCADA arvutis asuvate programmide, konfiguratsioonide ja muude failide põhjal on võimalik luua tudengitele laboritöö. Lisaks on plaanis kasutada töö koostamisel erinevate seadmete manuaale, standardeid ja protokolle. Püstitatud eesmärkide lahendamisel kasutan ka enda tööalaseid teadmisi antud valdkonnas, töökaaslaste abi ning töökohas (Elektrilevi Juhtimissüsteemide üksus) kasutatavaid materjale.

5. Uurimismeetodid

Esmalt on plaan tutvuda ABB demoalajaamaga, seal kasutusel olevate seadmete, tarkvara ja konfiguratsioonidega. Seejärel leida parim sobilik variant (paraja raskusastemega, hariv, aktuaalne) laboritööks, mis võiks tudengitele huvi pakkuda ja tulevikus kasuks tulla. Laboritöö idee väljamõtlemlisel sai kasutada enda töökogemust, kolleegide soovitusi ja juhendaja abi. Töö tulemuseni on plaan jõuda stendi algseadistusi (algolekut) muutes selliselt, et oleks võimalik välja töötada sobilik laboritöö. Lisaks laboritöö ja juhendi koostamisele on töö osaks teoreetiliste teadmiste andmine tarkvõrkude, alajaama automaatikaseadmete ja juhtimissüsteemide valdkonnast, kasutades näidetena demoalajaamas olevaid seadmeid.

6. Graafiline osa

Graafilise osa alla kuuluvad stendi elektri- ja sideskeemid. Lisaks laboritööga seotud stendi osaskeemid, tabelid testitavate lülitite, mõõtmiste ja signaalide kohta. Samuti SCADA-s koostatud andmebaas. Suurem osa graafilisest osast on lõputöö põhiosas.

7. Töö struktuur

1. Tarkvõrgud ja alajaamade digitaliseerimine
 - a. Tarkvõrgud ja nende olemus
 - b. Alajaamade digitaliseerimine ja automaatika
 - c. Magistritöö seos õppeainetega EES5180 Energiasüsteemide digitaliseerimine ja EEV5020 Energiahaldus elektri tarkvõrkudes
2. Demoalajaama seadmete ja kasutatavate tarkvarade kirjeldus
 - a. ABB stendi kirjeldus, eesmärk ja võimalused
 - b. Stendil kasutatavad seadmed
 - c. MicroSCADA kirjeldus
 - d. Laboritöös kasutatavad seadmed

3. Laboritöö metoodiline juhend
 - a. SCADA kasutamine ja pildi koostamine
 - b. REF615 kasutamine ja seadistamine
 - c. SCADA ja REF615 testimine
 - d. Süsteemi algoleku taastamine
4. Laboritööde juhendi koostamine
 - a. Laboritöö idee
 - b. Laboritöö jaoks tehtud muudatused demoalajaamas
 - c. Laboritöö: ABB demoalajaama SCADA ja REF615 seadistamine ja koostoimimise testimine
5. Kokkuvõte
Kasutatud kirjandus
Lisad
 - a. Signaalitabel
 - b. Lahendatud laboritöö

8. Kasutatud kirjanduse allikad

Lõputöö koostamisel on kasutusel erinevaid allikaid:

1. ABB manuaalid REF615, REC615, REC603, RTU540, SYS600 pro (SCADA)
2. Elektrilevi OÜ-s kasutusel olevad juhendid
3. ABB demoalajaama projekti failid

9. Lõputöö konsultandid

Elektrilevi OÜ SCADA spetsialistid.

10. Töö etapid ja ajakava

Töö ajakava etappide kaupa on esitatud järgnevalt:

1. Stendiga tutvumine (31.12.2018)
2. Kirjanduse läbitöötamine ja eeltöö tegemine laboritööks (31.01.2019)
3. Laboritöö idee ja kava täpne ettevalmistamine (21.03.2019)
4. Laboritöö teostamine (ja hindamine) magistritöö teostaja poolt ja algoleku taastamine (31.03.2019)
5. Metoodiline juhend valmis (10.04.2019)
6. Laboritöö lahendamine teise teostaja poolt (23.04.2019)
7. Teoreetiline osa valmis (30.04.2019)

8. Kokkuvõtte koostamine (30.04.2019)
9. Töö esmane versioon valmis (05.05.2019)
10. Juhendajale läbilugemiseks saatmine (05.05.2019)
11. Paranduste sisseviimine (10.05.2019)
12. Juhendajale teiseks läbilugemiseks saatmine (15.05.2019)
13. Töö lõplik versioon valmis (20.05.2019)
14. Tähtaeg (24.05.2019)

SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE.....	3
ABSTRACT	4
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE	5
EESSÕNA.....	12
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU	13
SISSEJUHATUS	14
1. Tarkvõrgud ja alajaamade digitaliseerimine	16
1.1 Tarkvõrgud ja nende olemus	16
1.2 Alajaamade digitaliseerimine ja automaatika.....	17
1.2.1 Sidelahendused ja –protokollid.....	19
1.2.2 Erinevad SCADA süsteemid	22
1.2.3 Alajaama automaatika	24
1.3 Magistritöö seos õppeainetega EES5180 Energiasüsteemide digitaliseerimine ja EEV5020 Energiahaldus elektri tarkvõrkudes	25
2. DEMOALAJAAMA SEADMETE JA KASUTATAVATE TARKVARADE KIRJELDUS	26
2.1 ABB stendi kirjeldus, eesmärk ja võimalused	26
2.2 Stendil kasutatavad seadmed	28
2.2.1 Terminalid	28
2.2.2 Sideseadmed	30
2.2.3 Teised demoalajaamas olevad seadmed	31
2.2.4 Tarkvarad.....	32
2.2.5 AJ1 ja AJ2 juhtimispaneelid.....	34
2.3 MicroSCADA kirjeldus	35
2.4 Laboritöös kasutatavad seadmed	36
3. LABORITÖÖ METOODILINE JUHEND	38

3.1 SCADA kasutamine ja pildi koostamine	38
3.1.1 ABB MicroSCADA kirjeldus ja tööpõhimõte	38
3.1.2 Ülesande püstitus.....	40
3.1.3 SCADA eelseadistus.....	40
3.1.4 Laboritöö alustamine ja kasutajaliidese tutvustus.....	45
3.1.5 SCADA pildi kontrollimine	56
3.2 REF615 kasutamine ja seadistamine.....	58
3.2.1 REF615 kirjeldus ja tööpõhimõte	58
3.2.2 Ülesande püstitus.....	59
3.2.3 REF615 seadistusvõimalused	59
3.2.4 REF615 LHMI ja ABB <i>Web</i> HMI kasutamine	60
3.2.5 Stendi kasutamine ja lülitamine	63
3.2.6 Stendi eelseadistus.....	65
3.2.7 REF615 parameetrite laadimine releesse	66
3.2.8 Testimine.....	68
3.3 SCADA ja REF615 testimine.....	69
3.3.1 Seadmete ühendamine	69
3.3.2 Süsteemi testimine.....	71
3.3.3 Testimise lõpetamine	74
3.4 Süsteemi algoleku taastamine	74
3.4.1 SCADA pildi kustutamine.....	74
3.4.2 REF615 seadistamine algolekusse.....	75
3.4.3 Laboritöö lõpetamine.....	75
4. LABORITÖÖDE JUHENDI KOOSTAMINE.....	76
4.1 Laboritöö idee	77
4.2 Laboritöö jaoks tehtud muudatused demoalajaamas	77

4.3 Laboritöö: ABB demoalajaama SCADA ja REF615 seadistamine ja koostoitimise testimine	80
KOKKUVÕTE	84
SUMMARY	86
KASUTATUD KIRJANDUS	88
LISAD	91
Lisa 1 Täismahus signaalitabel AJ2 kohta	92
Lisa 2 Teostatud laboritöö	94
L.2.1 Lähteülesanne	96
L.2.2 SCADA pilt.....	96
L.2.3 AJ2 pingemõõtmiste protsessiobjektid	97
L.2.4 SCADA ja REF615 seadistus- ja testimisprotsessi lühikirjeldus	97
L.2.5 Alarmide ja sündmuste logi.....	98
L.2.6 Järeldus.....	99

EESSÕNA

Lõputöö teema on „ABB demoalajaamale laboratoorse töö ja metoodilise juhendi väljatöötamine“. Töö teema pakkus välja juhendaja professor Argo Rosin. Valikul sai oluliseks võimalus tutvuda lähemalt demoalajaama seadmete ja tarkvaradega ning selle praktiline väärtus. Laboritöös käsitletavat seadmed ja tarkvarad on ka hetkel elektrivõrgus kasutusel mistõttu võiks see tudengitele tulevikus kasuks tulla.

Soovin tänada juhendajat ja kolleege Elektrilevi Juhtimissüsteemide üksusest, kellega sai küsimuste korral konsulteerida.

Autori kontaktandmed:

Nimi: Raimo Lilletai

E-post: raimolilletai@hotmail.com

Telefon: 56676826

Töökoht: Elektrilevi OÜ

Amet: SCADA spetsialist

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

<i>ASDU</i>	<i>Application Service Data Unit</i>
<i>DMS</i>	<i>Distribution Management System</i>
<i>Gateway</i>	Lüüs
<i>GOOSE</i>	<i>Generic Object Oriented Substation Events</i>
<i>GPS</i>	<i>Global Positioning System</i>
<i>HMI</i>	<i>Human Machine Interface</i>
<i>IEC</i>	Rahvusvaheline Elektrotehnikakomisjon (<i>International Electrotechnical Commission</i>)
<i>IED</i>	Intelligentne elektroonikaseade/kohtterminal (<i>Intelligent Electronic Device</i>)
<i>I/O</i>	<i>Input/Output</i>
<i>IP</i>	Internetiprotokoll (<i>Internet Protocol</i>)
<i>LAN</i>	<i>Local Area Network</i>
<i>LED</i>	Valgusdiod (<i>Light Emitting Diode</i>)
<i>LHMI</i>	<i>Local Human Machine Interface</i>
<i>LL</i>	Lahklüliti
<i>ML</i>	Maanduslüliti
<i>NTP</i>	<i>Network Time Protocol</i>
<i>OSI</i>	<i>Open System Interconnection</i>
<i>PKVA</i>	Pinge järgi koormusvähendamise automaatika
<i>RLA</i>	Reservlülitusautomaatika
<i>RTU</i>	Kaugterminal (<i>Remote Terminal Unit</i>)
<i>SA</i>	Sagedusautomaatika
<i>SCADA</i>	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
<i>SLD</i>	Ühejooneskeem (<i>Single Line Diagram</i>)
<i>SNTP</i>	<i>Simple Network Time Protocol</i>
<i>Switch</i>	Kommutaator
<i>TLA</i>	Taaslülitusautomaatika
<i>TCP</i>	<i>Transmission Control Protocol</i>
<i>VL</i>	Võimsuslüliti
<i>VLTK</i>	Võimsuslüliti tõrkekaitse
<i>VPN</i>	Virtuaalne privaatvõrk (<i>Virtual Private Network</i>)

SISSEJUHATUS

Magistritöö eesmärk on anda ülevaade ABB demoalajaamast, seal kasutatavatest seadmetest ning luua selle põhjal laboratoorse töö metoodiline juhend. Töö põhiosa on jaotatud erinevateks peatükkideks, kus räägitakse elektri tarkvõrkudest, alajaamade digitaliseerimisest, ABB demoalajaama seadmetest ning nende seadistamise tarkvaradest, SCADA-st ning erinevatest sidelahendustest ja –protokollidest andmeedastusel. Lõputöö kandvaks osaks on laboratoorse töö metoodiline juhend ning selle koostamise protsessid.

Tarkvõrk on moodsat tehnoloogiat kasutatav elektrivõrk. Tarkvõrgu arengu eelduseks on erinevate intelligentsete seadmete lisamine võrku, mis tegelevad pidevalt selle jälgimisega, erinevate mõõtmiste sooritamisega, juhtimisega ning suhtlemisega teiste tarkvõrgu osalejatega. Targa elektrivõrgu üheks osaks on digitaliseeritud alajaamad, mida on võimalik seirata ja juhtida, kasutades selleks vastavat dispetšisüsteemi (*SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition*). Kasvav tarkade seadmete hulk võimaldab omada paremat ülevaadet võrgus toimuvast ning muuta see automaatsemaks. Tarkvõrgu osalejate vaheline pidev suhtlus nõuab ka töökindlat, kiiret ja turvalist sidelahendust, et andmevahetus nende vahel toimiks korrektselt.

Magistritöö koostamisel on kasutatud erinevaid infoallikaid, milleks on demoalajaama seadmete ja tarkvarade juhendid, teemaga seonduvad lõputööd ja artiklid ning elektrivõrgu juhtimissüsteemi raamat. Peale selle on informatsiooni võetud demoalajaama projektist, kus on ära toodud demoalajaama skeemid ja seadmete loetelud. Lisainformatsiooni on võetud Elektrilevi OÜ sisedokumentidest.

Põhiosa esimene peatükk kirjeldab tarkvõrku ning selle olemust ja annab ülevaate alajaamade digitaliseerimisest. Alajaamade digitaliseerimise osas on välja toodud digitaliseerimisel kasutatavad seadmed ning kirjeldatud andmehõivesüsteemi ning alajaamade vahelist sidelahendust, koos erinevate andmehõivesüsteemide, sidelahenduste ning –protokollide näidetega. Peale selle räägib peatükk Tallinna Tehnikaülikooli Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi õppeainete EES5180 Energiasüsteemide digitaliseerimine ja EEV5020 Energiahaldus elektri tarkvõrkudes ning magistritöö vahelisest seosest.

Teine peatükk keskendub ABB demoalajaama seadmetele ja erinevatele tarkvaradele. Välja on toodud demoalajaama peamised seadmed ning nende eesmärgid, kaug- ja kohtterminali seadistamise tarkvarad ning alajaama jälgimis- ja juhtimissüsteem.

Magistritöö kolmas ja kõige mahukam osa on laboratoorse töö metoodiline juhend. Peatükk on jaotatud neljaks alapeatükiks, mis kirjeldab laboritöö osasid, mis tuleb laboritöö käigus teostada. Juhendi esimene osa keskendub ABB MicroSCADA tarkvarale, selle kasutamisele ja seadistamisele. Teises osas on kirjeldatud fiidriterminali REF615 seadistamist ja kasutamist. Selle osa hulka kuulub ka juhend AJ2 (REF615 terminali juhitud alajaam) juhtimispaneeli kasutamiseks. Metoodilise juhendi kolmas osa on SCADA ja alajaama vahelise ühenduse loomise ja testimise kohta. Peatüki viimane osa juhendab taastama demoalajaama laboratoorse töö eelset seisundit.

Neljandas peatükis on välja toodud laboratoorse töö koostamiseks tehtud muudatused. Kirjeldatud milliseid seadmeid ja rakendusi tuli muuta, et välja töötada sobilik laboratoorne töö. Samuti on peatükis laboritöö ülesande leht.

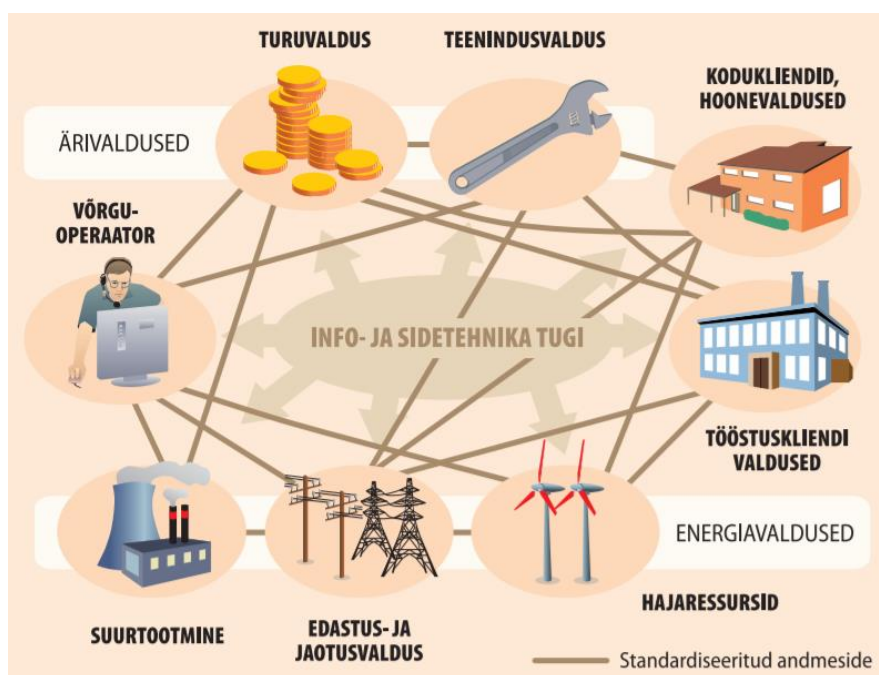
Magistritöö ühe lisana on välja toodud SCADA andmebaasi põhjal tehtud signaalitabel REF615 juhitud alajaama kohta. Teine lisa on autori poolt sooritatud laboratoorse töö aruanne.

1. Tarkvõrgud ja alajaamade digitaliseerimine

1.1 Tarkvõrgud ja nende olemus

Tarkvõrguks (*smart grid*) nimetatakse elektrivõrku, mis kasutab moodsat tarkvara, seadmeid ja sidetehnoloogiat infovahetuseks võrgus osalejate vahel. Tarkvõrgu osalejateks on erinevad elektritootjad, -edastajad, -arveldajad, -tarbijad ja seadmeteindajad, kes ühendatakse side- ja elektrivõrgu abil ühtsesse süsteemi, mis tagab nendevahelise kahesuunalise digitaalse andmeside ja energiavoo. Selline süsteem loob võimaluse ulatuslikumale hajatoomisele ning aitab suurendada energiakasutuse optimeerimist, võrgu töökindlust ja energia ostu-müügitehingute läbipaistvust. [3]

Tarkvõrgu olemus on selgitatud joonise 1.1 abil, mis näitab omavahelist seotust tarkvõrgu erinevate huvigruppide ja ärivalduste vahel. Tarkvõrk toimib hajusjuhtimissüsteemi põhimõttel ning on iseorganiseeruv. Kõikidel turuosalistel on võimalik saada infot süsteemi võimsusbilansi järgi kujuneva energiahinna kohta ning kujundada selle järgi enda käitumismustrit. Hajutatud turuosaliste huvidepõhine käitumine stabiliseerib energia turuhinda ja võimsusbilanssi, mille tulemusena jõutakse teatud energiatarbimise ja majandusliku optimumini, mis on kokkuvõttes kasulik kogu ühiskonnale. [3]



Joonis 1.1 Euroopa tarkvõrgu põhimõtetemudel GENELECI standardi järgi [3]

Infoedastus tarkvõrgu osalejate vahel käib digitaalsete infokanalite kaudu, mis muudab info- ja sidetehnoloogia terviksüsteemi üheks tähtsaimaks osaks. Infoedastus erinevate osapoolte vahel läbi erinevate sidekanalite toob esile ühe põhiprobleemi, milleks on küberturbe tagamine. Lisaks on tähtis, et andmeedastus toimiks kiiresti, täpselt, suurte vahemaade tagant ning reaalajas. [3]

Tarkvõrgu teolised ehk hajutatud turuosalised võtavad vastu otsuseid energia tootmise, tarbimise, energiavoogude reguleerimise, teenuste, ostu-müügi ja teiste toimingute kohta. Enamik tarkvõrgu turuosalisi on automaadid, mis toimivad ja võtavad otsuseid vastu iseseisvalt. Neid automaate nimetatakse intelligentseteks elektroonikaseadmeteks ja ka intelligentseteks agentideks. Intelligentsed agendid jälgivad pidevalt erinevate andurite ja andmesidekanalite kaudu elektrivõrku ja turul kujunevat hinda. Seadmed on programmeeritud arvestades nende omanike energiakasutuse soove ning käituvad vastavalt etteantud programmile. Selliselt võib agent elektri turuhinna muutumisel lõpetada, alustada või reguleerida tarbimist, et optimeerida kulusid. [3]

Tarkvõrgu eelduseks on intelligentsete elektroonikaseadmete olemasolu süsteemis, et tagada pidev jälgitavus võrgus toimuva üle ning edastada ja saada infot teistelt võrgu osalistelt. Infomahtude pideval edastamisel on tähtis, et andmeedastuskanal oleks kiire, töökindel, täpne ja turvaline. Kuna aja jooksul tarkvõrgu osaliste arv aina suureneb, peab tarkvõrgu arendamisel arvestama üha kasvavate andmemahtude ja täpsusvajadusega. Sellisel viisil on võimalik tagada tarkvõrgu efektiivne toimimine.

1.2 Alajaamade digitaliseerimine ja automaatika

Elektrivõrkude moderniseerimise üks eesmärkidest on uute seadmete ja mõõtesüsteemide rakendamine nii põhi- kui jaotusvõrgu alajaamades. Alajaamadest rohkemate ja täpsemate andmete saamiseks paigaldatakse võrku järjest rohkem seadmeid, mis suudavad koguda, edastada ja vastu võtta infot. Moodsate alajaamade seadmete hulka kuuluvad erinevad sideseadmed, kaug- ja kohtterminalid, rikkeindikaatorid ja arvestid, mis koos võimaldavad anda parema ülevaate elektrivõrgus ja alajaamas toimuvast ning neid juhtida.

Kohtterminalid on alajaama seadmed, mis täidavad kaitse-, jälgimis-, juhtimis-, mõõtmis-, automaatika- ja muid loogikafunktsioone. Tänapäevased alajaamades kasutatavad kohtterminalid on mikroprotsessoripõhised intelligentsed elektroonikaseadmed ehk digireleed (punktis 2.2.1 on näited demoalajaama digireleedest). Nende ülesanne on koguda primaarseadmetelt

informatsiooni, seda töödelda ning teha otsuseid releekaitse ja automaatika rakendamiseks ning edastada sündmuste info alajaama kaugterminalile (RTU-le). [23]

Kaugterminalide ehk RTU-de (*Remote Terminal Unit*) ülesanne on koondada alajaama informatsioon ja edastada see dispetšisüsteemile (SCADA – *Supervisory Control and Data Acquisition*). Andmeedastus RTU-st SCADA-sse toimub üldjuhul IEC 60870-5-104 andmesideprotokolli kasutades, RTU ja kohtterminalide vahel IEC 61850 protokolliga. Magistritöö käigus kasutatud ABB RTU näide on punktis 2.2.1.

Alajaama sideseadmete hulka võivad kuuluda erinevad kommutaatorid (*switch*), ruuterid ja lüüsid (*gateway*). Kommutaatoreid kasutatakse alajaama kohtvõrgu seadmete ühendamiseks omavahel. Ruuterid ja lüüsid on seadmed, mille abil on võimalik ühendada erinevad kohtvõrke. Lüüside erinevus ruuteritest seisneb rohkema kui ühe sideprotokolli kasutamisel ja võimalusel toimida kõikides OSI mudeli kihtides.

Lisaks on alajaamades rikkeindikaatorid ja arvestid. Rikkeindikaatorid registreerivad erinevaid alarme, mõõtmisi ja signaale ning edastavad saadud info kesksüsteemi. Arvestite eesmärk on mõõta energiatarbimist alajaamas ja muudes tarbimispunktides.

Elektrivõrgu andmehõivesüsteemi keskusteks on alajaamad, kus toimub andme kogumine ja edastamine kesksesse süsteemi. Elektrivõrgu juhtimine ja jälgimine toimub dispetšisüsteemis ehk SCADA-s. Alajaamast tulevad andmed jõuavad läbi sidevõrgu kesksüsteemi sideserverisse ja sealt edasi SCADA serverisse. SCADA rakendus kuvab võrguoperaatorile sideühendusega alajaamade hetkeolukorra, alajaamades esinevad sündmused ja alarmid ning lubab operaatoril teha alajaamades vajalikke lülitusi.

Alajaama ja SCADA vahelisel suhtlusel käib pidev andmevahetus terviksüsteemi kahe osa vahel kaabel- või raadiosidet kasutades. Andmete edastuse korral kerkib esile küsimus selle turvalisuses. Infoturbe kolm olulisemat elementi on info konfidentsiaalsus, terviklikkus ja kättesaadavus. Kui harilikes infotehnoloogia süsteemides järjestatakse need olulisuse järgi konfidentsiaalsus, terviklikkus ja seejärel kättesaadavus, siis automaatikasüsteemide puhul on see üldjuhul vastupidi – kättesaadavus, terviklikkus, konfidentsiaalsus. Kuna automaatikasüsteemide informatsioon peab olema eelkõige kättesaadav, muudab see süsteemi avatumaks rünnakute vastu. Seega on tähtis kättesaadavuse tagamisel mitte unustada sellega kaasnevat turvariske. Terviklikkus viitab informatsiooni kaitsmisele volitamata muudatuste eest, seega on oluline, et süsteem suudaks avastada, kas seadmetest tulnud info on rikutud või mitte. Konfidentsiaalsuse punkt infoturbes

tähendab info varjamist volitamata isikute eest ning seda teostatakse erinevate info krüpteerimismetoodikatega. [16]

Alajaamade digitaliseerimisega on võimalik muuta elektrivõrgus toimuvad protsessid automaatseks ja kiiremaks ning samuti võimaldab see omada täpsemat infot seal toimuvast. Joonisel 1.2 on toodud põhimõtteskeem kaugjuhtimisest ja seirest alajaamades ning selle süsteemi põhilistest komponentidest.



Joonis 1.2 Kaugjuhtimine ja seire alajaamades [1]

1.2.1 Sidelahendused ja –protokollid

Andmeside ülesanne on ühendada omavahel kaks või enam seadet informatsiooniedastuse eesmärgil. Selleks, et erinevad seadmed oskaksid üksteisega suhelda, on andmevahetusel tähtis kindlate reeglite ja protokollide täitmine. Alajaamade ühenduse puhul on tähtis, et andmeedastus oleks kahe-suunaline. [16]

Sidelahendused

SCADA ja alajaama vaheline andmevahetus võib toimuda raadio- ja kaabelside kasutades. Suuremate alajaamade puhul on üldiselt sidelahendused dubleeritud, et tagada ühendus ka siis, kui üks lahendustest ei tööta. Kuna mitmed alajaamad paiknevad kohtades, kus kaabelside ei ole võimalik, kasutatakse hajapiirkondades enamjaolt raadiosidet. Tänapäevastes alajaamades toimub

sideedastus üle TCP/IP võrgu, kuid elektrivõrgus leidub ka alajaamasid, kus andmeedastus käib veel järjestikühendust (*serial*) kasutades.

Raadioside

Sidetehnoloogiad, mida kasutatakse andmevahetuseks, on digitaalsidel põhinevad 2G, 3G ja 4G mobiilsidetehnoloogiad. Mobiilsidet kasutades on võimalik alajaamast kogutud informatsioon edastada SCADA kesksüsteemi raadiolainete abil. Infoedastusel kasutatakse tavaliselt mobiilsideoperaatorite võrku, kuid mitmed jaotusvõrguettevõtted üle maailma on sidepidamiseks rajanud ka enda privaatse võrgu. 2G, 3G ja 4G puhul liiguvad andmed võrgus TCP/IP protokolliga kasutades. Järjest enam kasutatakse alajaamades 4G toega modemeid, mis võimaldavad edastada suuremaid andmemahutusid ning tagavad parema töökindluse ja sidekvaliteedi. Lisaks on mobiilsideoperaatorid öelnud, et lähiajal plaanitakse 2G ja 3G võrkude sulgemist, mistõttu on 4G modemite kasutamine perspektiivikam tulevikku vaadates. [1]

ABB demoalajaamas on võimalik luua ühendus alajaama ja SCADA vahel, kasutades raadiosidet. Selleks on alajaama seadmete seas Arctic 3G Gateway, kuhu on paigaldatud mobiilsideoperaatori SIM-kaart GPRS pakettandmesideteenuse kasutamiseks.

Kaabelside

Kaabelside puhul kasutatakse meediumina optilist või vaskaablit. Kaabelside eelis raadioside ees on suuremate andmehulkade edastamise võimalus ja parem töökindlus ning kvaliteet. Samas eeldab see sidevõrgu olemasolu või selle väljaehitamist, mis võib antud lahenduse muuta tunduvalt kallimaks. Alajaama seadmete omavaheliseks ühendamiseks kasutatakse kaabelsidet, kasutades optilist või vaskaablit üle TCP/IP võrgu või järjestikühenduskaablit. Lisaks on osade signaalide edastamiseks kohtterminalide vahel kasutusel kaabel elektrilise side loomiseks, et vältida tähtsate signaalide kadumist andmeside probleemide korral.

ABB demoalajaamas on võimalik luua ühendus alajaama ja SCADA serveri vahel lisaks raadiosidele ka kaabelsidega (vaskaabel CAT5 ning RJ45 tüüpi pistik), ühendades omavahel demoalajaama kappide kommutaatorid. Selliselt saab süsteemi ühendada samasse kohtvõrku.

Sideprotokollid

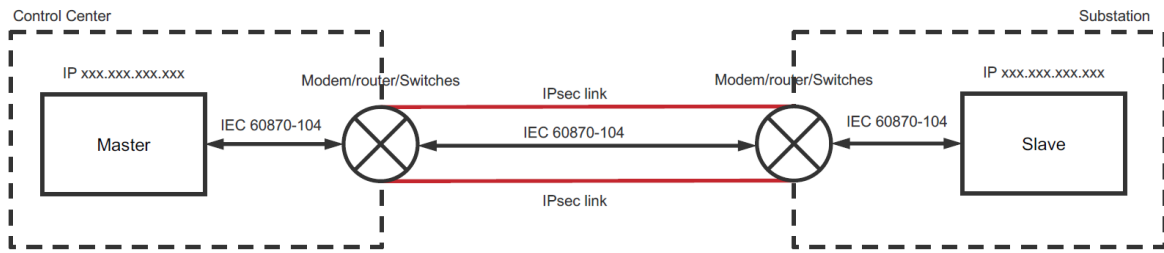
Sideprotokoll on reeglite kogum, mis juhib kahe identse ühel funktsioonitasandil oleva võrgusõlmevahelist dialoogi. Protokollid määravad liidestamise ning ühenduse vabastamise tegevused, andmeblokkide edastamise järjekorra, andmete formaadid jm protseduurid. Sideprotokollid teostavad andmete edastuse ja marsruutimise integreeritud võrgus. [24]

Antud peatükis on täpsemalt ära toodud ainult demoalajaamas rakendatud TCP/IP võrgu sideprotokollid IEC 60870-5-104 ja IEC 61850, mis on laialdaselt ka kasutusel Eesti ja Euroopa elektrivõrkudes.

IEC 60870-5-104

IEC 60870 standardiseeria käsitleb kaugjuhtimisseadmeid- ja süsteeme ning selle viies peatükk on pühendatud andmeedastusele elektrisüsteemides. Sideprotokoll katab kaugjuhtimise, releekaitse, energia arvestuse, elektriliste mõõtmiste jm sidevajadused. IEC 60870-5-104 (lühemalt IEC 104) sideprotokollid kasutatakse telejuhtimise ja infovahetuse puhul alajaama ja SCADA vahel üle TCP/IP võrgu. IEC 104 on edasiarendus IEC 60870-5-101 protokollile, mida kasutatakse järjestikside puhul. IEC 101 ja IEC 104 erinevus seisneb transpordi-, võrgu-, kanali- ja füüsilises kihis OSI mudeli järgi. IEC 60870-5-104 eesmärgiks on tagada toimiv ja turvaline side RTU ja SCADA vahel. IEC 60870 standardiseeria hulka kuulub ka IEC 60870-5-103 protokoll, mida kasutatakse alajaama seadmete vahel (kaug- ja kohtterminalide vahel) ning tugineb järjestiksidel. Eesti jaotusvõrguettevõttes Elektrilevi OÜ on peamiselt kasutusel IEC 104 protokoll, kuid veel mõned üksikud sidelahendused põhinevad IEC 101 protokollil. [24]

IEC 60870-5-104 protokollid on tähtis juhtimise ja jälgimise adresseerimise suund. Süsteemi tsentraliseeritud juhtimise puhul on oluline arvestada süsteemi hierarhiaga. IEC 60870-5-104 protokollid järgi jagunevad seadmed ülemaks ja alluvaks (*Master/Slave*). Kontrollitavad seadmed (alajaamad) on alluvad, keda juhitakse ülemseadme poolt (SCADA). Protokoll defineerib ka käskude ja andmete liikumise suuna: jälgimise suund (andmed RTU-st SCADA-sse), juhtimise suund (käsk SCADA-st RTU-sse) või pööratud suund (RTU saadab SCADA-sse käsked ning SCADA andmeid RTU-sse). Joonisel 1.3 on lihtsustatud põhimõtteskeem ülem- ja alluvseadme sidevahetuse kohta. [26]



Joonis 1.3 Põhimõtteskeem ülem- ja alamseadme infovahetusest IEC 60870-5104 protokolliga kasutades [28]

IEC61850

IEC 61850 standardiseerib käsitleb alajaama sidevõrke ja –süsteeme. IEC 61850 side toimib üle TCP/IP võrgu. Protokoll eesmärgiks on luua side alajaama seadmete vahel ning tegeleda andmete edastamisega. Vanemates alajaamades on IEC 61850 protokoll asemel kasutusel järjestiksisel põhinevad IEC 60870-5-103 või Modbus protokollid. Kuigi IEC 61850 täiendustega on seda võimalik kasutada ka alajaama ja andmehõive- ja juhtimissüsteemi vahel, siis jaotusvõrgu alajaamade puhul seda Eestis ei kasutata. [24]

Alajaama kohtterminalide omavahelise andmevahetuse puhul kasutatakse IEC 61850 protokollis määratud GOOSE sõnumeid. Kõrge prioriteetsusega GOOSE sõnumeid kasutatakse automaatikafunktsioonide puhul. Nende eeliseks on kiire infovahetus, mis on mitmete automaatikafunktsioonide töötamiseks oluline. [24]

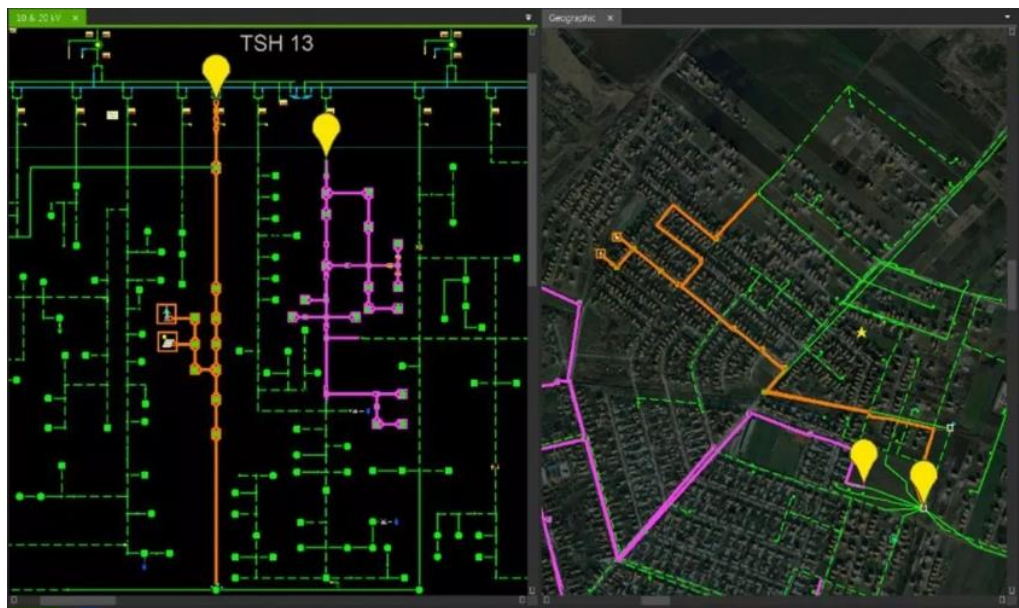
1.2.2 Erinevad SCADA süsteemid

Alajaamade digitaliseerimisega kaasnevad oluliselt suuremad võimalused alajaama juhtimiseks ja jälgimiseks. Suuremad andmemahud ja digitaalsete intelligentsete seadmete kasutamine nõuab vastavat süsteemi, mis suudab täita süsteemioperaatori vajadusi. Kasutatavad SCADA süsteemid peavad olema võimalised täitma erinevaid jälgimis- ja juhtimisülesandeid, suutma säilitada infot alajaamades toimuva kohta, olema võimalikult selged ja lihtsad operaatoritele kasutamiseks, tagama piisava ülevaate võrgust ning teavitama kasutajat tekkinud rikete kohta. Lisaks peab süsteem olema turvaline, et kaitsta andmeid volitamata isikute eest. Peale selle on tähtis süsteemi töökindlus, et tagada püsiv ja ohutu elektrivarustus tarbijatele.

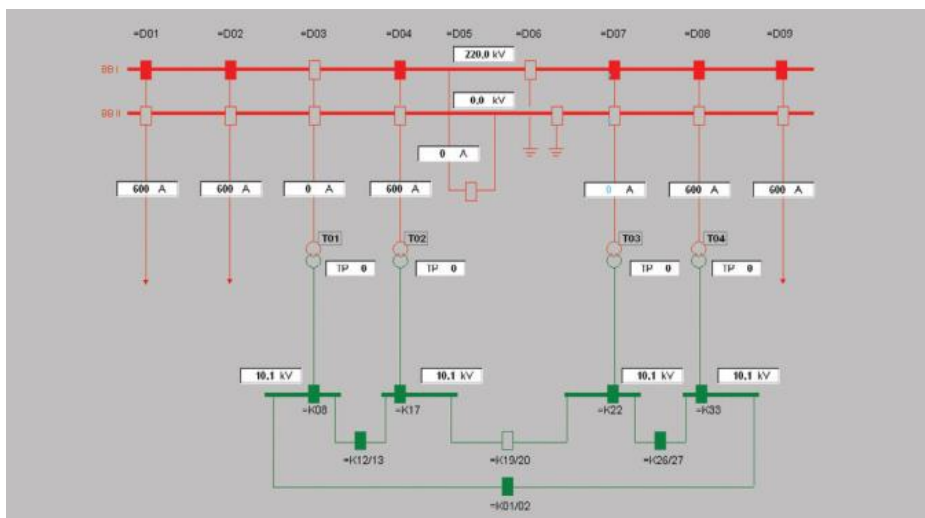
SCADA süsteeme kasutatakse peale elektrivõrkude jälgimise ja juhtimise ka mitmetes teistes valdkondades. Erinevad SCADA süsteemid on kasutusel tööstustes, gaasi-, side-, veetaristutes jne.

Elektrivõrkudele orienteeritud SCADA-t pakuvad mitmed ettevõtted nagu näiteks ABB, Schneider Electric, General Electric, Siemens, OSI ja Alstom.

Schneider Electric ADMS (*Advanced Distribution Management System*) on Schneider Electricu loodud tarkvara platvorm, mille üheks osaks on SCADA. Joonisel 1.4 on Schneider Electricu pakutava SCADA kasutajaliidese pilt geograafilisest ja skeemivaatest. Siemensi toode SIMATIC WinCC kasutajaliidese näide alajaama ühejooneskeemist on joonisel 1.5. Demoalajaama laboritöös kasutatava ABB MicroSCADA kasutajaliidese näide on joonisel 3.2.



Joonis 1.4 Näide Schneider Electric ADMS kasutajaliidest [27]



Joonis 1.5 Siemensi pakutava SCADA SIMATIC WinCC kasutajaliides [29]

1.2.3 Alajaama automaatika

Automaatikaseadmete ülesanneteks energiasüsteemides on tagada elektrienergia genereerimine, ülekandmine, jaotamine, energiasüsteemi optimaalne töökindluse tase, energia optimaalne kvaliteet ning selle optimaalne tootmine ja tarbimine. Järgnevalt on välja toodud mõned põhilised alajaamades kasutatavad automaatikafunktsioonid. [25]

1. **Reservilülitusautomaatika** ehk **RLA** eesmärk on alajaama toitekindluse suurendamine automaatsete lülituste teostamisega. RLA-d kasutatakse alajaamades, kus on kaks või enam toiteliini, ning see toimib toiteliini pinget kontrollimisel. Juhul kui normaaltoiteliini pinget kaob, kontrollib alajaama automaatika pinget olemasolu reservliinil, lülitab pinget kaotanud toiteliini võimsuslüliti või koormuslüliti välja ning seejärel lülitab etteantud viitega reservliini võimsus- või koormuslüliti sisse. Selliselt taastab alajaama automaatika iseseisvalt toite. RLA loogika on üldjuhul tehtud RTU-s või selle tarbeks lisatud eraldi kontrollis. Lisaks peab RLA loogika kontrollima kõikide faaside pinget ning arvestama võimalike maaühendustega võrgus.[1]
2. **Taaslülitusautomaati** ehk **TLA-d** kasutatakse toite taastamisel liini rikkalise väljalülitumise korral. Liigvoolu või maaühenduskaitsete rakendumisel lülitub liini võimsuslüliti välja, mille peale TLA funktsioon lülitab määratud viite korral lüliti uuesti sisse. Väljalülitumise korral võib olla rakendatud ka teine viide, mis määratud viite korral viib võimsuslüliti uuesti suletud asendisse. Selliselt suudab alajaama automaatika taastada rikkeid, mille põhjused ei ole püsivad (nt hetkeline maaühendus, mis on tekkinud puuokste kokkupuutel liiniga). Seadmete kaitse tõttu on TLA kasutusel üldjuhul ainult õhuliinide puhul. [1]
3. **Võimsuslülitite tõrkekaitse** ehk **VLTK** on automaatikafunktsioon, mille ülesanne on eraldada süsteemi rike kindlaksmääratud võimsuslüliti tõrke korral. [25]
4. **Pinget järgi koormusvähendamise automaatika** ehk **PKVA** on koormusvähenduskaitseline, mille ülesandeks on koormuse vähendamine alapinge tekkimise korral. Kui süsteemi (või alajaama) tarbimine on liiga suur ning pinget väärtus muutub seetõttu liiga väikeseks, lülitab automaatika määratud loogika alusel etteantud lüliti(-d) välja, jättes osa süsteemist toiteta, kuid tagades seetõttu süsteemi optimaalse pinget. [25]
5. **Sagedusautomaatika** ehk **SA** on sarnaselt PKVA-le koormusvähenduskaitseline, kuid pinget mõõtmise asemel toimuvad lülitused sageduse väärtuse alusel. Alasageduse korral lülitab automaat etteantud loogika alusel määratud lülitiid välja süsteemi sageduse tõstmiseks.[25]

1.3 Magistritöö seos õppeainetega EES5180 Energiasüsteemide digitaliseerimine ja EEV5020 Energiahaldus elektri tarkvõrkudes

Magistritöö idee on luua laboritöö ABB demoalajaama kohta kasutamaks seda õppe-eesmärgil Tallinna Tehnikaülikooli Inseneriteaduskonna Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi õppeainetes EES5180 Energiasüsteemide digitaliseerimine ja EEV5020 Energiahaldus elektri tarkvõrkudes.

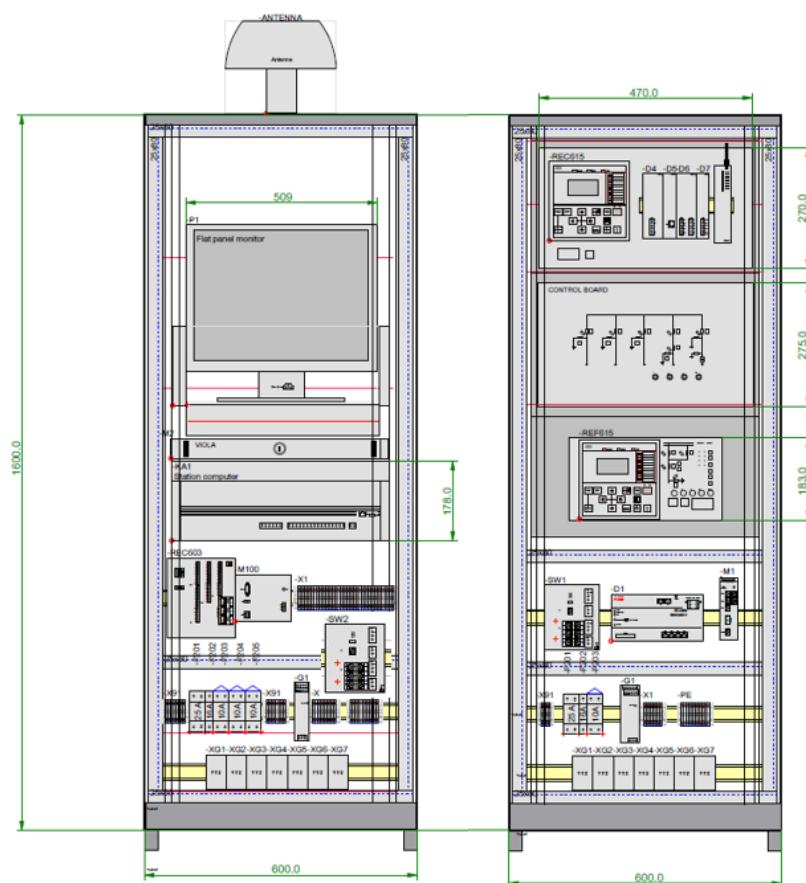
EES5180 – Energiasüsteemide digitaliseerimise õppeaine kuulub Elektroenergeetika magistritaseme õppekava AAVM02/18 hulka. Selle eesmärkideks on anda teadmisi energiasüsteemide digitaliseerimise valdkonnas, selle põhimõtetest ja vajalikkusest. Lisaks keskendutakse info- ja andmesidesüsteemidele energeetikas ning küberturvalisusele, vaadatakse lähemalt energiasüsteemide digitaliseerimise tulevikurakendusi, majanduslikku mõju ning juriidilist olemust. [22]

EEV5020 – Energiahaldus elektri tarkvõrkudes õppeaine kuulub Elektroenergeetika AAVM02/18 ja Energiamuundus- ja juhtimissüsteemid AAAM02/18 magistritaseme õppekavade hulka. Õppeaine eesmärkide ja õpiväljundite hulka kuuluvad ülevaate andmine intelligentsetest elektrivõrkudest ning nende IKT lahendustest sh mõõtmis-, andmeside- ja automaatikasüsteemidest. Lisaks arendada üliõpilastes erinevate elektritootmist ja –tarbimist balansseerivate tehnoloogiate, meetodite ja algoritmide väljatöötamis- ja rakendamisoskust intelligentsetele elektrivõrkudele. [21]

Demoalajaama laboritöö on sobilik nii Elektroenergeetika kui Energiamuundus- ja juhtimissüsteemide õppekava tudengitele EES5180 ja EEV5020 õppeainete raames. Laboritöö käigus saab tudeng tutvuda alajaama automaatikaseadmetega, intelligentse elektroonikaseadme seadistamisega, juhtimispaneeli kasutamisega (lülitite lülitamine ja pingete ning voolude muutmine), SCADA seadistamise ja kasutamisega, alajaama ja SCADA vahel side loomisega, andmeedastusvõimaluste ja kasutatavate sideprotokollidega.

2. DEMOALAJAAMA SEADMETE JA KASUTATAVATE TARKVARADE KIRJELDUS

Tallinna Tehnikaülikooli NRG-429 ruumis asuv ABB demoalajaam (joonis 2.1) on ehitatud ja seadistatud ABB poolt ja antud ülikoolile 2015ndal aastal õppe-eesmärgil. Süsteem kujutab endast suuremalt jaolt tänapäevase alajaama sekundaarseadmeid ja selle juhtimissüsteemi. Alajaama primaarseadmed (lülitid, trafod jne) on asendatud trükkplaadi ja sellega seotud juhtimispaneeliga, mille abil on võimalik nende tööd simuleerida. Stendi ennast ja selle seadmeid seadistades ja kasutades on üliõpilastel võimalik saada hea ülevaade alajaamas toimuvast.



Joonis 2.1 ABB demoalajaama kapid 02.R (vasakul) ja 01.R paremal [6]

2.1 ABB stendi kirjeldus, eesmärk ja võimalused

Demoalajaam on jaotatud kahe kapi (01.R ja 02.R) vahel. 01.R (joonis 2.1) kappi on installeeritud seadmed, mis tavaolukorras paiknevad alajaamas (releekaitseseadmed, RTU, sideseadmed: kommutaatorid ja lüüsid, primaarseadmed), ning 02.R kapis on seadmed, mis asuvad juhtimiskeskuse poole peal (SCADA arvuti ja server, sideseadmed ja vastuvõtjad). Elektriliselt on

kapid omavahel lahus, kuid sideühenduse saab nende vahel luua LAN-kaablit või 3G võrku kasutades. [6]

01.R seadmete hulka kuuluvad ABB digireleed REC615 ja REF615 koos nende kontrollpaneelidega. Kontrollpaneelidel on alajaama skeemid ning lülitid, millega on võimalik reaalseid lülitusi imiteerida, ja keerdnupud, millega on võimalik voolude ja pingete väärtusi muuta. REC615 kaitsereele juurde kuulub ka RIO600 seade, mis on sisendite-väljundite lisamoodul. RER601 *wireless gateway* sidemoodul täidab lisaks andmeedastusele ka protokollikonverteri rolli. Teine paigaldatud raadiosidemoodul on Arctic 3G Gateway, millele on omistatud SIM-kaart andmeside edastuseks. Siin kohal peab märkima, et demoalajaamas kasutatava SIM-kaardi andmemahut on piiratud, mistõttu see ei ole hetkel kasutatavate sidelahenduste seas. Kaugterminalina on 01.R kapis ABB RTU540 kaugterminal, mis vahendab infot alajaama seadmete ja SCADA vahel. Kommutaator ABB AFS660 abil on *Ethernet* kaabliga ühendatud 01.R kapi seadmed (REF615, REC615, Arctic 3G, RTU540, RER601) ning tagatud võimalus luua ühendus 02.R kapis asuva kommutaatori ABB AFS650-ga. Kahe kommutaatorivahelise side loomine on lihtsaim võimalus ühendada mõlema kapi seadmed omavahel. [6]

02.R kapp kujutab endast juhtimiskeskuses olevat süsteemi. Kasutades raadiosidet, on võimalus edastada 01.R seadmetele käsked ning jälgida alajaamas toimuvat ilma füüsilise sidekanali loomiseta AFS660 ja AFS650 vahel. Tööarvutina on kasutusel ORDI personaalarvuti, millel on Windows 7 operatsioonisüsteem. Tarkvaradena on arvutisse installeeritud dispetšisüsteem MicroSCADA SYS600 Pro, võrguhaldussüsteem DMS600, RTU konfigureerimistarkvara RTUtil500 ning digirelee konfigureerimistarkvara PCM600, mis on kõik ABB süsteemid. Viola M2M Gateway näol on tegemist VPN serveriga, mis võimaldab luua VPN ühenduse kohaliku võrgu ja kaugterminalide vahel. Meinberg M100 GPS kella ülesandeks on kõikide võrgus olevate seadmete kellaegade sünkroniseerimine, kasutades selleks GPS signaali. REC603 juhtmevaba kontroller võimaldab täita nii juhtimise ja jälgimise ülesandeid kui ka protokollimuutmise ja sideseadme ülesandeid. Omavahel on eelpool nimetatud seadmed ühendatud *Ethernet* liidesega läbi AFS650 kommutaatori (sarnaselt 01.R seadmetele), mis on omakorda võimalik ühendada välisvõrku (*public internet*). [6], [9]

Mõlemad demoalajaama kapid saavad enda toite tehnikaülikooli elektrivõrgust, kasutades selleks ühefaasilist toidet. Nii 01.R kui ka 02.R kapis on olemas eraldi toitepistikud. Mõlemas alajaama kapis on lisaks eelmistel lõikudes nimetatud seadmetele mitmed pistikupesad, kaitselülitid ja toiteplokid.

Demoalajaama on võimalik kasutada erinevate seadmete tundma õppimiseks nii eraldi kui tervikliku süsteemina. Antud lõputöö käigus on aga kasutatud ainult väikest osa stendi kogu

potentsiaalset: SCADA tarkvara, REF615 fiidriterminal, AJ2 juhtimispaneel, alajaama ja SCADA vahelise side loomine ning alajaama ja SCADA vaheliste signaalide testimine. Kuna demoalajaamas kasutatavad seadmed ja nendega seonduvad tarkvarad on ka praegusel hetkel jaotusvõrgu ettevõtetes kasutusel, tasub kõiki seadmeid ja tarkvarasid õppe eesmärgil kasutada. Järgnevalt on välja toodud mõned variandid, mida võib tulevikus demoalajaama kasutamisel uurida:

1. DMS600 tugisüsteem
2. REC615 + RIO600 ja juhtimispaneel ning selle toimine koos SCADA rakendusega (AJ1)
3. PCM600 tarkvara tutvumaks ja muutmaks digireleede konfiguratsioone
4. RTUtil500 tarkvara tutvumaks ja muutmaks RTU konfiguratsiooni
5. Sideühenduse loomine alajaamade ja SCADA vahel kasutades raadiosidet – Arctic 3G seade ning selle konfigureerimine
6. SCIL programmeerimiskeel ABB MicroSCADA seadistamiseks

2.2 Stendil kasutatavad seadmed

2.2.1 Terminalid



Joonis 2.2 ABB terminalid REF615, REC603 ja RTU540 [5], [7], [8]

REF615

REF615 (joonis 2.2 vasakul) on ABB Relion 615 seeria fiidriterminal, mis täidab kaitse-, juhtimis-, mõõtmis- ja jälgimisfunktsioone. REF615 kasutatakse jaotusvõrkudes nii radiaal- kui ringvõrkude puhul. Terminali iseloomustab kompaktsus ning võime täita erinevaid funktsionaalsusi ja on loodud selliselt, et seadet kasutades oleks võimalikult hästi rakendatud IEC 61850 protokoll. Lisaks IEC

61850 protokollile toetavad 615nda seeria terminalid teiste seas ka IEC 60870-5-103, DNP3 ja Modbus protokolle. [5]

REF615 kaitsefunktsioonide hulka kuuluvad erinevad liigvoolu-, maaühendus-, üle-ja alapinge-, sagedus- ja kaarekaitsed. Samuti võib olla funktsionaalsuste seas lühisekoha kauguse leidmine, taaslülitus- ja reservilülitusautomaatika. Täpsemad funktsioonid olenevad seadme standardkonfiguratsioonist, mida on kokku 12 erinevat. Erinevate konfiguratsioonide korral on terminali sisendite ja väljundite moodulid erinevad ning see määrab ka nende arvu terminalis. [5]

REC615

REC615 kuulub koos REF615-ga Relion 615 seeria digireleede sekka ja on seega väga sarnased. Kui REF615-ne puhul on konkreetselt tegemist fiidriterminaliga, siis REC615-ne puhul on tegemist juhtimisterminaliga, mis täitab juhtimis-, jälgimis ja kaitsefunktsioone. REC615-ga on võimalik juhtida kuni 10 objekti ning rakendada erinevaid voolude ja pingete kaitsefunktsioone, jälgida erinevaid alarme ning mõõtmisi. REC615 terminal on demoalajaamas ühendatud RIO600 laiendusmooduliga, millest on täpsemalt kirjas peatükis 2.2.3. [18]

REC603

REC603 (joonis 2.2 keskel) juhtmevaba kontrolleri on seade, mis ei kuulu 2016ndast aastast enam ABB toodetavate seadmete hulka. Terminali kasutatakse süsteemides alajaamade juhtimiseks ja jälgimiseks. Seadmesse on sisse ehitatud sidemoodul, mis võimaldab luua turvalise VPN ühenduse alajaama ja SCADA vahel. Demoalajaamas on seade kasutusel juhtimiskeskuse poolel, olles ühendatud SCADA arvutiga. [7]

RTU540

RTU ülesanne on vahendada andmeid SCADA ja alajaama terminalide vahel. Koguda andmeid alajaamas olevate IED-de käest ning valmistada info vastavaks, et edastada see läbi infoedastuskanalite SCADA-sse. Samuti võtta vastu SCADA-st tulevad käsud ja viia need sellisele kujule, mis on alajaama seadmetele arusaadavad. RTU540 (joonis 2.2 paremal) on ABB kaugterminal, mis on kasutusel mitmetes jaotusvõrgu alajaamades. Demoalajaamas käib suhtlus SCADA ja RTU vahel IEC 104 protokolliga kasutades. Sideprotokoll, mida kasutatakse RTU ja REF615 (ja REC615) vahel, on IEC 61850. Seega toimub RTU-s protokollide muutus ehk selle üks ülesannetest on protokollide konvertimine. [8]

2.2.2 Sideseadmed



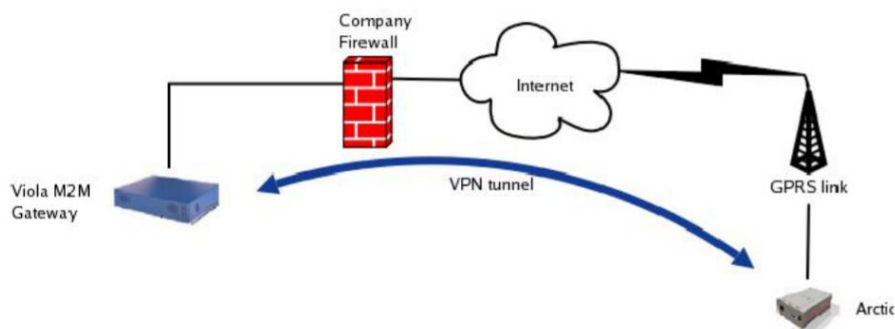
Joonis 2.3 Viola M2M Gateway, ABB AFS650 switch, Viola 3G Gateway ja ABB RER601 [9], [10], [11], [12]

Switch AFS650 ja AFS660

Switch ehk kommutaator on kohtvõrguseade, mida kasutatakse ühenduse loomiseks võrgu erinevate seadmete vahel. ABB kommutaatorid AFS650 ja AFS660 on tööstuslikud *switchid*, mida kasutatakse alajaamades kohtvõrgu seadmete ühendamisel. Seadmetel on metallist korpused, mis muudavad need töökindlamaks ja vastupidavamaks raskemates tingimustes kasutamisel. AFS650 ja AFS660 kommutaatoril on 10 sideporti ühendamiseks teiste võrguseadmetega läbi *Ethernet* liidese. [10]

VPN server Viola M2M Gateway

Viola M2M Gateway on võrguseade, mis võimaldab luua VPN ühenduse kontorivõrgu (juhtimiskeskuse) ja alajaama kaugseadme vahel. Joonisel 2.4 on toodud ära kontseptsioon, kuidas toimib VPN kanal M2M Gateway ja Arcticu seadme vahel. Lihtsustatult öeldes on tegemist seadmega, mis tagab turvalise ühenduse alajaama ja SCADA vahel. M2M Gatewayl on olemas ka sisemine tulemüür, mille abil saab filtreerida soovimatuid ühendusi. Demoalajaamas on M2M Gateway ühendatud O2.R kapi kommutaatorisse AFS650, kuid laboriöös ei ole see rakendatud, kuna kahe *switchi* vahel on loodud otseühendus ning seadmed asuvad ühes kohtvõrgus. [9]



Joonis 2.4 Viola M2M Gateway kontseptsioon [9]

Viola 3G Gateway

Viola 3G Gateway on sideseade, mis kasutab raadiosidet alajaamaga ühenduse loomiseks. Seade on üldjuhul ühendatud alajaama kommutaatorisse läbi *Etherneti* liidese ning saadab infot alajaamast välja ja võtab vastu GPRS, 3G või LTE ühendusega. Andmeside kiirus oleneb kasutatavast tehnoloogiast. Seadmel on olemas vastav moodul, kuhu käib mobiilsideooperatori poolt väljastatud SIM-kaart. Demoalajaama puhul on kasutusel GPRS sidelahendus. [11]

RER601 Wireless Gateway

RER601 seade on sarnane Viola 3G seadmele – selle abil käib ühendus alajaama ja SCADA vahel kasutades raadiosidet. RER601 täidab ka protokollikonverteri rolli, muutes IEC 101 sideprotokollu IEC 104-ks ja vastupidi. Demoalajaamas on RER601 seade ühendatud läbi jadapordi RTU-ga, kasutades andmeedastuseks IEC 101 protokollu. RER601 muudab IEC 101 IEC 104-ks (mis on pakettkommutatatsioonil põhinev protokoll) ning saadab selle üle GPRS-i SCADA-sse. [12]

2.2.3 Teised demoalajaamas olevad seadmed



Joonis 2.5 ABB RIO600, Meinberg M100, Phoenix Contact toiteplokk [13], [14], [15]

ABB RIO600

ABB RIO600 on sisendite-väljundite lisamoodul ABB Relion seeria terminalidele. RIO600 eesmärk on tekitada juurde sisendeid ja väljundeid lisaks digirelee enda sisenditele ja väljunditele ning muuta andmete edastus läbipaistvamaks ja kiiremaks. Olenevalt RIO moodulitest on võimalik kasutada kuni 40 lisa sisendit-väljundit, et tagada põhjalikum ülevaade ja suurem kontroll alajaama seadmete üle. Relee ja RIO vaheline side võib olla tehtud nii optika kui vaskkaabliga ning protokollide hulka, mida andmeedastusel võib kasutada, kuuluvad IEC 61850 või Modbus TCP. Demoalajaamas on RIO600 ja REC615 omavahel ühendatud eesmärgiga tekitada lissisendeid ja – väljundeid AJ1 jaoks. [13]

GPS kell Meinberg M100

Meinberg M100 GPS kell on alajaama paigaldatud eesmärgiga sünkroniseerida kõikide võrgus olevate seadmete kellaajad. Sünkroniseerimine on tähtis, et seadmed töötaksid võrgus õigesti ning, et signaalid, mõõtmised ja lülitused, mis alajaamas ja SCADA-s toimuvad, oleksid usaldusväärsed. GPS kell saab enda aja GPS signaaliga. Seadme abil luuakse võrgus NTP (*Network Time Protocol*) server, mille järgi teised seadmed enda kellaaja määravad. Teiste seadmete ühendamiseks NTP serveriga, peavad need olema vastavalt konfigureeritud. Meinbergi GPS kella külge tuleb ühendada väline antenn, mis püüab kinni GPS signaali ning määrab selle järgi serveri täpse aja. Kuna demoalajaamal ei ole antenn ühendatud, siis ei ole võimalik kellaega GPS signaali abil sünkroniseerida. Siiski on võimalik määrata kellaeg käsitsi Meinbergi veebileidest kasutades ja sünkroniseerida kõik võrgus olevad seadmed GPS kella enda sisemise aja järgi. [14]

Toiteplokk Phoenix Contact

Mõlemas demoalajaama kapis on DIN liistule paigaldatud üks Phoenix Contacti toiteplokk, mille sisendpinge on 230 VAC ja väljundpinge 24 VDC. Demoalajaamas on seadmeid, mis kasutavad 230 voldist vahelduvpinget või 24 voldist alalispinget. [15]

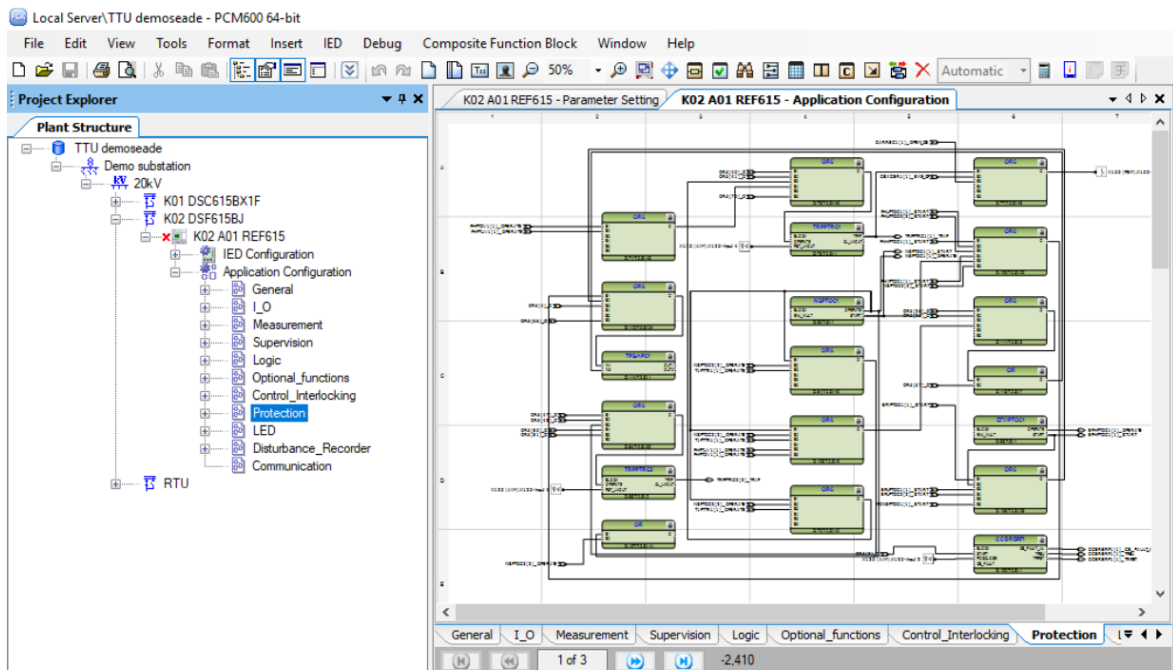
2.2.4 Tarkvarad

Punktis 2.2.4 kirjeldatud tarkvarad PCM600 ja RTUil500 on installeeritud demoalajaama tööjaama arvutisse, kus on võimalik nende abil tutvuda demoalajaama terminalide konfiguratsioonidega ning vajadusel neil muuta.

PCM600

PCM600 on ABB Relioni seeria IED seadistamise tarkvara. Tarkvara abil on võimalik luua seadmete konfiguratsioonifaile ja jälgida nende tööd. Rakenduse kaudu saab teha muudatusi kohtterminalide ekraanikuvas, seadistada sideparameetreid, muuta signaalide, juhtimiste, mõõtmiste, kaitsefunktsioonide parameetreid, võrrelda erinevaid konfiguratsioone, importida ja eksportida konfiguratsioone, jälgida signaale ja sündmusi jne. Terminali konfiguratsioonifaili muutmiseks, üleslaadimiseks või allalaadimiseks peab esmalt olema PCM600 tarkvara arvutisse installitud. Lisaks on vaja alla laadida ühenduspakett, et määrata ära, millise terminaliga on täpsemalt tegemist (REF615 või REC615 näiteks). [19]

Joonisel 2.6 on näide PCM600 tarkvarast ABB demoalajaama kohta. Pildi vasakul ääres on näha rippmenüü demoalajaama seadmetest (K01 – REC615 + RIO600, K02 – REF615, RTU – RTU540). Joonise keskosas on REF615 rakenduse konfiguratsiooni kaitsefunktsioonid, mis on üles ehitatud loogikablokkidena.



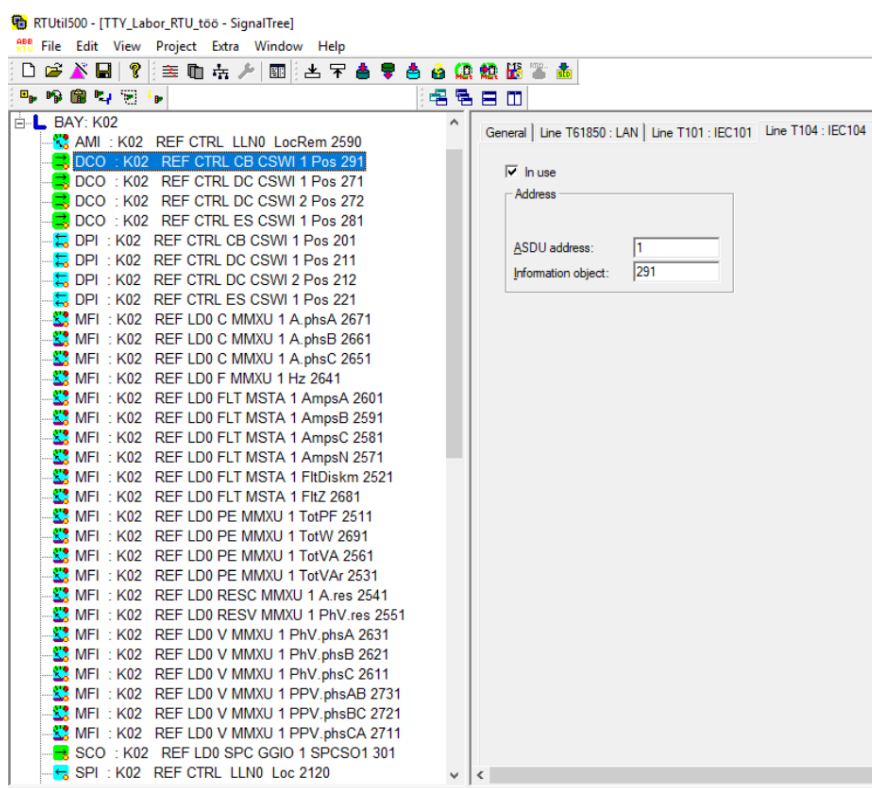
Joonis 2.6 PCM600 rakenduse kuvatõmmis ABB demoalajaama konfiguratsioonifailist

RTUtil500

RTUtil500 tarkvara on RTU konfigureerimiseks, et andmeedastus kohtterminali, RTU ja SCADA vahel toimiks korrektselt. RTUtil tarkvaras saab luua, muuta, avada, importida ja eksportida RTU

konfiguratsioonifaile. RTUtil500 kasutajaliidese struktuur jaguneb kolmeks: võrgu puu (*Network Tree*), signaalide puu (*Signal Tree*), riistvara puu (*Hardware Tree*). [20]

Võrgu puu seadistuses on määratud erinevad sideprotokollid, mis on kasutusel RTU suhtlusele SCADA ja kohtterminalidega. Demoalajaama puhul on määratud seal IEC 60870-5-101/104 (RTU-st SCADA-sse) ja IEC 61850 (RTU-st IED-sse) protokollide parameetrid. Signaalide puu (joonis 2.7) valikus on kõikide mõõtmiste, signaalide, juhtimiste IEC 61850 ja IEC 101/104 parameetrid (nt kas tegemist on analoog või diskreetse signaaliga, sisendi või väljundiga, ASDU aadress, IEC aadress (vaata Lisa 1)). Riistvara puu vaates on välja toodud erinevad RTU-ga ühenduses olevad seadmed (demoalajaamas nt RIO600, REC615 ja REF615) ja nendega seotud signaalid. [20]

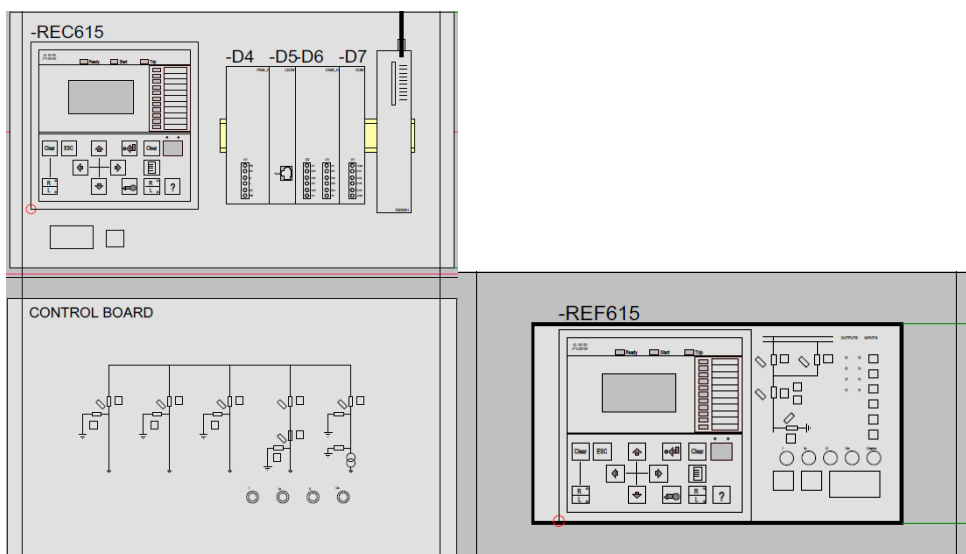


Joonis 2.7 RTUtil500 tarkvara näide signaali puu kohta. Näitena on kasutatud demoalajaama konfiguratsioonifaili.

2.2.5 AJ1 ja AJ2 juhtimispaneelid

Demoalajaama kapi 01.R üheks osaks on kaks eraldiseisvat juhtimispaneeli. Joonisel 2.8 parempoolne seade vastab fiidriterminali REF615-ga ühendatud juhtimispaneelile – AJ2. Joonise vasakpoolne stendiosa vastab terminalide REC615 ja RIO600-ga seotud juhtimispaneelile – AJ1. Mõlema alajaama juhtimispaneelide kõiki lüliteid on võimalik füüsiliselt sisse ja välja juhtida, vajutades juhtimispaneelil lüliti nupule. Kui SCADA ühendus on loodud, siis kajastuvad need

lülitused ka SCADA rakenduses. SCADA poolt ei ole võimalik kõiki lüliteid juhtida, kuid need, mis on vastavalt seadistatud, peavad SCADA kaudu lülitades muutma asendit ka juhtimispaneelil (ja REC615/REF615 ekraanil).



Joonis 2.8 REF615 juhitav AJ2 (paremal) ja REC615 juhitav AJ1 (vasakul) [6]

Reaalsete alajaama seadmete asemel on juhtimispaneeli taga trükkplaat, mis suudab imiteerida reaalse alajaama olukorda. Võimalik on teha lülitusi, muuta voolude ja pingete väärtusi, tekitada lühise olukord jne. Juhtimispaneeli trükkplaadid on ühendatud terminalidega, et sisendite ja väljundite info jõuaks terminali, sealt edasi RTU-sse ning SCADA-sse ning vastupidi.

REF615 ja AJ2 juhtimispaneeli kasutusjuhend ja täpsem info on kirjeldatud alapeatükis 3.2.

2.3 MicroSCADA kirjeldus

SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) on arvuti- ja sidesüsteem, mille ülesandeks on erinevate tehniliste protsesside jälgimine, mõõtmine ja juhtimine. Lihtsamalt võib SCADA-ks nimetada ka tarkvara, mille abil eelnevalt loetud ülesandeid ellu viia. SCADA rakendust kasutatakse erinevates tööstusvaldkondades, mille hulka kuulub ka üksik alajaam või terve elektrivõrk. SCADA struktuur jaguneb kolmeks: kohtsüsteemid, andmeedastussüsteemid ja kesksüsteemid. [17]

Elektrivõrgu SCADA puhul algab süsteem kohtsüsteemidest, milledeks on erinevad alajaamad ning lülitus- ja jaotuspunktid, kus toimub andmete kogumine, ette valmistamine ja SCADA-sse saatmine ning juhtkorralduste täitmine. Kohtsüsteemide seadmete hulka kuuluvad erinevad kohtterminalid, mis ühendavad endas releekaitse-, automaatika-, mõõtmis- ja juhtimisfunktsioone, ning

kaugterminalid, mille ülesanneteks on alajaama kohtterminalide info kogumine ja ette valmistamine SCADA-sse saatmiseks ja vastupidi. [16]

Andmeedastussüsteemide hulka kuuluvad erinevad sidesüsteemid, mida mööda toimub infovahetus kohtsüsteemi ja kesksüsteemi vahel. Andmeedastuskanaliks võivad olla kaabelside- ja raadiosidevõrgud. Andmeedastussüsteemi osaks võib lugeda ka erinevaid sideprotokolle, mida andmeedastuse puhul kasutatakse. [16]

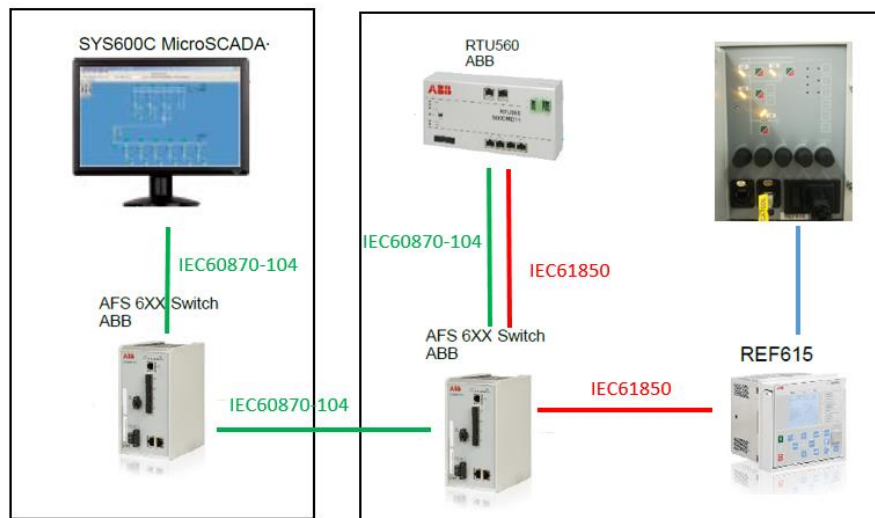
SCADA kesksüsteemi hulka kuulub juhtimiskeskuses asuv riist- ja tarkvara, mille hulka kuuluvad sideserverid, SCADA serverid ning SCADA tarkvaraga varustatud tööjaamad. Sideserverites toimub alajaamadest tulnud andmete vastuvõtmine ja edastamine SCADA serverile. SCADA serveris töödeldakse ja salvestatakse andmed. [17]

Demoalajaama arvuti ABB MicroSCADA tarkvara kasutajaliides on loodud Windowsi operatsioonisüsteemile. Arvuti ekraanil saab avada SCADA pilte ehk võrgu põhimõtteskeeme, vaadata alarme, sündmusi, mõõtmisi, sooritada lülitusi jne. Lisaks kehtivad SCADA rakenduses ka kõik teised Windowsi operatsioonisüsteemidel töötavad funktsioonid nagu pildi suurendamine ja vähendamine, akende suuruste ja kujunduse muutused jm. ABB MicroSCADA juhend on alapeatükis 3.1. [16]

2.4 Laboritöös kasutatavad seadmed

Demoalajaama võimekus on tunduvalt suurem, kui magistritöö käigus tehtud laboritöö katta suudab. Laboritöös kasutatavate seadmete struktuurskeem on joonisel 2.9. Kasutatud seadmete hulgas on AJ2 juhtimispaneel, kus saab sooritada lülitusi, muuta pingete ja voolude väärtusi ning jälgida alajaama lülitite asendeid. REF615 fiidriterminal teostab erinevaid juhtimis-, jälgimis-, mõõtmis- ja kaitsefunktsioone. Terminali on võimalik seadistada kohalikust kasutajaliidesest, veebiliidesest ning PCM600 tarkvaraga. Neist viimane pakub kõige laialdasemat seadistamisvõimalust. Laboritöös kasutatavate seadmete hulka kuuluvad kaks kommutaatorit AFS650 ja AFS660, mida kasutatakse seadmete ühendamiseks ühte kohalikku võrku. Töö käigus peab teostaja ühendama kaks *switchi* omavahel, et luua SCADA ja alajaama vaheline ühendus. Lisaks on kasutusel veel RTU540 kaugterminal, mis täidab juhtimis- ja jälgimisfunktsiooni ning tagab sideühenduse kohtterminali ja SCADA vahel. Peale eelnimetatud seadmete on 02.R kapis Ordi personaalarvuti, mis täidab serverifunktsiooni ning kus on laboritöö üks tähtsamaid töövahendeid

ABB MicroSCADA tarkvara. SCADA arvuti kaudu saab seadistada REF615 terminali läbi veebiliidese, kuid selleks saab kasutada ka isiklikku sülearvutit, kus on Internet Explorer veebibrauser installitud.



Joonis 2.9 Laboritöös kasutatavate seadmete struktuurskeem

3. LABORITÖÖ METOODILINE JUHEND

Juhendi eesmärk on tutvustada ABB demoalajaama laboritöös kasutatavat SCADA tarkvara ja ABB fiidriterminali REF615. Kasutades antud metoodilist juhendit, peavad laboritöö tegijad suutma orienteeruda ABB MicroSCADA dispetšisüsteemis, luua SCADA pilt vastavalt etteantud skeemile ning teha lihtsamaid seadistusi REF615 terminalis, kasutades nii terminali enda nuppe kui ka veebibrauseri liidest. Kokkuvõttes peavad nii SCADA kui fiidriterminal hakkama koos tööle selliselt, et SCADA kaudu on võimalik teha terminalis (alajaamas AJ2) reaalseid lülitusi.

Metoodiline juhend koosneb neljast punktist, mille abil tuleb sooritada laboritöö. Jälgides juhiseid, õpivad töö teostajad fiidriterminali REF615 ja demoalajaama stendil olevate lülitite seadistamist ning ABB MicroSCADA-s opereerimist ja seadistamist. Kui stend on vastavalt juhendile seadistatud, tuleb teostada SCADA ja fiidriterminalivaheline testimine, kontrollimaks kas stend on seadistatud korrektselt. Lisaks tuleb koostada laboritöö aruanne ning esitada tehtud tööd laboritöö juhendajale. Viimase punktina tuleb taastada stendi algolek.

Laboritöö on lahendamiseks kahele tudengile, kes jaotavad töökohustused selliselt, et üks tudeng tegeleb fiidriterminali ja stendil olevate lülititega ning teine ABB MicroSCADA kasutamise ja pildi loomisega. Lisaks tuleb teha omavahel pidevalt koostööd, kuna laboritöö eesmärk on saada mõlemad laboritöö osad ühiselt tööle.

Töös vajaminevad vahendid:

1. ABB demoalajaama stend koos SCADA arvutiga (stendi kapis on VGA kaabli pikendus, hiir, USB klaviatuur – vahendid SCADA arvuti mugavamaks kasutamiseks)
2. RJ45 kaabel ühendamaks sülearvutit/SCADA arvutit REF615-ga (kaabel asub stendi kapis)
3. Arvuti koos IE brauseriga
4. Juhendite, tarkvarade ja muude failide kaust (asub SCADA arvuti töölaual ja ABB mälu pulgal kaustas Demoalajaama laboritöö)

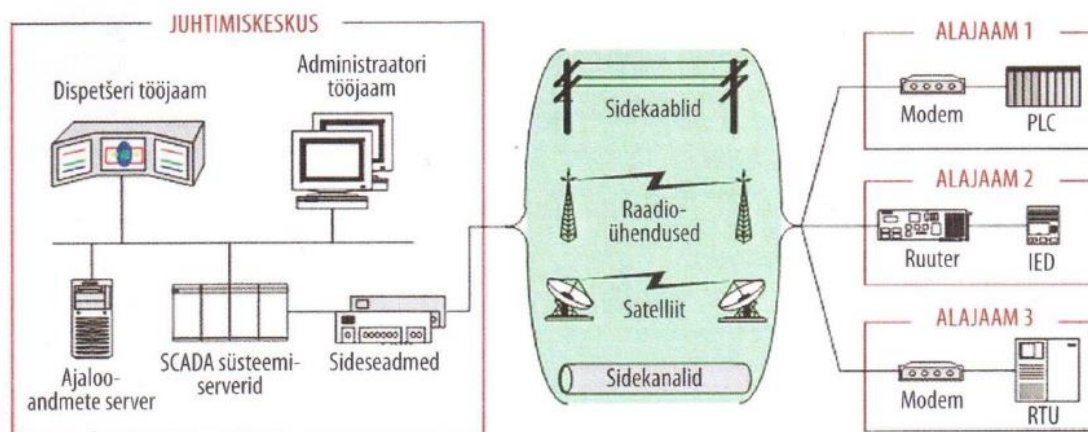
3.1 SCADA kasutamine ja pildi koostamine

3.1.1 ABB MicroSCADA kirjeldus ja tööpõhimõtte

SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) on süsteem, mida kasutatakse erinevate seadmete või süsteemide andmete kogumiseks ja juhtimiseks. ABB MicroSCADA on kasutusel mitmete võrguettevõtete poolt alajaamade andmete kogumisel ja lülitite juhtimisel. Rakendus võib

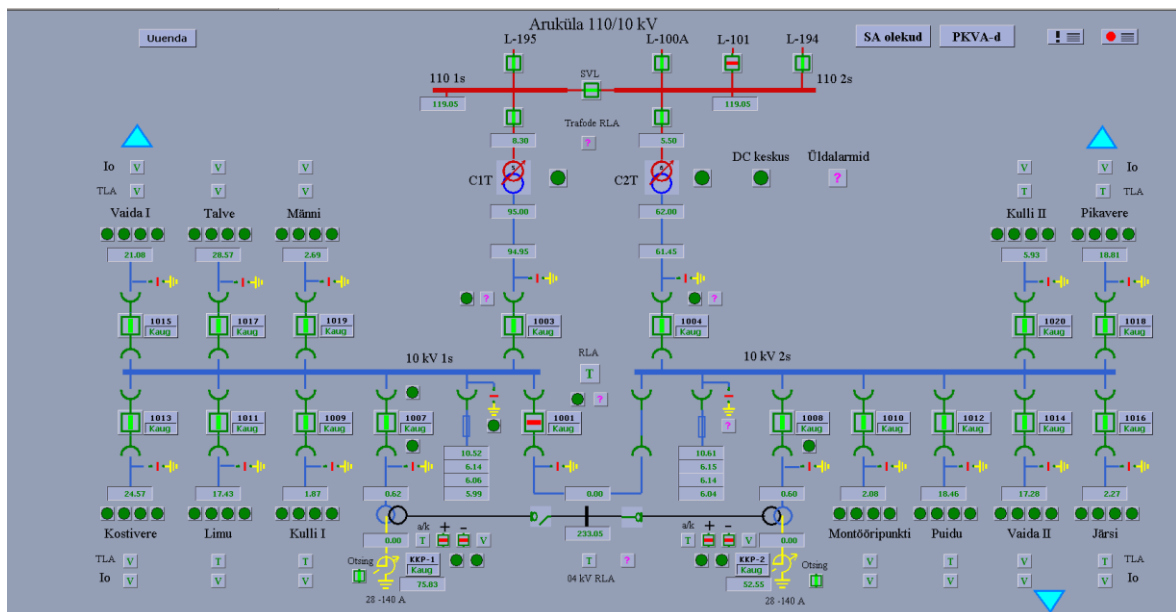
olla kasutusel ka ainult ühe alajaama juhtimiseks. Kuna elektrivarustuse tagamine tarbijatele on võrguettevõtte jaoks peamine ülesanne, on tähtis, et võrgus toimuvad muutused (häired, katkestused, mõõtmised) oleksid pidevalt jälgitavad ning tekkivad probleemid operatiivselt lahendatavad. Korralik SCADA süsteem aitab tagada kvaliteetset alajaama või terve elektrivõrgu juhtimist.

Süsteem ise kasutab erinevaid sidekanaleid (raadioside, kaabelside), et koguda andmeid ja saata käsklusi alajaamadesse. Et info alajaamadest kätte saada, peavad need olema varustatud erinevate sideseadmetega (modemid, ruuterid, lüüsid, kommutaatorid), kaugterminalidega (RTU) ja automaatikaseadmetega (IED). Juhtimispunktides on eraldi serverarvuti(d), kus toimub info hoiustamine, töötlemine ja jälgimine. Elektrivõrgu SCADA põhilisteks kasutajateks on võrgudispetšerid, kes tegelevad võrgu jälgimise ja juhtimisega. SCADA struktuurskeem on toodud joonisel 3.1. SCADA lokaalsel kasutamisel ühe alajaama piires on süsteem tunduvalt väiksem, kuid põhimõtte, kuidas lahendus toimib, sarnaneb suurtematele süsteemidele.



Joonis 3.1 SCADA lihtsustatud struktuur elektrivõrgu korral [1]

ABB on tegutsenud juhtimissüsteemide valdkonnas kümneid aastaid ning tänu pikaajalise kogemusele on nende arendatud SCADA programmis võrgu juhtimiseks ja jälgimiseks olemas kõik vajalikud vahendid ja moodulid. Joonisel 3.2 on näide MicroSCADA kasutajaliidesest Eesti jaotusvõrgus oleva Aruküla 110/10 kV piirkonnaalajaama kohta.



Joonis 3.2 SCADA pildi näide Aruküla 110/10 kV piirkonnaalajaamast [1]

3.1.2 Ülesande püstitus

Laboritöös tuleb selgeks teha ABB MicroSCADA kasutamise põhifunktsioonid ja menüüd ning seejärel luua MicroSCADA keskkonnas etteantud skeemi alusel SCADA pilt stendil oleva alajaama kohta (AJ2), milles on kohtterminalina kasutusel ABB Relioni seeria fiidriterminal REF615. SCADA joonisel peavad olema lisaks etteantud objektidele erinevad lülitid, mõõtmised ja olekuaknad. Käesoleva juhendi punktides on täpsemalt kirjas, millisel viisil on võimalik luua reaalne SCADA pilt, millelt on võimalik lugeda erinevate mõõtmiste väärtusi ja sooritada lülitusi. Lisaks on juhendis olemas erinevad tabelid ning graafilised õpetused, kuidas orienteeruda ABB MicroSCADA keskkonnas. Pärast SCADA pildi loomist tuleb testida skeemile tehtud objekte ning probleemide esinemise korral need lahendada.

3.1.3 SCADA eelseadistus

SCADA pildi loomine on vaid väike osa sellest, et tekitada ühendus SCADA ja alajaama seadmete vahel. Eelnevalt peavad olema alajaama automaatikaseadmed, terminalid ja sideseadmed konfigureeritud selliselt, et need võimaldaksid tekitada ühenduse alajaama ja juhtimissüsteemi vahel. Kindlasti tuleb luua sideühendus alajaama ja SCADA serveri(te) vahel, kasutades selleks kas radio- või kaabelsidet. Sidestruktuuri teeb lihtsamaks see, kui alajaama sideseadmed ja juhtimisarvuti (SCADA tööjaam, serverid, sideseadmed) asuvad ühes võrgus, mis muudab ka

turvalisuse tagamise tunduvalt lihtsamaks. Lisaks alajaama sideseadmete ja terminalide seadistamisele, tuleb eelseadistada ka SCADA, näiteks määrata alajaama IP aadress, andmesideprotokoll, pordi number, ASDU aadress jne, et SCADA ja konkreetse alajaama vaheline ühendus toimima hakkaks.

Enne SCADA pildi loomist on veel vajalik, et SCADA rakenduses oleks loodud skaalad, visuaal- ja sündmuste haldamise objektid ning juhtimisdialogid – need on üldjuhul SCADA rakenduse algseadistuses olemas, kuid tihti tuleb neid modifitseerida vastavalt rakenduse kasutaja vajadustele.

Iga lüliti, mõõtmise, alarmi jms kohta peab SCADA-s olema loodud andmebaasi protsessiobjekt, koos seda kirjeldava lisainfoga. Andmebaasi loomine vastavalt alajaama automaatikavõimekusele on üks alustest tekitamaks uusi toimivaid ühendusi SCADA-s. Andmebaasis on võimalik protsessiobjekte luua, kopeerida, kustuda ja muuta vastavalt alajaama seadistusele. Kuna alajaama RTU konfiguratsioonifaile on keerukas lugeda, edastatakse SCADA-s vajaminevad signaalid üldiselt lihtsustatud kujul, kus on ära toodud ainult vajalikud parameetrid, mis on vaja SCADA andmebaasi sisestada. Lihtsustatud kujul võib neid andmeid edastada Exceli failina ning nimetada seda signaalitabeliks (tabel 3.1).

Üldjuhul on signaalitabelis ära toodud kõik need objektid, mis on alajaamast jälgitavad ja juhitavad ning mille kohta on vaja luua andmebaasis protsessiobjekt. Antud laboritöö jaoks koostatud signaalitabelis on välja toodud ainult olulisemad objekti kirjeldavad parameetrid, mis peavad töö lõpuks olema SCADA pildil. Tabeli 3.1 esimeses veerus on kirjas, mis tüüpi objektiga on tegemist. Teises veerus on ära toodud seadme nimi, millega antud signaal on seotud. Kolmandas ja neljandas veerus on kirjas signaalide nimed nii inglise kui eesti keeles. Käsk 1/Väärtus 1 ja Käsk 2/ Väärtus 2 tähistavad signaali väärtusele (binaarväärtuse, mis saadetakse SCADA-st alajaama või alajaamast SCADA-sse) vastavat kirjet. Signaali tüüp on protokoll (antud juhul on kasutusel IEC 60870-5-104 ehk lühendatult IEC 104) alusel kirjeldatud omadus antud signaalile. IEC aadress on signaalile määratud aadressiväärtus, mis on igal signaalil RTU piires unikaalne ning mille järgi RTU suudab tuvastada, millise sisendi või väljundiga on tegemist. Alarmklass määratakse selle järgi, kui oluline on antud signaal ehk kui on tegemist alarmklassiga 1, siis on tegemist tähtsa signaaliga, alarmklass 2 puhul vähemtähtsama signaaliga jne.

Tabel 3.1 Lihtsustatud signaalitabel AJ2 jaoks koos juhtimis-, asendi- ja mõõtmisignaalidega

	Seade	Nimetus inglise keeles	Nimetus eesti keeles	Käsk 1/Väärtus 1	Käsk 2/Väärtus 2	Signaali tüüp IEC104	IEC aadress	Alarmklass
Juhtimised	Q0	Breaker command	Võimsuslüliti käsk	Välja	Sisse	C_DC_NA_1	291	
	Q1	Disconn. command	Lahklüliti käsk	Välja	Sisse	C_DC_NA_1	271	
	Q2	Disconn. command	Lahklüliti käsk	Välja	Sisse	C_DC_NA_1	272	
Asendi	Bay	Bay local/remote-switch	Kaug/kohalik võti	Kohalik	Kaug	M_ME_NA_1	2590	
	Q0	Breaker position indication	Võimsuslüliti asendi näit	Väljas	Sees	M_DP_TB_1	201	1
	Q1	Disconn. position indication	Lahklüliti asendi näit	Väljas	Sees	M_DP_TB_1	211	1
	Q2	Disconn. position indication	Lahklüliti asendi näit	Väljas	Sees	M_DP_TB_1	212	1
	Q9	Earth sw. position indication	Maanduslüliti asendi näit	Väljas	Sees	M_DP_TB_1	221	1
Mõõtmised		Current L1	Vool L1			M_ME_NC_1	2671	1
		Current L2	Vool L2			M_ME_NC_1	2661	1
		Current L3	Vool L3			M_ME_NC_1	2651	1
		Neutral current I0	Vool I0			M_ME_NC_1	2541	1
		Frequency f	Sagedus f			M_ME_NC_1	2641	1
		Dault current L1	Lühisvool L1			M_ME_NC_1	2601	1
		Dault current L2	Lühisvool L2			M_ME_NC_1	2591	1
		Dault current L3	Lühisvool L3			M_ME_NC_1	2581	1
		Fault distance	Lühiskoha kaugus			M_ME_NC_1	2521	1
		Active power P	Aktiivvõimsus P			M_ME_NC_1	2691	1
		Reactive power Q	Reaktiivvõimsus Q			M_ME_NC_1	2531	1
		Apparent power S	Näivvõimsus S			M_ME_NC_1	2561	1
		Power factor Cosj	Võimsustegur			M_ME_NC_1	2511	1
		Voltage U12	Pinge U12			M_ME_NC_1	2731	1
		Voltage U23	Pinge U23			M_ME_NC_1	2721	1
		Voltage U31	Pinge U31			M_ME_NC_1	2711	1
		Voltage U1	Pinge U1			M_ME_NC_1	2631	1
		Voltage U2	Pinge U2			M_ME_NC_1	2621	1
		Voltage U3	Pinge U3			M_ME_NC_1	2611	1
	Voltage U0	Pinge U0			M_ME_NC_1	2551	1	

Tabelis 3.2 on ära toodud standardi IEC 60870-5-104 andmetüübid, mis on kasutusel signaalitabeli Signaali tüüp IEC104 veerus. IEC 104 andmetüübi tabeli järgi saab paika panna, kas signaali puhul on tegemist ühe- või kahebitise sisendi või väljundiga, mõõtmisega ning kas andmepaketiga tuleb kaasa ka ajaline väärtus. IEC 80670-5-104 andmetüüpidega saab lähemalt tutvuda Beckhoff Automationi koduleheküljel:

https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tcplclibiec870_5_104/html/tcplclibiec870_5_104_objref_overview.htm&id.

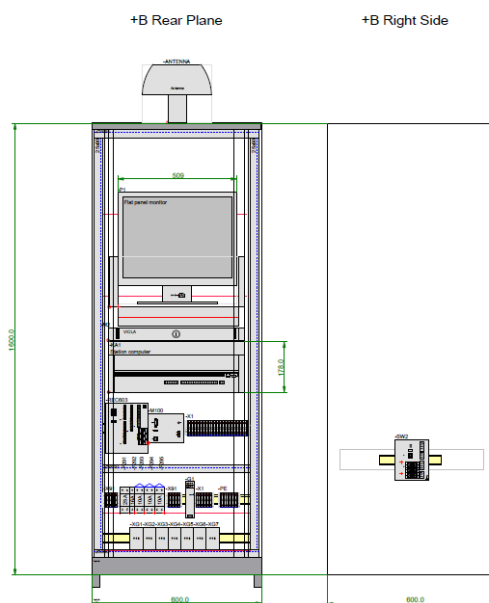
Tabel 3.2 Standard IEC 60870-5-104 andmetüübid [2]

Type	Dec	Hex	Description
ASDU_TYPEUNDEF	0	0x00	Not used
M_SP_NA_1	1	0x01	Single-point information
M_SP_TA_1	2	0x02	Single-point information with time tag
M_DP_NA_1	3	0x03	Double-point information
M_DP_TA_1	4	0x04	Double-point information with time tag
M_ST_NA_1	5	0x05	Step position information
M_ST_TA_1	6	0x06	Step position information with time tag
M_BO_NA_1	7	0x07	Bitstring of 32 bit
M_BO_TA_1	8	0x08	Bitstring of 32 bit with time tag
M_ME_NA_1	9	0x09	Measured value, normalised value
M_ME_TA_1	10	0x0A	Measured value, normalized value with time tag
M_ME_NB_1	11	0x0B	Measured value, scaled value
M_ME_TB_1	12	0x0C	Measured value, scaled value with time tag
M_ME_NC_1	13	0x0D	Measured value, short floating point number
M_ME_TC_1	14	0x0E	Measured value, short floating point number with time tag
M_IT_NA_1	15	0x0F	Integrated totals
M_IT_TA_1	16	0x10	Integrated totals with time tag
M_EP_TA_1	17	0x11	Event of protection equipment with time tag
M_EP_TB_1	18	0x12	Packed start events of protection equipment with time tag
M_EP_TC_1	19	0x13	Packed output circuit information of protection equipment with time tag
M_PS_NA_1	20	0x14	Packed single point information with status change detection
M_ME_ND_1	21	0x15	Measured value, normalized value without quality descriptor
ASDU_TYPE_22..29	22..29	0x16..0x1D	Reserved (standard area)
M_SP_TB_1	30	0x1E	Single-point information with time tag CP56Time2a
M_DP_TB_1	31	0x1F	Double-point information with time tag CP56Time2a
M_ST_TB_1	32	0x20	Step position information with time tag CP56Time2a
M_BO_TB_1	33	0x21	Bitstring of 32 bit with time tag CP56Time2a
M_ME_TD_1	34	0x22	Measured value, normalised value with time tag CP56Time2a
M_ME_TE_1	35	0x23	Measured value, scaled value with time tag CP56Time2a
M_ME_TF_1	36	0x24	Measured value, short floating point number with time tag CP56Time2a
M_IT_TB_1	37	0x25	Integrated totals with time tag CP56Time2a
M_EP_TD_1	38	0x26	Event of protection equipment with time tag CP56Time2a
M_EP_TE_1	39	0x27	Packed start events of protection equipment with time tag CP56Time2a
M_EP_TF_1	40	0x28	Packed output circuit information of protection equipment with time tag CP56Time2a

Tabel 3.2 järg

Type	Dec	Hex	Description
ASDU_TYPE_41..44	41..44	0x29..0x2C	<i>Reserved (standard area)</i>
C_SC_NA_1	45	0x2D	<i>Single command</i>
C_DC_NA_1	46	0x2E	<i>Double command</i>
C_RC_NA_1	47	0x2F	<i>Regulating step command</i>
C_SE_NA_1	48	0x30	<i>Set-point Command, normalised value</i>
C_SE_NB_1	49	0x31	<i>Set-point Command, scaled value</i>
C_SE_NC_1	50	0x32	<i>Set-point Command, short floating point number</i>
C_BO_NA_1	51	0x33	<i>Bitstring 32 bit command</i>
ASDU_TYPE_52..57	52..57	0x34..0x39	<i>Reserved (standard area)</i>
C_SC_TA_1	58	0x3A	<i>Single command with time tag CP56Time2a</i>
C_DC_TA_1	59	0x3B	<i>Double command with time tag CP56Time2a</i>
C_RC_TA_1	60	0x3C	<i>Regulating step command with time tag CP56Time2a</i>
C_SE_TA_1	61	0x3D	<i>Measured value, normalised value command with time tag CP56Time2a</i>
C_SE_TB_1	62	0x3E	<i>Measured value, scaled value command with time tag CP56Time2a</i>
C_SE_TC_1	63	0x3F	<i>Measured value, short floating point number command with time tag CP56Time2a</i>
C_BO_TA_1	64	0x40	<i>Bitstring of 32 bit command with time tag CP56Time2a</i>
ASDU_TYPE_65..69	65..69	0x41..0x45	<i>Reserved (standard area)</i>
M_EI_NA_1	70	0x46	<i>End of Initialisation</i>
ASDU_TYPE_71..99	71..99	0x47..0x63	<i>Reserved (standard area)</i>
C_IC_NA_1	100	0x64	<i>Interrogation command</i>
C_CI_NA_1	101	0x65	<i>Counter interrogation command</i>
C_RD_NA_1	102	0x66	<i>Read command</i>
C_CS_NA_1	103	0x67	<i>Clock synchronisation command</i>
C_TS_NA_1	104	0x68	<i>Test command</i>
C_RP_NA_1	105	0x69	<i>Reset process command</i>
C_CD_NA_1	106	0x6A	<i>Delay acquisition command</i>
C_TS_TA_1	107	0x6B	<i>Test command with time tag CP56Time2a</i>
ASDU_TYPE_108..109	108..109	0x6C..0x6D	<i>Reserved (standard area)</i>
P_ME_NA_1	110	0x6E	<i>Parameter of measured values, normalized value</i>
P_ME_NB_1	111	0x6F	<i>Parameter of measured values, scaled value</i>
P_ME_NC_1	112	0x70	<i>Parameter of measured values, short floating point number</i>
P_AC_NA_1	113	0x71	<i>Parameter activation</i>
ASDU_TYPE_114..119	114..119	0x72..0x77	<i>Reserved (standard area)</i>
F_FR_NA_1	120	0x78	<i>File ready</i>
F_SR_NA_1	121	0x79	<i>Section ready</i>
F_SC_NA_1	122	0x7A	<i>Call directory, select file, call file, call section</i>
F_LS_NA_1	123	0x7B	<i>Last section, last segment</i>
F_FA_NA_1	124	0x7C	<i>ACK file, ACK section</i>
F_SG_NA_1	125	0x7D	<i>Segment</i>
F_DR_TA_1	126	0x7E	<i>Directory</i>
ASDU_TYPE_127..255	127..255	0x7F..0xFF	<i>Reserved (user area)</i>

3.1.4 Laboritöö alustamine ja kasutajaliidese tutvustus



Joonis 3.3 ABB demoalajaama SCADA tööjaama kapp 02.R [6]

Laboritöö SCADA pildi koostamise osas kasutatakse demoalajaama SCADA tööjaama kappi 02.R (joonis 3.3). Selles kapis on SCADA arvuti ning server, monitor, hiir ja klaviatuur. Kapi alumises osas on erinevad sideseadmed ja terminalid, kaitseautomaadid, toiteplokk ja pistikupesad. Lähemalt on võimalik tutvuda demoalajaama seadmete ja nende parameetritega ning joonistega laboritöö failide kaustas (töölauad > demoalajaama laboritöö) oleva projekti dokumendiga Working_project_TTÜ_labor_AS_BUILT_rev1.pdf.

Töö tegemiseks tuleb kasutada SCADA arvutit, mis oma ehituselt ei ole mugavalt ligipääsetav. Töövahendite hulgas on olemas lisahiir, -klaviatuur ning VGA pikendus, mida võib soovi korral kasutada, et laboritöö lahendamise ajal ei peaks töö teostaja terve aeg püsti seisma.

Sammud laboritöö teostamisel:

1. Kontrollida, kas SCADA arvuti on sisselülitatud ja demoalajaama kapp voluvõrku ühendatud. Kui arvutil toide puudub (arvuti esipaneeli sinine LED ei põle), ühendada demoalajaama kapp voluvõrku. Arvestada, et mõlemal kapis on eraldi toitepistik.
2. Logida arvutisse sisse kasutades järgnevat kasutajanime ja parooli:

Windowsi kasutaja: MSCADA
Parool: 12reion21

3. Avada töölaua SCADA rakendus nimega SYS 600 Monitor Pro –



4. Logida sisse MicroSCADA Pro SYS600 süsteemi:

Kasutajanimi: ABB

Parool: eeabb1291

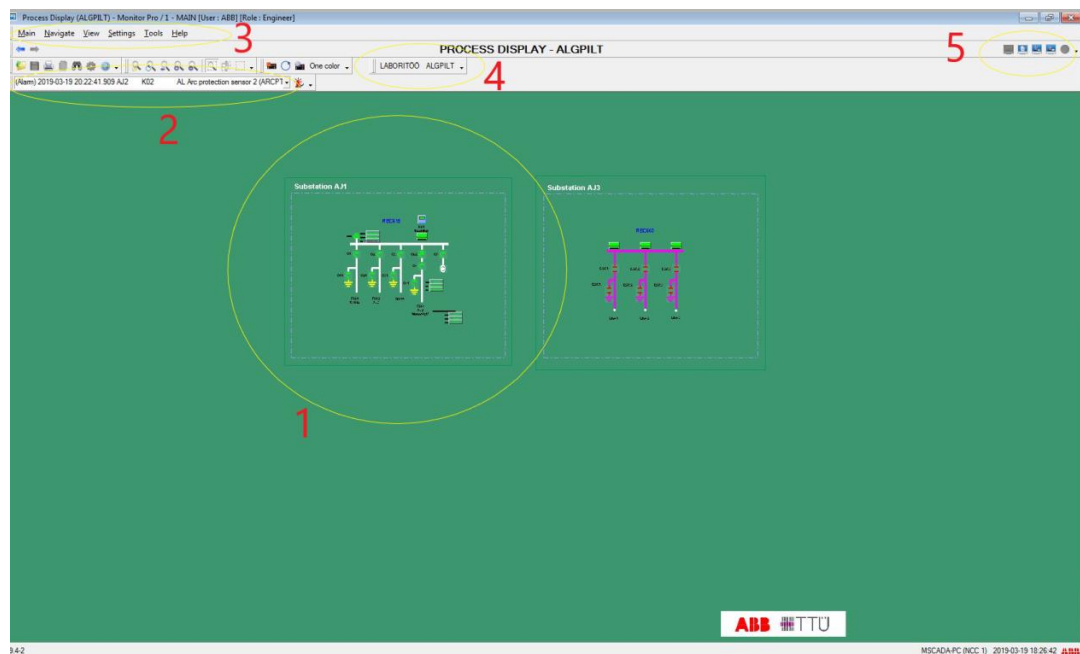
Roll: Engineer

Vajutada *Login* logimaks sisse MicroSCADA-sse

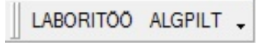




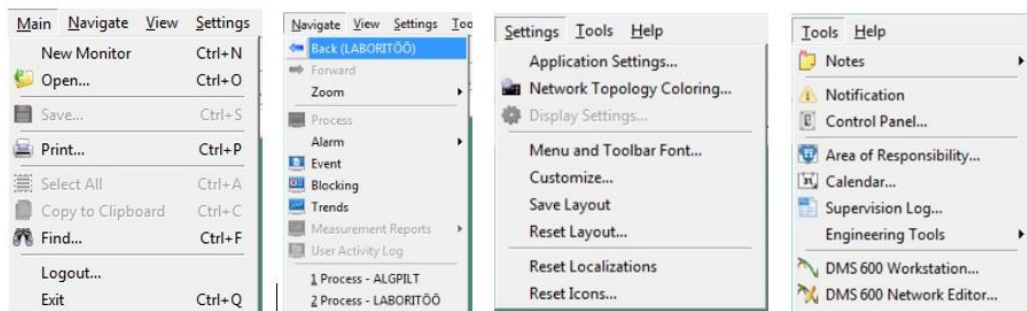
Joonis 3.4 MicroSCADA sisselogimine

5. Sisse logides avaneb SCADA kasutajaliidese algpilt (joonis 3.5), kus on võimalik jälgida SCADA-sse hetkeseisuga loodud alajaamade skeeme, teha menüüdes valikud ning liikuda edasi valitud alajaamadele.





Joonis 3.5 SCADA algpilt. 1 – SCADA-s olevad alajaamad, mis on joonestatud SCADA rakendusse. 2 – alarmiriba. 3 – menüüriba. 4 – protsessivaated. 5 – navigeerimisriba (alarmide ja sündmuste logid)
Pildil olevale alajaamale (joonisel 3.5 nr 1) vajutades avaneb konkreetse alajaama skeem, kus saab teha lülitusi ja vaadata mõõtmisi. Pilti saab suurenda ja vähendada, kasutades hiire

rullikut. Nr 2 väli joonisel on rippmenüü tekkinud alarmidele. Nr 3 väli viitab menüüribal, kus erinevad rippmenüüd avanevad, klikkides *Main*, *Navigate*, *View*, *Settings*, *Tools* või *Help* valikule. Rippmenüüde valikud on joonisel 3.6. Nr 4 väljal on erinevad salvestatud protsessivaated - otseteed eelsalvestatud piltidele. Vajutades laboritöö või algpilt valiku peale , saab liikuda nende kahe pildi vahel. Nr 5 puhul on tegemist navigeerimisribaga, kus nuppudega  saab liikuda protsessivaadetele (SCADA piltidel) edasi-tagasi, ja nuppude  abil saab avada sündmuste ja alarmide aknaid.





Joonis 3.6 Menüüriba *Main*, *Navigate*, *Setting* ja *Tools* rippmenüüd


6. Vajutades navigatsiooniribal ikoonile , avaneb kõikide SCADA süsteemis olevate alarmide loetelu. Kui nimekirjas on punased read, siis on tegemist aktiivsete alarmidega. Siniste alarmide puhul on tegemist kviteeritud alarmidega ehk operaatore poolt teadvustatud alarmidega. Alarmide kviteerimine käib käsitsi, vajutades alarmide nimekirja kohal olevat ikooni *Acknowledge All Alarms* . Sellisel viisil kviteeritakse kõik alarmid, kuid ükshaaval valides on võimalik kviteerida ka üksikuid alarme. Samuti on võimalik alarme filtreerida erinevate parameetrite järgi.

#	Activation time (YT+YM)	Station	Bay	Device	Object Text	Status
1	2019-03-19 17.30.45.309	AJ2	K02	MEA	Frequency f	Ack
2	2019-03-19 17.30.45.309	AJ2	K02	MEA	Fault distance	Ack
3	2019-03-19 17.30.45.309	AJ1	K01	MEA	Frequency f	Ack
4	2019-03-19 17.22.19.026	NCC 1	Line	2	Status of line 2 (Made 3)	Low alarm Ack.
5	2019-03-19 17.22.15.142	AJ3	BAY1	DC1	Disconn. position indication	Ack
6	2019-03-19 17.22.15.142	AJ3	BAY3	DC3	Disconn. position indication	Ack
7	2019-03-19 17.22.15.142	AJ3	BAY3	ES3	Earth sw. position indication	Ack
8	2019-03-19 17.22.15.142	AJ3	BAY2	DC2	Disconn. position indication	Ack
9	2019-03-19 17.22.15.142	AJ3	BAY2	ES2	Earth sw. position indication	Ack
10	2019-03-19 17.22.15.142	AJ3	BAY1	ES1	Earth sw. position indication	Ack
11	2019-03-19 17.22.14.767	AJ3	REC	AL	Charger relay status	Ack
12	2019-03-19 17.22.14.767	AJ3	REC	AL	AC Supply status	Ack

Joonis 3.7 Alarmide nimekiri

Joonisel 3.7 on näide (kviteeritud) alarmide nimekirjast. Igat alarmi iseloomustab *Activation time* ehk aeg millal alarm tekkis, *Station* ehk mis alajaamas alarm tekkis, *Bay* ehk mis fiidriga on tegemist, *Device* ehk mis seadmega on tegemist (mõõtmine, lüliti, alarm), *Object Text* ehk alarmi nimi, *Status* ehk millises olekus on alarm (alarmeeriv, kviteeritud, möödunud).


Alarmide logist saab väljuda, vajutades navigatsiooniribal ikooni  või .

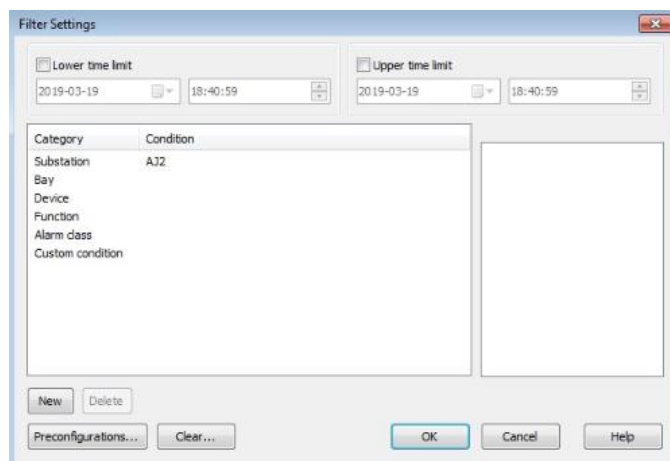
7. Peale alarmide nimekirja on SCADA-s kasutusel ka sündmuste logi (joonis 3.8), kus on ära kirjeldatud kõikides SCADA-s olevates alajaamades toimuvad sündmused: lülitused, asendi muutused, alarmid jne. Sündmuste logi vaatesse saab, kui vajutada ikoonile .

#		Time (ET+EM)	Station	Bay	Device	Object Text	Event Text
1	T	2018-12-15 08:38:29.472	AJ1	K01	Q5	Disconn. position indication	Open
2	T	2018-12-15 08:38:29.475	AJ1	K01	Q5	Disconn. position indication	Closed
3	T	2019-03-19 18:33:00.501	AJ1	K01	AL	General trip 1 (TRPPTRC1)	Alarm acknowledged
4		2019-03-19 18:33:00.501	NCC 1	Line	1	Status of line 1 (Node 3)	Alarm acknowledged
5	*	2019-03-19 18:33:00.501	AJ3	REC	AL	Charger relay status	Alarm acknowledged
6	*	2019-03-19 18:33:00.501	AJ3	REC	AL	AC Supply status	Alarm acknowledged
7	*	2019-03-19 18:33:00.501	AJ3	BAY1	DC1	Disconn. position indication	Alarm acknowledged
8	*	2019-03-19 18:33:00.501	AJ3	BAY1	ES1	Earth sw. position indication	Alarm acknowledged
9	*	2019-03-19 18:33:00.501	AJ3	BAY2	DC2	Disconn. position indication	Alarm acknowledged
10	*	2019-03-19 18:33:00.501	AJ3	BAY2	ES2	Earth sw. position indication	Alarm acknowledged
11	*	2019-03-19 18:33:00.501	AJ3	BAY3	DC3	Disconn. position indication	Alarm acknowledged
12	*	2019-03-19 18:33:00.501	AJ3	BAY3	ES3	Earth sw. position indication	Alarm acknowledged
13	*	2019-03-19 18:33:00.501	NCC 1	Line	2	Status of line 2 (Node 3)	Alarm acknowledged
14		2019-03-19 18:33:00.501	NCC 1	Line	3	Status of line 3 (Node 3) [BI]	Alarm acknowledged
15		2019-03-19 18:33:00.501	NCC 1	Station	3	Status of station 3	Alarm acknowledged
16		2019-03-19 18:33:00.501	NCC 1	Station	3	Status of station 3 [BI]	Alarm acknowledged
17		2019-03-19 18:33:00.501	NCC 1	Station	1	Status of station 1	Alarm acknowledged

Joonis 3.8 Demoalajaama sündmuste logi näide

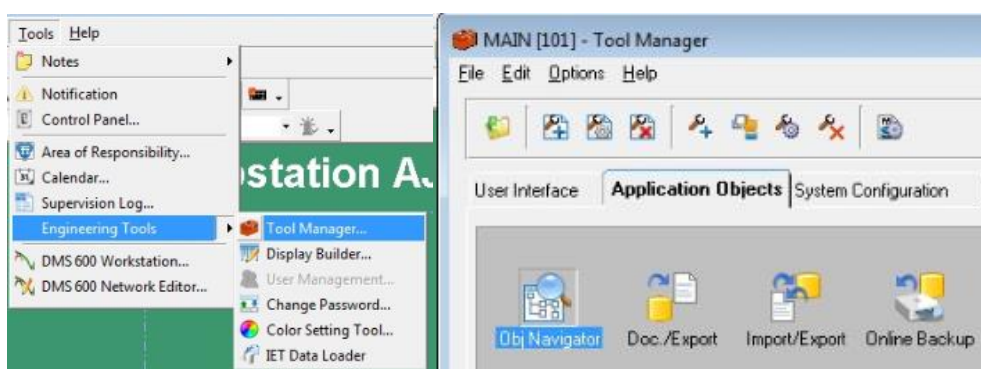
Sündmuste logi on väga sarnane alarmide logile: välja toodud informatsiooni kujutamine ja filtrid. Sündmuste vaatest väljumine toimub samuti navigatsiooniriba ikoonidega. Erinevusteks on see, et sündmusi ei saa kviteerida, ning see, et sündmusi on süsteemis tunduvalt rohkem kui alarme, sest kõik alarmid on sündmused, aga kõik toimunud sündmused ei ole alarmid.

Sündmuste filtreerimiseks tuleb vajutada  ikoonile, mis avab filtreerimisakna (joonis 3.9). Filteerida saab sündmusi alajaama nime, fiidri, seadme, funktsiooni, alarmklassi ja muude ise valitud parameetrite järgi. Samuti on võimalik sündmuste filtreerimisel kasutada ajavahemikke. Kui ajavahemikku ei ole märgitud, siis toimub sündmuste logi uuenemine reaajas. Kui SCADA on hästi seadistatud, siis saab sündmusi jälgides näha kõike võrgus/piirkonnas/alajaamas toimuvat.



Joonis 3.9 Sündmuste logi filtreermisaken

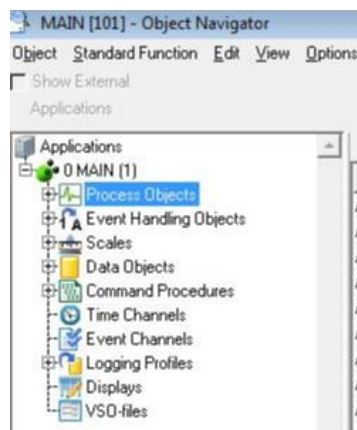
8. Siinkohal tasub iseseisvalt tutvuda SCADA kasutajaliidesega. Avada erinevaid menüüsid, protsessivaateid (algpilt ja laboritöö), kasutada navigeerimisriba edasi-tagasi ning alarmide ja sündmuste nuppe. Vajutada AJ1 ja AJ3 skeemi peale. Saada esmane ülevaade sellest, kuidas ABB MicroSCADA kasutajaliides töötab.
9. SCADA andmebaasis saab hea ülevaate kõikidest alajaamade signaalidest ja lülititest – nende asenditest ja juhtimistest. Andmebaasile on ligipääs üldjuhul tagatud ainult SCADA seadistajatele ja administraatoritele, kuna andmebaasis tehtud valede muudatuste tagajärjel võivad lülitid, mõõtmised, alarmid anda valeinfot või üldse lõpetada töötamise. Seega peab andmebaasiga toimetades olema ettevaatlik. Andmebaasile saab ligi, valides menüüribalt *Tools > Engineering Tools > Tool Manager... > Application Objects > Obj Navigator* (joonis 3.10).



Joonis 3.10 SCADA andmebaasi avamine

10. Avaneb SCADA rakenduse objektide aken (joonis 3.11). Rakenduse objektid täidavad erinevaid ülesandeid nagu reaalaaja protsesside jälgimine, kontrollprotseduuride läbiviimine, andmete registreerimine ja säilitamine, arvutamine, sündmuste käivitamine


jne. Rakenduse objekte saab luua, muuta ja kustutada, kasutades ABB MicroSCADA programmeerimiskeelt SCIL. [4]

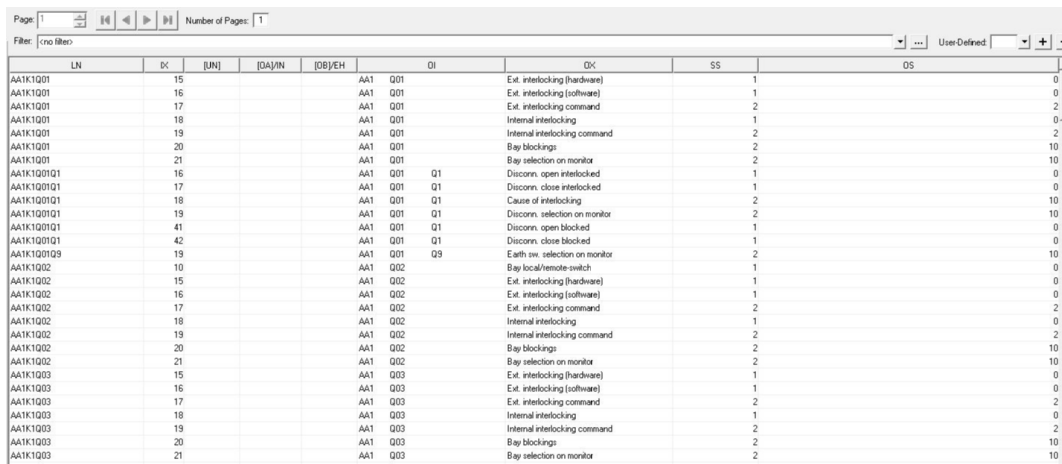


Joonis 3.11 SCADA rakenduse objektide nimekiri

Järgnevas loetelus on SCADA rakenduse objektid ja nende seletused:

1. *Process Objects* – protsessiobjektide andmebaasis on jälgitavate ja juhitavate objektide andmed. Protsessiobjektid hoiustavad ja jälgivad protsesside reaalaaja olekut. Sellesse rakenduse andmebaasi luuakse uusi objekte, kui alajaama/võrku tekivad uued juhitavad või jälgitavad lülitid, alarmid, mõõtmised või muud signaalid. Antud laboritöö käigus on ainult see andmebaas lähemalt tutvustatud.
2. *Event Handling Objects* – need objektid aitavad kaasa sündmuste tekkimisele logisse, andes sündmustele staatuse.
3. *Scales* – skaalaobjektides on algoritmid, mille alusel muudetakse andmepaketist saadud andmed reaalseteks mõõteväärtusteks.
4. *Data Objects* – andmeobjektid, mis registreerivad ja säilitavad kogutud või arvutatud andmeid.
5. *Command Procedures* – SCIL programmid, mis käivitatakse automaatselt või manuaalselt. Need programmid juhivad SCADA-s erinevaid protsesse.
6. *Time Channels* – ajaobjektid programmide käivitamiseks.
7. *Event Channels* – sündmuste objektid programmide käivitamiseks.
8. *Displays* – pildiobjektid.
9. *VSO-files* - visuaalsed SCIL objekti failid. [4]

11. Protsessiobjektide andmebaasi vaade (joonis 3.12) avaneb, kui vajutada  väljale. Selles andmebaasis on ära toodud kõik SCADA protsessiobjektid nende omaste atribuutide väärtustega.



LN	IX	[UN]	[OA]/IN	[OB]/EH	OI	OX	SS	OS
AA1K1Q01	15				AA1 Q01	Ext. interlocking (hardware)	1	0
AA1K1Q01	16				AA1 Q01	Ext. interlocking (software)	1	0
AA1K1Q01	17				AA1 Q01	Ext. interlocking command	2	2
AA1K1Q01	18				AA1 Q01	Internal interlocking	1	0
AA1K1Q01	19				AA1 Q01	Internal interlocking command	2	2
AA1K1Q01	20				AA1 Q01	Bay blockings	2	10
AA1K1Q01	21				AA1 Q01	Bay selection on monitor	2	10
AA1K1Q01Q1	16				AA1 Q01 Q1	Disconn. open interlocked	1	0
AA1K1Q01Q1	17				AA1 Q01 Q1	Disconn. close interlocked	1	0
AA1K1Q01Q1	18				AA1 Q01 Q1	Cause of interlocking	2	10
AA1K1Q01Q1	19				AA1 Q01 Q1	Disconn. selection on monitor	2	10
AA1K1Q01Q1	41				AA1 Q01 Q1	Disconn. open blocked	1	0
AA1K1Q01Q1	42				AA1 Q01 Q1	Disconn. close blocked	1	0
AA1K1Q01Q9	19				AA1 Q01 Q9	Earth sw. selection on monitor	2	10
AA1K1Q02	10				AA1 Q02	Bay local/remote switch	1	0
AA1K1Q02	15				AA1 Q02	Ext. interlocking (hardware)	1	0
AA1K1Q02	16				AA1 Q02	Ext. interlocking (software)	1	0
AA1K1Q02	17				AA1 Q02	Ext. interlocking command	2	2
AA1K1Q02	18				AA1 Q02	Internal interlocking	1	0
AA1K1Q02	19				AA1 Q02	Internal interlocking command	2	2
AA1K1Q02	20				AA1 Q02	Bay blockings	2	10
AA1K1Q02	21				AA1 Q02	Bay selection on monitor	2	10
AA1K1Q03	15				AA1 Q03	Ext. interlocking (hardware)	1	0
AA1K1Q03	16				AA1 Q03	Ext. interlocking (software)	1	0
AA1K1Q03	17				AA1 Q03	Ext. interlocking command	2	2
AA1K1Q03	18				AA1 Q03	Internal interlocking	1	0
AA1K1Q03	19				AA1 Q03	Internal interlocking command	2	2
AA1K1Q03	20				AA1 Q03	Bay blockings	2	10
AA1K1Q03	21				AA1 Q03	Bay selection on monitor	2	10

Joonis 3.12 SCADA protsessiobjektide andmebaas

Erinevaid atribuute andmebaasis kümneid, millest paljud on uut objekti rida luues vaikimisi määratud. Alljärgnevalt on välja toodud mõned tähtsamad atribuudid:

- LN – *Logical name*, loogiline nimi, mis antakse ühele objektile, mille read on omavahel seotud. Nt on ühe lüliti asend ja juhtimine ühe nime all, kuna nad on seotud ühe visuaalse objektida. Samuti võivad ühe alajaama alarmid olla ühe loogilise nimega määratud ning kujutatud SCADA pildil ühe objektina. Eri tüüpi funktsioonid (mõõtmised, alarmid, lülitid) nimetatakse erineva loogilise nime järgi. Loogilise nime valimine toimub üldjuhul kokkuleppeliselt, kasutades arusaadavat tähistust. Nt **AA1K1Q01** puhul on AA1 alajaama nime lühend, K1 fiidri number koos kasutatava pingeklassiga, Q01 lüliti number. Sellisel viisil on hiljem võimalik andmebaasis lihtsamalt eristada ja otsida soovitud objekte.
- IX – *Index*, objekti indeks. Loogilise nime järjekorranumber, eristamaks erinevaid ridu ühel loogilisel nimel.
- [UN] – *Unit name*, üksuse nimi. Üksuse nimi, millega eristatakse alajaamasid või ühenduspunkte. UN on ühe alajaama piires sama.
- [OA]/IN – *Object address*, objekti aadress. IEC aadress (vt tabel 3.1) signaali tuvastamiseks. OA väärtus peab olema unikaalne ühe alajaama (UN-i) piires.
- OI – *Object information*, objekti informatsioon. OI atribuudis on kirjas antud objekti alajaama nimi, fiider ja seade.



- f. OX – *Object text*, objekti tekst. Objekti teksti lahtris on kirjas objekti kirjeldus (signaali/alarmi/mõõtmise/lüliti nimi või tegevus).
- g. OV – *Object value*, objekti väärtus. Protsessiobjekti arvuline väärtus (nt binaarväärtus lülitite puhul ja analoogväärtus mõõtmiste puhul).
- h. AC – *Alarm class*, alarmklass. Protsessiobjekti tähtsusaste, mis määrab, kas antud signaal tekitab alarmi SCADA-s.

Teiste atribuutide kohta võib lugeda SYS600 juhendist SYS600_Application Objects, mis on laboritöö failide kaustas (Töölaud>Demoalajaama laboritöö).

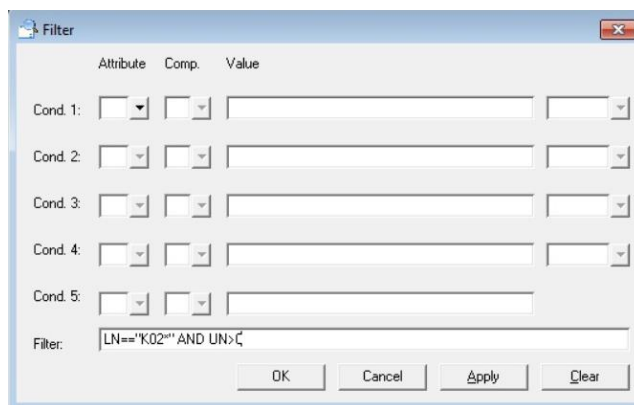
Atribuute on võimalik andmebaasivaatesse lisada ja eemaldada valides rippmenüüst

 sobiv atribuut ja vajutada vastavalt + või -.

12. Andmebaasi protsessiobjektide filtreerimiseks saab kasutada otsinguliidest  Filter:

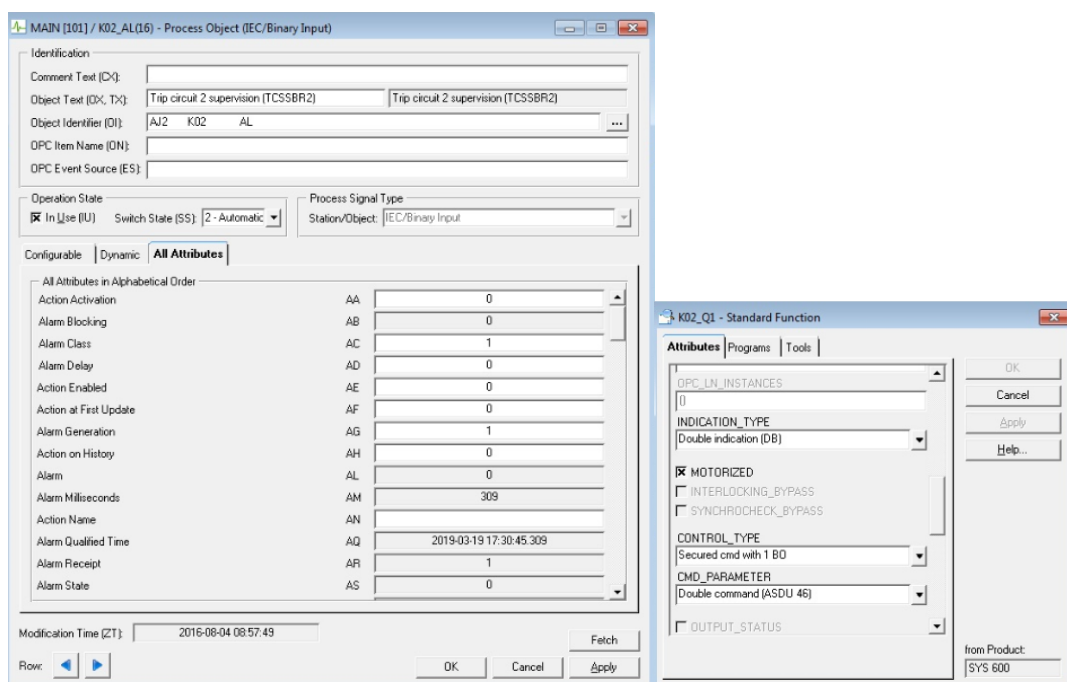
, kuhu filtri tingimuste lisamisel kuvatakse ainult soovitud objektid. Vajutades noolele, avaneb rippmenüü eelnevalt kasutatud filtrite kohta. Klõkkides ikoonile , avaneb filtreerimisaken (joonis 3.13), kuhu saab soovitud käsu sisestada. Joonisel 3.13 on näitena toodud ära otsing AJ2 K02 objektide kohta, millel on UN väärtus suurem kui 0. Otsingumootoris kasutatakse tavapäraseid loogikaoperaatoreid: AND, OR, ==, >, <. Kasutades tingimuseks atribuute, millel on numbrilised väärtused, ei ole tarvis lisada jutumärke otsitava väärtuse ette ega taha. Kui atribuut, mille järgi filter koostada, sisaldab teksti, peavad need algama ja lõppema jutumärkidega. Kui otsitava teksti ette ja/või taha lisada * ,tähendab see otsingumootorile, et otsitava teksti ees ja/või taga on veel tähemärke.

Nt otsides kõik andmebaasis olevad objektid, mille puhul on tegemist pinge mõõtmistega, peab filtrisse kirjutama OX=="*Voltage*" ja vajutama OK. Selliselt kuvatakse kõik andmebaasis olevad protsessiobjektid, mille OX väärtuses on „Voltage“. Kui on vajadus filtrit kitsendada ja kuvada AJ1 pingemõõtmisi, tuleb avada filtriaken uuesti ja lisada otsingule AND LN=="K01*". See on üks võimalus AJ1 (K01) pingete mõõtmiste protsessiobjektide filtreerimiseks.



Joonis 3.13 Andmebaasi filtreerimisaken

13. Iga protsessiobjekti atribuute ja seadistust saab vaadata, vajutades andmebaasis valitud objekti peal paremat hiireklahvi, mis avab menüüakna. Valikute *Properties* ja *Standard Function* (joonis 3.14) all on olemas kõik info antud protsessiobjekti kohta.



Joonis 3.14 Protsessiobjekti K02_AL(16) *Properties* ja K02_Q1 *Standard Function*

14. Siinkohal tutvuda SCADA andmebaasiga (mõeldud on *Process Objects* andmebaasi), proovida koostada filtreid ja avada erinevate objektide seadistuste aknaid, kuid **MITTE KUSTUTA EGA MUUTA ANDMEBAASI OBJEKTE!**
15. Laboritöö ülesandeks on AJ2 pildi loomine SCADA keskkonda ning kuna pilt luuakse ABB MicroSCADA Pro andmebaasi järgi, on soovitatav pilti koostades hoida andmebaasi aken lahti, et kontrollida andmebaasis olevate protsessiobjektide nimetust. See annab parema

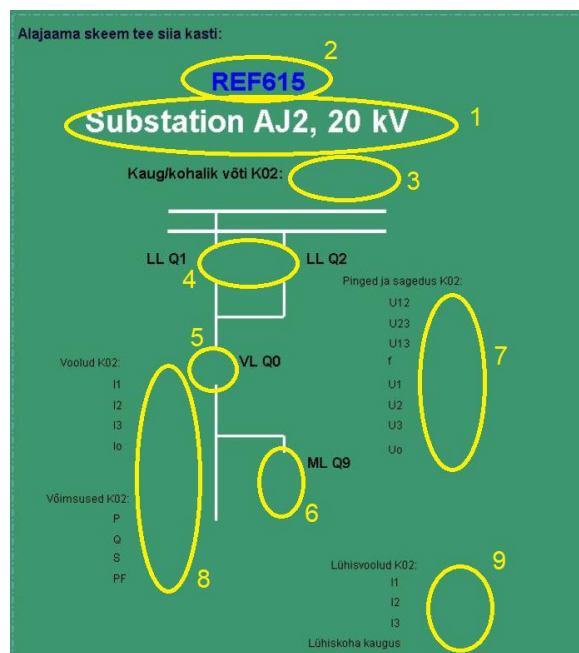
ülevaate, milliseid objekte pildile asetada ja määrata nende õige asukoht skeemil. Otsingu filtrisse kirjutada tingimus LN=="K02*", mis kuvab ainult vajaliku alajaama andmed.

16. Minimeerida SCADA andmebaasi aken ja avada SCADA alajaamade vaade. Minna laboritöö pildile (lihtsaim viis vajutada ikoonile **LABORITÖÖ**). Joonisel 3.15 on laboritöö pilt ilma objektideta. SCADA pildi koostamisel on tähtis, et see oleks üheselt arusaadav kõikidele kasutajatele, samas ei tohiks pildil olla üleaarust infot, mis teeb jälgimise keerulisemaks.

Joonisel 3.15 märgitud numbrid ja nende tähendused:

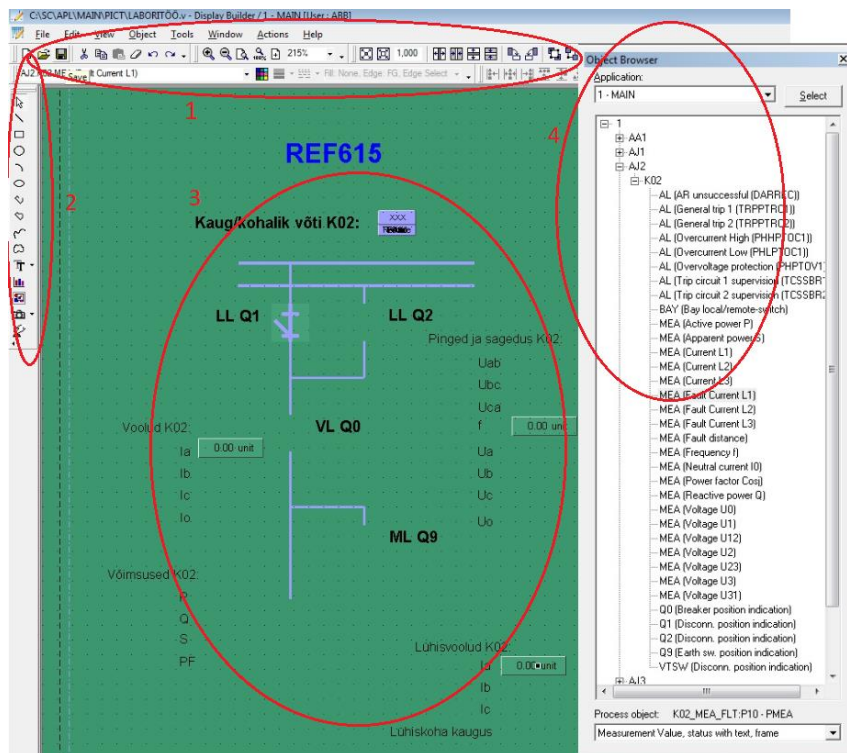
- 1) alajaama nimi ja pingeklass
- 2) alajaama fiidriterminali mudel
- 3) kaug/kohalik võti, mis näitab, kas alajaama saab juhtida SCADA kaudu või on alajaama terminalis märgitud selle asend kohalikuks (seda kasutatakse ohutuse jaoks, kui alajaamas on käsil tööd, et operaator ei saaks lüliteid SCADA kaudu juhtida)
- 4) LL Q1 ja LL Q2 puhul on tegemist lahklülititega
- 5) VL Q0 on võimsuslüliti
- 6) ML Q9 on maanduslüliti
- 7) U_{12} , U_{23} , U_{31} – liinipinged; U_1 , U_2 , U_3 – faasipinged; U_0 – neutraali pinge; f – sagedus
- 8) I_1 , I_2 , I_3 – faasivoolud; I_0 – neutraali vool; P – võimsus; Q – reaktiivvõimsus; S – näivvõimsus; PF – võimsustegur
- 9) I_1 , I_2 , I_3 – lühisvoolud; lühiskoha kaugus

SCADA pildile tuleb laboritöö käigus luua objektid, mis on märgitud punktides 3-9.



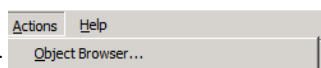
Joonis 3.15 Laboritöö esialgne pilt ilma objektideta

17. SCADA pildi muutmiseks kasutatakse SCADA rakenduse tööriista *Display Builder*. Olles pildi peal, mida muuta, tuleb avada menüüribalt *Tools > Engineering Tools > Display Builder* (vt joonis 3.10). Avaneb eraldi *Display Builderi* aken (joonis 3.16), kus on võimalik muuta joonist ning lisada ja kustuda objekte.

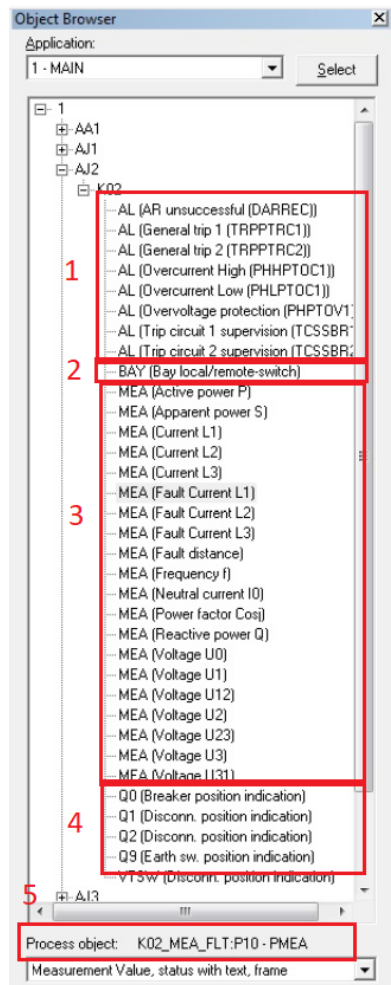


Joonis 3.16 AJ2 *Display Builderi* vaade koos *Object Browseri*ga. 1 – menüüriba, 2 – joonestusvahendid, 3 – töölaud, 4 – *Object Browser* koos andmebaasi objektidega



18. Lülite ja mõõtmisakende lisamiseks avada *Object Browser*, kus on andmebaasi objektid visuaalsele kujule viidud. Selleks tuleb avada *Display Builderi* vaates menüüribalt *Actions >*



Object Browser. Avanenud aknas valida õige alajaama objektid (1-MAIN rakenduses): 1 > AJ2 > K02. Lülite ja mõõtmisakende skeemile tegemine käib lohista-asete põhimõttel. *Object Browserist* valitud objektid tuleb lohistada skeemile õigesse kohta. Joonisel 3.17 välja toodud AJ2 objektidest tuleb ükshaaval skeemile viia kaug/kohalik võti (nr 2 joonisel 3.17), mõõtmised (20 tk) (nr 3 joonisel 3.17) ja lülid (4 tk) (nr 4 joonisel 3.17). Kõikide objektide asukoht on skeemile märgitud. Kasutades *Display Builderi* menüüriba valikuid, on võimalik töölaual olevaid objekte pöörata, liigutada (võib kasutada klaviatuuri nooli), suurendada, vähendada jne.

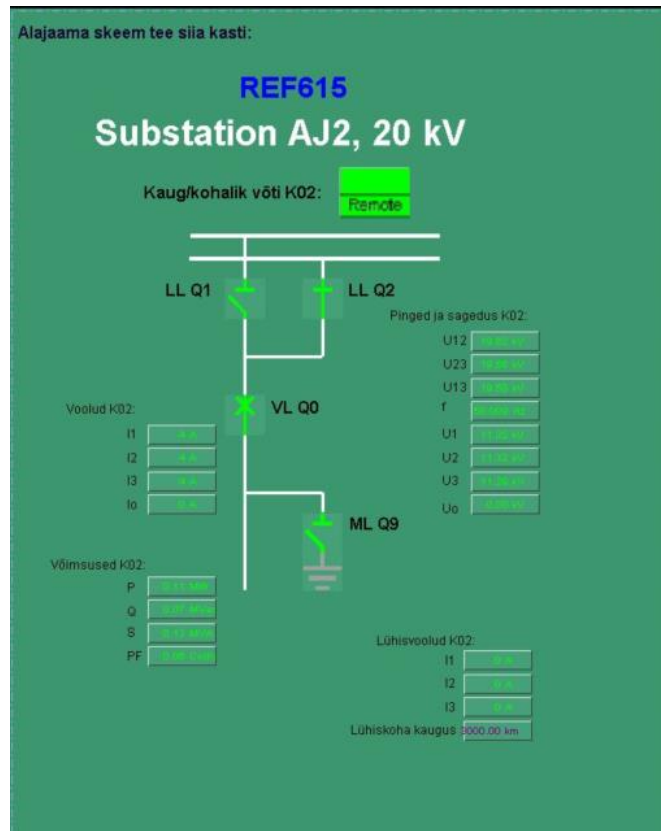


Joonis 3.17 *Object Browser*. 1 – alarmid, 2 – kaug/kohalik võti, 3 – mõõtmised, 4 – lülitid, 5 – protsessiobjekti nimi (nt K02_MEA_FLT on LN atribuut andmebaasis ja P10 viitab IX atribuudi väärtusele 10)

19. Pärast mõõtmiste, lülitite ja kaug/kohalik võtme objektide skeemile lisamist tuleb salvestada muudatused. Vajutades *Save* , salvestatakse skeemil tehtud muudatused. Seejärel sulgeda *Display Builder*, vajutades paremal üleval nurgas . Skeemil tehtud muudatused peaksid nüüd kajastuma SCADA laboritöö pildil.

3.1.5 SCADA pildi kontrollimine

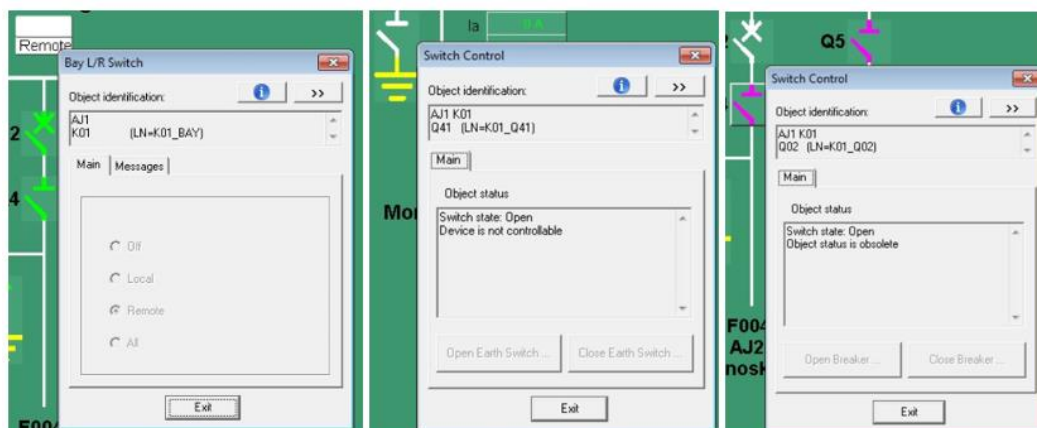
- Joonisel 3.18 on AJ2 skeem koos lisatud lülitite ja mõõtmistega – sarnane peaks see välja nägema laboritöös. Pärast skeemi muutmist tuleb kontrollida, kas kõik lülitid ja mõõtmised said korrektselt pildile viidud. Selleks peab vajutama SCADA pildil mõõtmiste akendele, lülitite ikoonidele ja kaug/kohalik võtme ikoonile. Siinkohal tasub märkida, et hetkel SCADA ja alajaama vahel side puudub (SCADA pildilt näeb seda selliselt, et lülitid ja mõõtmised on lillat värvi. Kui objektid on rohelised, siis on reaalne ühendus olemas).



Joonis 3.18 SCADA pilt AJ2 kohta

2. SCADA pildiobjektide kontrollimine. Vajutades kaug/kohalik, kõikide lülitite (Q0, Q1, Q2, Q9) ja mõõtmiskastide peale, avaneb eraldi dialoogiaken (joonis 3.19).

- Kaug/kohalik aknas on kirjas alajaama nimi – laboritöö puhul peab olema AJ2 K02, loogiline nimi, mis peab kattuma andmebaasis olevaga.
- Q0, Q1, Q2 puhul on tegemist lülititega, mis on juhitavad, kui neil on alajaama RTU-ga ühendus olemas. Juhtimisaknas on juhitavate lülitite puhul valikud *Close Breaker/Disconnecter* (sulge võimsuslülitil/lahklüliti) ja *Open Breaker/Disconnecter* (ava võimsuslülitil/lahklüliti). Lisaks on juhtimisakna päises kirjas info antud lülitite kohta: alajaama nimi ja andmebaasi LN. Objekti staatuses on kirjas, kas objekt on avatud või suletud asendid ning kas objekti staatus on kehtiv. Q9 puhul on tegemist maanduslülitiga, mis ei ole juhitav. See info on kirjas ka juhtimisaknas.
- Mõõtmiste puhul avaneb aken, kus on info mõõtmiste objekti kohta. Sama tüüpi mõõtmised on märgitud ühes ja samas aknas.



Joonis 3.19 SCADA juhtimisaknad

3. Kontrollida AJ2 mõõtmiste, kaug/kohalik võtme ja lülitite objekte. Kontrollida, et skeemil olevad objektid on õiged (andmebaasi nimi ja avanenud akna nimi kattuvad). Võrdluseks võib kasutada algpildil asuvat alajaama AJ1 näidet. Kui objektide juhtimisaknad ei avane või on valede nimedega, siis teha parandused *Display Builderis* ja salvestada tehtud pilt uuesti. Kui objektid on õiged ja nende juhtimisaknad avanevad, siis võib eeldada, et SCADA pilt on valmis. Laboritööd tehes panna tähele, et kui alajaama objektid on pildil lillad, siis mõõtmistulemused puuduvad ning lülitite juhtimised ei toimi. See hakkab toimima, siis kui SCADA on ühendatud alajaamaga.
4. Liikuda laboritöö järgmiste osade juurde.

3.2 REF615 kasutamine ja seadistamine

3.2.1 REF615 kirjeldus ja tööpõhimõte

Fiidriterminal REF615 (joonis 3.20) on ABB Relion 615 seeria hulka kuuluv releekaitseterminal, mis lisaks kaitsefunktsioonile teostab mõõtmiste ja signaalide kogumist ning edastamist. Samuti on terminalil juhtimisfunktsionaalsus ning võime teostada automaatikafunktsionaalsusi. Seadme kaitsefunktsionaalsuste hulka kuulub rakendumine liig- ja maavoolude, üle- ja alapinge, üle- ja alaseduse ja mitmete teiste võrgu ebakorrapärasuste puhul. REF615 kõikide võimalustega saab soovi korral tutvuda laboritöö failide seas olevat seadme tehnilist juhendit lugedes. [5]



Joonis 3.20 ABB Relion seeria fiidriterminal REF615 [5]

Fiidriterminali tööpõhimõte seisneb info kogumisel alajaama primaarseadmetelt läbi erinevate mõõtevahendite infokanalite, mille järel releekaitse seade töötleb saadud informatsiooni, teeb vajalikud toimingud (nt lülitamised) ning edastab selle informatsiooni kõrgema astme seadmele, milleks võib olla RTU. Sealt liigub info omakorda erinevaid sidekanaleid pidi SCADA-sse. Info liikumise ja töötlemise ahel on üldjuhul palju keerulisem, kasutades mitmeid erinevaid kommunikatsiooniprotokolle ja infoedastuskanaleid.

3.2.2 Ülesande püstitus

Laboritöös on tudengil vaja selgeks teha ABB Relion REF615 kasutamise põhimõte ja roll alajaama automaatikas. Õppida selgeks REF615 kasutajaliidese kasutamine, orienteerumine terminali menüüs ning kergemate seadistuse tegemine. Lisaks on laboritöö osa ABB veebiliidese kasutamine ja selle kaudu parameetrite peale laadimine fiidriterminali. Peale selle peab töö tegija omandama oskuse kasutada demoalajaama stendil olevaid lüliteid ja nuppe, et testida fiidriterminali ja SCADA tööd.

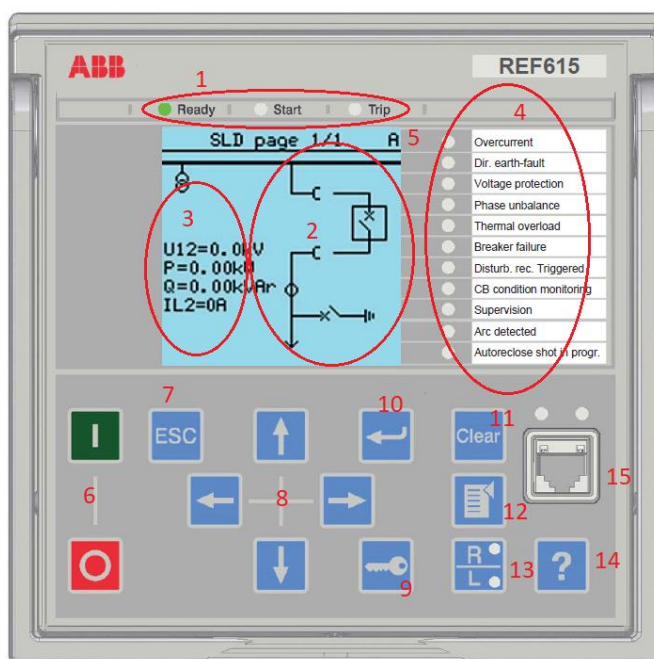
3.2.3 REF615 seadistusvõimalused

Laboritöös kasutatav automaatikaseade on eelnevalt konfigureeritud. Vastavad väärtused ja seadistused, millal, kuidas ja miks toimuvad lülitused ja andmeedastus on määratud releekaitse konfiguratsioonis. ABB Relion seeria kohtterminalide konfigureerimise tarkvara, mida antud demoalajaama seadmete puhul kasutatakse, on PCM600. Konfigureerimisel määratakse ära erinevad sisendi ja väljundid, parameetrid ning sideprotokollid, mis peavad tagama automaadi korrapärase ja töökindla toimimise.

Lihtsamaid seadistusi on võimalik teha, kasutades terminali enda kasutajaliidest (*Local HMI*) või veebirakendust (*Web HMI*). Üldiselt on nende kasutajad automaatikud ja operaatorid, kes testivad ja seadistavad alajaama automaatikat.

3.2.4 REF615 LHMI ja ABB *Web HMI* kasutamine

Terminali kasutajaliides ehk **LHMI** on vahend seadme sätete muutmiseks, jälgimiseks ja juhtimiseks. Selle hulka kuuluvad LCD ekraan, nupud, LED indikaatorid ja sideport. Näide REF615 esipaneelist on joonisel 3.21.



Joonis 3.21 REF615 esipaneeli näide ja selle kirjeldus [5]

LHMI kirjeldus joonise 3.21 põhjal:

1. LED indikaatorid *Ready*, *Start*, *Trip*.

Ready – Pidev roheline annab märku, et seade on töökorras ja valmis kasutamiseks. Vilkuv roheline – terminali siserike või terminal on testolekus. Indikaator ei tööta, kui puudub toide.

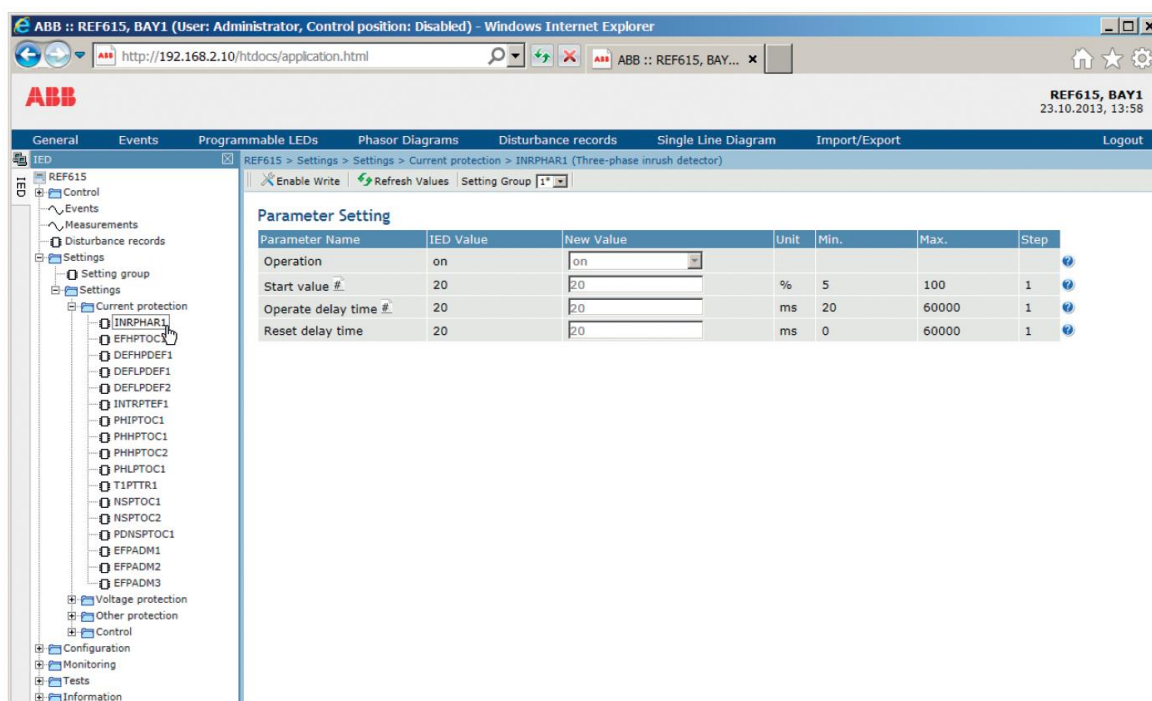
Start – Indikaator ei tööta normaalolekus. Pidev kollane LED annab märku, kui mingi konkreetne mõõteväärtus on üle/alla sätteväärtuse, ning kaitserakendumine on pihta hakanud. Vilkuv indikaator annab märku, et kaitsefunktsioon on blokeeritud. Blokeeringu eemaldamiseks tuleb kaitsefunktsioon algsätetele viia (*reset* menüüs).

Trip – Indikaator ei põle tähendab normaalolekut. Pidev punane indikaator annab märku, et kaitse rakendus ning juhitav lüliti on väljas asendis. Et normaalolek taastada tuleb kaitsefunktsioon *reset* menüüs taastada.

2. SLD ehk *Single Line Diagram* ehk ühejooneskeem. SLD on üks menüüvaadetest, mis kujutab terminali poolt juhitavat/jälgitavat fiidriskeemi.
3. Mõõteandmed.
4. 11 programmeeritavat LED indikaatorit alarmide jaoks vastavalt konfiguratsioonile. Normaalolekus on LED indikaatorid kustus. Alarmi tekkimise korral muutub LED punaseks.
5. Icoon kasutajataseme ja õiguste kohta. A – administraator, E – insener, O – operaator, V – vaataja.
6. Lüliti asendi muutmise nupud, kui terminali juhtimine on kohalikus asendis (R/L asend on L). Roheline nupp – sulge lüliti, punane nupp – ava lüliti. Liikudes SLD vaates nooltega lülitite peale ning vajutades vastavalt rohelist või punast nuppu, on võimalik teostada sisse- või väljalülitamine. Kinnitamiseks on vaja vajutada *Enter* klahvi terminalil.
7. *Escape* ehk välju. Menüüs liikudes saab selle nupuga väljuda menüüst ja katkestada tegevusi.
8. Nooled menüüs liikumiseks üles ja alla ning vasakule ja paremale. Vasakule ja paremale noole abil saab osadesse menüüdesse liikuda.
9. Võti – kasutatakse autoriseerimiseks ja terminalist välja logimiseks.
10. *Enter* ehk sisene – kasutatakse parameetrite muutmise vaatesse liikumiseks ja muutuste kinnitamiseks.
11. *Clear* nuppu kasutatakse *Clear/Reset* menüüsse minekuks ning alarmide (indikaatortulede) kustutamiseks.
12. *Menu* – otse menüüsse liikumine ja erinevate vaadete vahel liikumine terminali ekraanil.
13. R/L ehk *Remote/Local* ehk kaug/kohalik võti – määrab ära, kas alajaama on võimalik kaugelt (SCADA-ga) juhtida või on juhtimine lubatud ainult terminali enda menüüst. Kui põleb R indikaator on asend „kaug“ ja kui põleb indikaator L on asend „kohalik“. Asendeid saab muuta, kui hoida nuppu all 3 sekundit.
14. *Help* – annab abistavat infot antud terminali menüüpunkti kohta.
15. RJ-45 sideport ühendamaks terminali arvutiga. Kasutatakse konfiguratsioonifailide üles- ja allalaadimisel ning arvuti ühendamiseks veebi kasutajaliidesega. Fikseeritud IP esipordil on alati 192.168.0.254. [5]

Fiidriterminali kasutajaliidese selgeks tegemisel on abiks, kui proovida iseseisvalt menüüs liikuda ja seadistust vaadata. Samuti R/L asendit muuta ja proovida tekkinud alarme tühistada. Kuna tegemist on testseadmega, siis ei pea muretsema, et vale vajutus võib kahju tekitada. Siiski **ei tohi** menüüs seadistust muuta ega kustutada.

WHMI ehk **Web HMI** ehk veebikasutajaliidese menüü (joonis 3.22) ülesehitus on väga sarnane LHMI omale. Veebiliidese kaudu on võimalik vaadata toimunud sündmusi ja alarme, muuta releekaitsetsätteid, jälgida süsteemi tööd ning reaalaja faasidiagramme, importida ja eksportida parameetreid jne. Veebiliidese ühenduse saab luua, ühendades sülearvuti või SCADA tööjaam esipordi kaudu terminaliga. Veebibrauser, mida ABB *Web HMI* toetab on Internet Explorer 8.0, 9.0 ja 10.0. [5]



Joonis 3.22 ABB *Web HMI* näide [5]

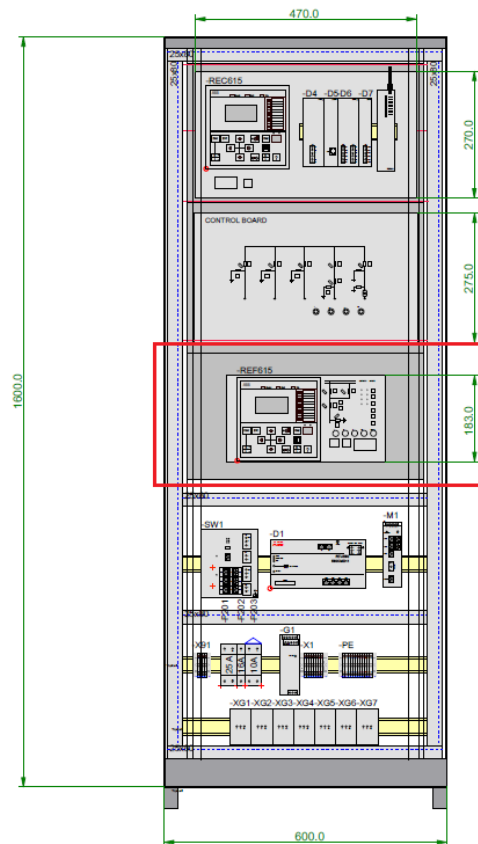
Tabelis 3.3 on LHMI ja WHMI liideste kasutajad, paroolid ja nende õigused. Laboritöö käigus peaks LHMI ligipääs olema tagatud, kuid WHMI kasutamiseks on paroolid vajalikud. Laboritöös võib kasutada inseneri õiguseid nii LHMI kui WHMI puhul, kuid tasub meeles pidada, et konfiguratsiooni **ei tohi muuta ega kustutada**.

Tabel 3.3 LHMI ja WHMI kasutajad ja paroolid [5]

Kasutaja	LHMI parool	WHMI parool	Õigused
VIEWER	0001	remote0001	Vaatamisõigused
OPERATOR	0002	remote0002	Opereerimisõigused
ENGINEER	0003	remote0003	Parameetrite muutmise õigus ilma opereerimisõigusteta
ADMINISTRATOR	0004	remote0004	Kõik õigused

3.2.5 Stendi kasutamine ja lülitamine

ABB demoalajaama parempoolses kapis 01.R (joonis 3.23) on fiidriterminal REF615 alajaama AJ2 jälgimiseks, juhtimiseks ja kaitseks. Reaalsete lülitite asemel on õppe-eesmärgil kasutatud spetsiaalselt stendi jaoks kohaldatud maketti, kus on võimalik imiteerida lülitusi, mõõtmisi ja alarme. Lülitite asendeid imiteerivad stendi indikaatorid ning lülitusi on võimalik teha juhtimispaneelil asuvate lülititega. Lisaks on võimalik muuta erinevate parameetrite väärtusi kasutades stendi keerdnuppe.



Joonis 3.23 ABB demoalajaama kapp 01.R [6]

Joonisel 3.24 on ABB stendi AJ2 juhtimispaneel koos skeemi ja lülititega. Fiidriterminal on ühendatud alajaama maketiga, et sealt andmeid koguda ja lüliteid juhtida. Lisaks SCADA ja fiidriterminali kaudu juhtimisele on võimalik lülitusi teha ka juhtimispaneeli lülitite vajutamisega. Samuti on võimalik simuleerida lühist ning muuta erinevaid elektrilisi parameetreid stendi keerdnuppudega.



Joonis 3.24 ABB stendi AJ2 esipaneel koos paneeli seletustega

Seletus joonise 3.24 kohta:








1. Lahklüliti Q1 LED asendiindikaatorid ja lüliti
2. Lahklüliti Q2 LED asendiindikaatorid ja lüliti
3. Võimsuslüliti Q0 LED asendiindikaatorid ja lüliti
4. Maanduslüliti Q9 LED asendiindikaatorid ja lüliti
5. Indikaator lühise tekkimise kohta (tekib vajutades paneelil ARC)
6. Keerdnupp voolu jaoks koormuse suurendamiseks (3-le faasile)
7. Keerdnupp I₀ (neutraali vool) jaoks
8. Keerdnupp liinipinge U jaoks (3-le faasile)
9. Keerdnupp pinge U₀ (neutraali pinge) jaoks
10. Keerdnupp U_{sync} (sünkroniseerimise pinge) jaoks
11. Sidepordid terminali ühendamiseks
12. REF615 toitelüliti ja –kaabel
13. Väljundite indikaatorid
14. Sisendite indikaatorid ja lülitid

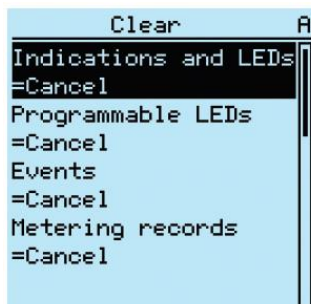
Stendi kasutajal on õppe-eesmärgil soovitatav teha erinevaid lülitusi paneeli nuppe kasutades. Samuti kasutada keerdnuppe ning erinevaid sisendeid tutvumaks stendi juhtimispaneeliga. Kuna tegemist on demoalajaamaga, siis ei pea kartma valelülitamiste tegemist. Samas tasub meeles pidada, et reaalse alajaama ja selle seadmete puhul peavad kõik lülitused olema läbimõeldud ning ohutusnõuded tagatud. Muutes pingeid ja voolusid, tasub samal ajal vaadata, kuidas reageerib muutustele relekaitseseade REF615.

3.2.6 Stendi eelseadistus

Pärast esipaneeliga tutvumist võivad olla tekkinud erinevad häired ja alarmid terminalis, mis tuleb kustutada. Samuti tuleb lülitada juhtimispaneelil olevad lülitid õigestesse asenditesse ja muudetavad parameetrid (voolud ja pinged) väärtusele 0 keerata.

Tekkinud alarmide kohta annavad infot terminali esipaneeli LED indikaatorid. Kui *Ready* vilgub ja *Trip* LED põleb punaselt on kaitse rakendunud. Rakendumise põhjuse saab teada, vaadates indikaatoreid digirelee esipaneeli paremas osas (joonis 3.21 punkt 4). Tekkinud sündmusi ja alarme on võimalik vaadata ka fiiderterminali menüüst või kasutades veebiliidest, kui see on ühendatud.

REF615 alarmide kustutamiseks on kaks võimalust. Hoides all  3 sekundit, kustutatakse *Ready*, *Start*, *Trip* indikaatorid. Hoides sama nuppu all 3 sekundit teist korda, kustutakse 11 programmeeritavat LED-i. Teine võimalus alarmide ja sündmuste kustutamiseks on minna REF615 menüüsse, vajutades hetkeks , mille peale avaneb ekraanile vigade kustutamise menüü (joonis 3.25). Valida *Indications and LEDs*, vajutada , liikuda  ja  abil menüüs, et tekiks kirje *Clear*, vajutada . Korrata sama tegevust *Programmable LEDs*, *Events* ja *Metering Records* puhul. Menüüst välja liikumiseks kasutada . Kontrollida, et relee indikaatorid on kustunud. [5]



Joonis 3.25 REF615 menüü alarmide kustutamiseks [5]

Stendi lülitite algasendi määramiseks tekitada skeemil olukord, mis on toodud joonisel 3.24 ehk lülitada kõik lülitid avatud asendisse ning keerata voolude ja pingete väärtused nulli (vastupäeva).

3.2.7 REF615 parameetrite laadimine releesse

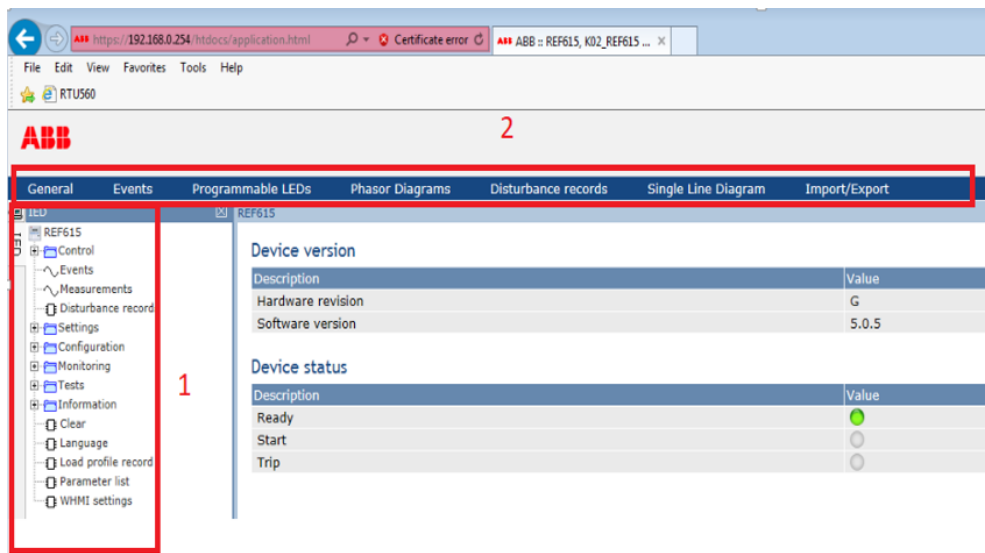
Uute parameetrite laadimiseks fiidriterminali on võimalik kasutada ABB brauseripõhist veebiliidest. Selleks on vaja ühendada sülearvuti (kus on Internet Explorer 8.0, 9.0 või 10.0 tarkvara) fiidriterminaliga, kasutades selleks demoalajaama kapis olevat võrgukaablit (RJ-45 pistikuga). Kaabel tuleb ühendada fiidriterminali REF615 esiporti (vaadata joonist 3.21). Sülearvuti asemel on võimalik seadistamiseks kasutada SCADA tööjaama. SCADA tööjaama ühendamiseks tuleb SCADA arvuti kapist 02.R võtta sinise ribaga märgitud võrgukaabel ja ühendada see REF615 esiporti (joonis 3.21).[5]

Seejärel avada arvutis Internet Explorer ja kirjutada brauseri otsingureale 192.168.0.254 (REF615 fikseeritud IP aadress esiporti kasutades). Avaneb sisselogimise aken, kus küsitakse kasutajanime ja parooli. Logida sisse ABB veebirakendusse:

Username *ENGINEER*
Password *remote0003*

Avaneb veebiliidese algpilt (joonis 3.26), kus on võimalik kül- või päisemenüüst valida sobilik atribuut, mida muuta või jälgida. Olenevalt kasutajast on võimalik veebiliidese kaudu teha muudatusi parameetrites ja seadistustes, muuta LHMI-d, importida ja eksportida parameetreid, vaadata sündmusi, alarme või erinevaid diagramme, teha lülitusi jne.

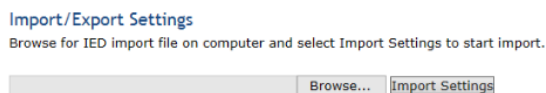
Tutvuda veebiliidese võimalustega. Mitte kustutada ega muuta seadistust.



Joonis 3.26 Kuvatõmmis ABB veebiliidese avalehest. Numbrid 1 ja 2 viitavad erinevatele menüüdele veebikeskkonnas.

Laboritöö parameetrite faili fiidriterminali laadimiseks valida päisemenüüst *Import/Export*.

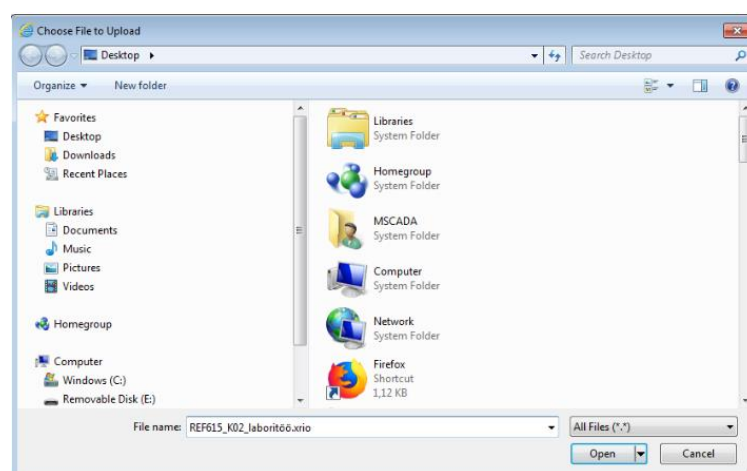
Avaneb leht:



Joonis 3.27 Import/eksport menüü

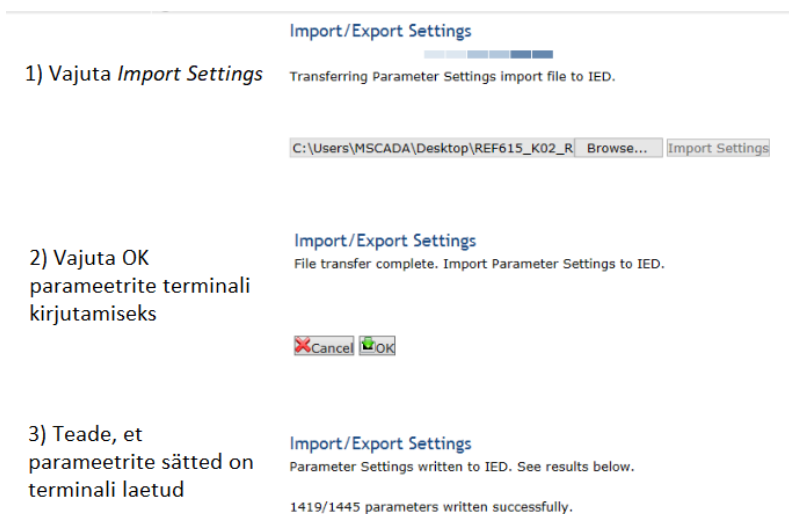
Vajutada *Browse...* ja valida REF615_K02_Laboritöö.xrio nimeline fail ja seejärel *Open* (joonis 3.28).

Fail asub SCADA arvuti töölaua kaustas Demoalajaama laboritöö ning ABB mälufulgal kaustas Demoalajaama laboritöö.



Joonis 3.28 Parameetrite faili üleslaadimine veebiliidessesse

Kui fail on veebiliidessesse lisatud, tuleb see kirjutada terminali. Joonisel 3.29 on parameetrite terminali laadimise protsess kirjeldatud.



Joonis 3.29 Seadistuse terminali üleslaadimise punktid veebiliideses

Pärast seadistuse peale laadimist võib sulgeda veebirakenduse ja katkestada ühenduse arvuti ja terminali vahel.

3.2.8 Testimine

1. Kontrollida REF615 menüüst võrgusagedust, kasutades selleks fiidriterminali LHMI-d. Selleks vajutada terminali peal menüü klahvi (joonis 3.21 number 12), et siseneda terminali menüüsse. Seejärel *Configuration>System>Rated Frequency* (kasuta menüüs liikumiseks terminalil). Veenduda, et sageduseks on märgitud 50 Hz. Välju menüüst klahviga.
2. Veenduda, et fiidriterminalis ei ole aktiivseid häireid (*Start, Trip* või teised indikaatorid ei põle, v.a Sünkronism OK, mis võib põleda roheliselt). Kui on tekkinud alarmid, siis kustutada need terminali menüü kaudu (vaata peatükki 3.2.6). Kaug/kohalik võti (R/L) peab olema kohalikus (L) asendis.
3. Veenduda, et maanduslüliti Q9 on avatud asendis. Lülitada juhtimispaneelil (joonis 3.24) sisse lahküliti Q1 **või** Q2 ja seejärel võimsuslüliti Q0.
4. Keerata stendi keerdnuppu U, suurendades liinipinge (U_{12}, U_{23}, U_{31}) ~20 kV-ni. Jälgida pinge väärtust REF615 ekraanilt (vajutades terminali menüü nuppu, on võimalik ekraani vaadet vahetada, et kuvada kõiki mõõtmisi). Tõsta faasivoolude väärtus 5 amprini keerdnupuga I ja kontrolli väärtusi terminali ekraanilt. Seejärel tõsta järk-järgult liinipinge väärtust kuni toimub kaitserakendumine.

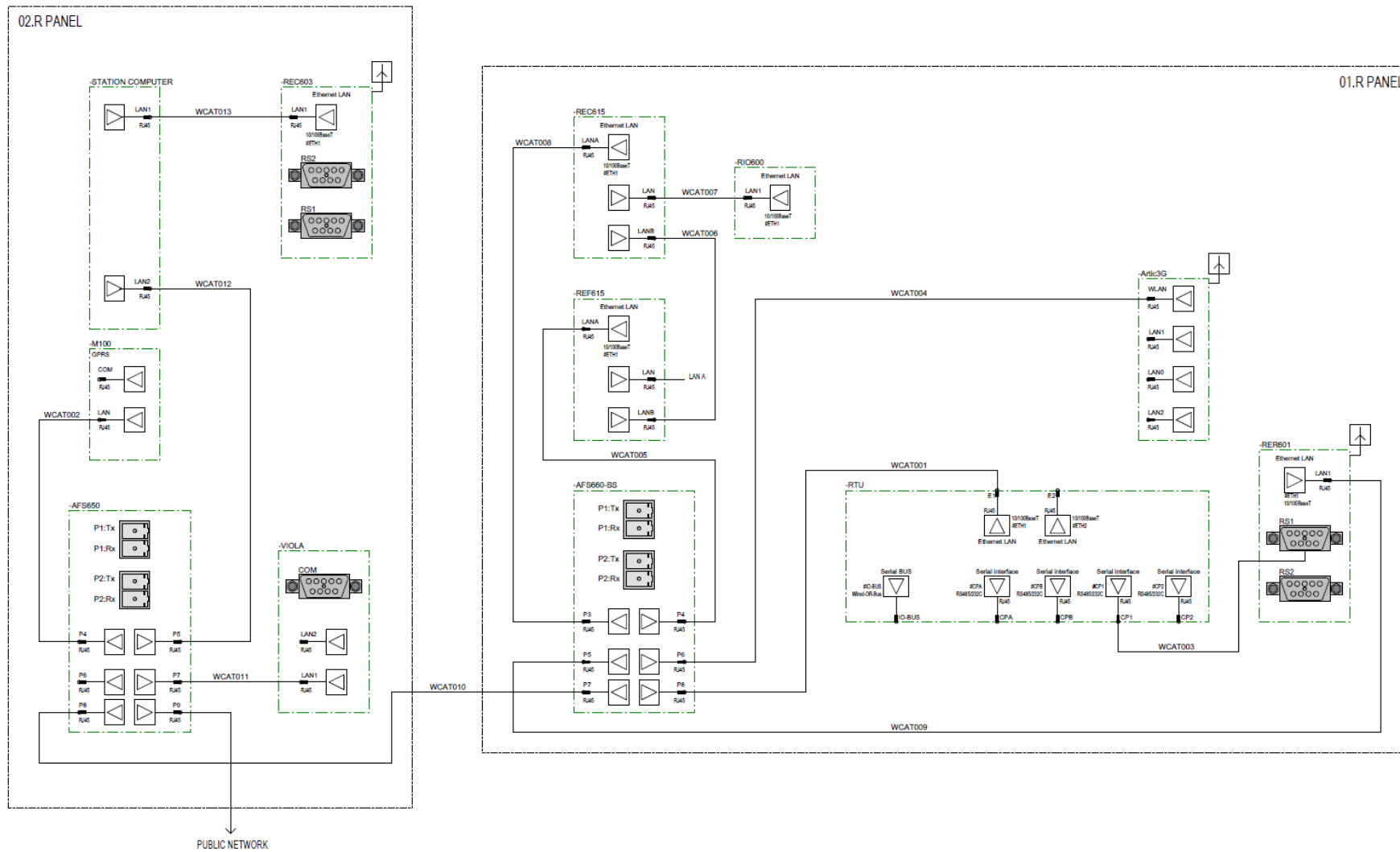
5. Kontrollida, et võimsuslülitid Q0 on avatud asendis ehk releekaitse töötab ja lülitid lülitus välja. Lisaks kontrollida, et fiidriterminali indikaatorid põlevad (*Start, Trip, ÜLE-ALAPINGE KAITSE*). Keerdnuppudega muuta I ja U väärtus nullini. Kustutada REF615 terminali menüüst tekkinud alarmid. Veenduda, et indikaatorid (*Start, Trip* ja *ÜLE-ALAPINGE KAITSE*) REF615 esipaneelil on kustunud.
6. Pingestada skeem, lülitades sisse võimsuslülitid Q0. Määrata liinipinge väärtuseks 20 kV. Järk-järgult tõsta I väärtust kuni toimub releekaitse rakendumine ja Q0 väljalülitamine. Kontrollida, et fiidriterminali indikaatorid põlevad (*Start, Trip, VOOLUKAITSE TÖÖ*). Nullida I ja U väärtused ning kustutada fiidriterminali menüüst alarmid.

3.3 SCADA ja REF615 testimine

SCADA ja alajaama ühenduse testimise hetkeks peavad olema tehtud seadistused nii SCADA rakenduses, kui alajaama terminalides (antud juhul RTU540 ja REF615). Kui seadistus on vastavalt projektile tehtud, tuleb süsteemi tööd testida, enne kui toimub reaalne pingestamine alajaamas. Vajalik on luua sidekanal SCADA ja alajaama vahel, kontrollida selle toimimist ja kvaliteeti, seejärel testida kõik võimalikud funktsionaalsused, et seadmed töötaksid reaalolukorras selliselt nagu vaja. Metoodilise juhendi punktide 3.1 ja 3.2 teostamisega on SCADA ja alajaama (AJ2) seadistused tehtud, mis on eelduseks metoodilise juhendi punktis 3.3 tegevuste täitmiseks.

3.3.1 Seadmete ühendamine

SCADA ja AJ2 vahelise ühenduse tekitamiseks tuleb luua nende vahel sidekanal, mille kaudu hakkab toimima infoedastus. Antud juhul tuleb selleks kasutada sidekaablit, ühendades demoalajaama kappides asuvad sideseadmed. Ühendada tuleb mõlemas kapis asuvad AFS650 ja AFS660 kommutaatorid, kasutades selleks sidekaablit tähistusega WCAT010. SCADA arvuti kapis 02.R asuva kommutaatori ühenduspesa on P8 ja alajaama kapis 01.R asuva kommutaatori port P7 (vaata joonis 3.30).





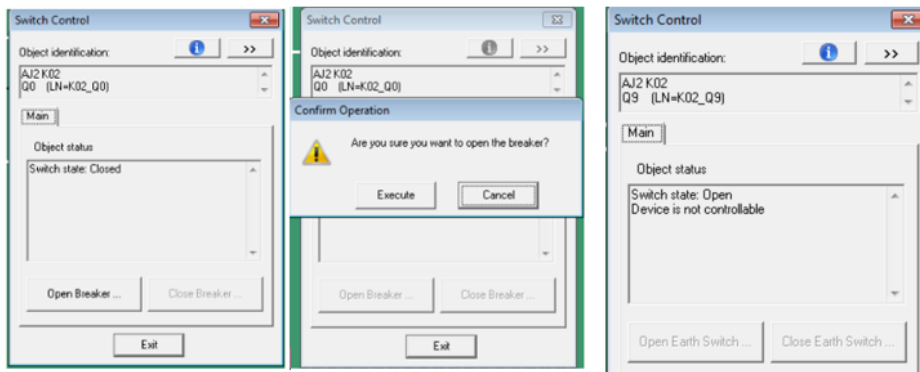
Joonis 3.30 ABB demoalajaama sideskeem [6]

3.3.2 Süsteemi testimine

Pärast sideühenduse loomist tuleb logida sisse SCADA-sse (kui see ei ole veel tehtud), kasutades juhendi peatükki 3.1.4. Kui ühendus on loodud alajaama ja SCADA vahel, muutuvad jälgitavad ja juhitavad objektid SCADA-s roheliseks – see on indikaator ABB MicroSCADA-s, mis näitab, et sideühendus on loodud.

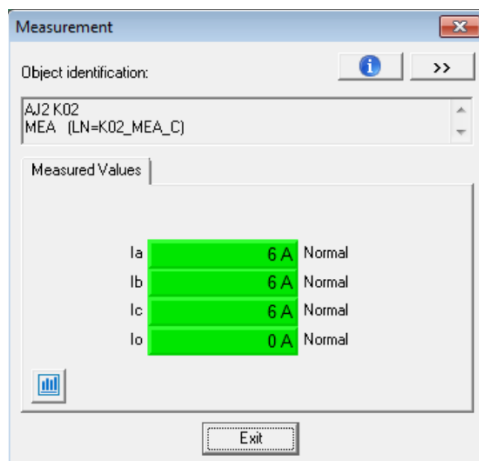
SCADA lülitite ja mõõtmiste testimiseks tuleb avada AJ2 pilt SCADA-s (Laboritöö) ning kontrollida, et kõik juhitavad ja jälgitavad objektid on ühendatud (rohelised ja kui juhtimisaknas olevad toimingud on võimaldatud). Samuti tasub kontrollida, et REF615 alarmid oleksid kustutatud, ning juhtimispaneeli lülitite asendid oleksid järgnevalt: Q1 või Q2 suletud asendis, Q0 avatud asendis ja Q9 avatud asendis. Keerdnupudel olevad väärtused peavad olema nulli keeratud.

1. Kaug/kohalik võti – REF615 esipaneelil olevat nuppu L/R all hoides saab muuta kaug/kohalik võtme asendit ehk määrata seda, kas SCADA kaudu saab lülitusi teha või ei. Samuti peab see olema nähtav SCADA-st:  või . Kui asend on *Local* siis ei ole võimalik lülitite asendit muuta ja edastatud juhtimiskäsk ei lähe läbi. Testida seda võimsuslülitit Q0 juhtimisel.
2. Lülitite juhtimine (Q1, Q2, Q0 ja Q9) – SCADA-st lülitite juhtimine peab kajastuma demoalajaama stendi skeemil ning vastupidi. Kui muuta lülitite asendit, vajutades juhtpaneelil asetsevaid nuppe, peab see info jõudma SCADA-sse. Lülitite juhtimisel SCADA-st avaneb juhtimisaken (joonis 3.31), kus on info lüliti asendi kohta (*Switch State*) ja info, kas lüliti on juhitav. Kui lüliti on juhitav, siis on juhtimisakna alumises osas valikud *Open...* või *Close....* Kui kumbki nendest valikutest valida, siis avaneb lisaaken, mis palub kinnitada, kas antud käsk täita (*Execute*). Kui lüliti ei ole juhitav, siis on *Object Statuse* infos kirjas, et lüliti ei ole juhitav. Lisaks ei ole võimalik lülitit avada ega sulgeda, kui juhtimisikoonid *Open...* ja *Close...* ei ole aktiivsed. Testimisel proovida läbi kõikide lülitite juhtimised SCADA kaudu ja jälgida, et lülitite asendid muutuvad ka skeemil.



Joonis 3.31 Lülite juhtimisaknad juhitava võimsuslüliti ja juhitamatu maanduslüliti kohta

3. Mõõtmised – mõõtmistulemusi saab kontrollida, muutes väärtusi stendi keerdnuppudega ning jälgides tulemusi SCADA pildilt. Samuti on võimalik mõõteandmeid vaadata paralleelselt REF615 ekraanilt. REF615 mõõtetulemuste menüüle liikumiseks vajutada . Mõõtmistulemuste muutmiseks stendil ja jälgimiseks SCADA-s, tekitada alajaamas olukord kus Q1 või Q2 on suletud asendis, Q0 suletud asendis ja Q9 avatud asendis. Seejärel muuta I, U, U_o, I_o väärtusi ja võrrelda neid SCADA pildil ja REF615 ekraanil. Kui pinge või voolu väärtuste muutmisel rakendub releekaitse, siis kustutada alarmid terminalis ja lülitada võimsuslüliti tagasi sisse ning jätkata testimist. Joonisel 3.32 on SCADA mõõtetulemuste aken.



Joonis 3.32 Mõõtetulemused SCADA-s

4. Releekaitse rakendumine – lüliti Q0 väljalülitamine liiga suure pinge või voolu väärtuse tõttu on hea viis testimaks, kas süsteem toimib nii nagu peab. Kui suurendada pinget või voolu üle lubatud väärtuse, siis rakendub kaitsefunktsionaalsus, mille tulemusena lülitub Q0 välja. See info peab jõudma SCADA-sse, kus SCADA pildilt on näha, et lüliti asend muutus. Lisaks on SCADA alarmide ja sündmuste logides kirjed, mis täpsemalt juhtus ja mis põhjusel (seda saab vaadata alarmide ja sündmuste logist (joonised 3.5, 3.7 ja 3.8). Kui releekaitse

rakendus ja häire tekkis, siis rikke registreerimise järgselt kustutada relees tekkinud alarmid, nullida voolude ja pingete väärtused juhtimispaneelil ja lülitada Q0 taaskord sisse. Selliselt saab teostada järgmise katse, kas mingi teise parameetri muutmisel releekaitse rakendub või ei. Laboritööd tehes on harjutamise mõttes soovitatav proovida see läbi kõikide muudetavate parameetritega (U_0 , I_0 , U , I , U_{sync}).

Alajaama ja SCADA testimisprotsessil on tarvis kahte inimest, kellest üks jälgib ja testib SCADA-t ja teine alajaama. Selle koostöö tulemusena peavad kõik testitavad signaalid, mõõtmised, lülitid ja funktsionaalsused saama testitud.

Demoalajaama testimist teostades tuleb meeles pidada, et pärast häirete tekkimist ja kaitserelee rakendumist on vaja alarmid REF615 menüüs kustutada, voolude ja pingete väärtused nullida ning seejärel lüliti taaskord sisse lülitada. Alles siis asuda järgmise funktsionaalsuse testimise juurde.

Releekaitse rakendumine liiguvoolu korral

Kontrollida, et REF615 alarmide indikaatorid oleksid kustunud, keerdnupud nullitud, Q1 või Q2 ja Q0 suletud asendis, Q9 avatud asendid. Määrata liinipinge väärtuseks (U) ~20 kV. Seejärel suurendada järk-järgult I väärtust keerdnuppu kasutades. Suurendada väärtust senikaua, kuni toimub kaitserakendumine ja Q0 lülitub avatud asendisse. Vaadata SCADA alarmide ja sündmuste logisid (logides filtreerida ainult AJ2 kohta käivaid signaale) ja veenduda, et ka SCADA-s toimus Q0 välja lülitumine. Dokumenteerida vajalik info sündmuste ja alarmide kohta. Kustutada relees tekkinud alarmid, nullida voolu ja pinge väärtus ja lülitada Q0 suletud asendisse, kasutades selleks SCADA juhtimist või stendi lülitit.

Releekaitse rakendumine liigpinge korral

Kontrollida, et REF615 alarmide indikaatorid oleksid kustunud, keerdnupud nullitud, Q1 või Q2 ja Q0 suletud asendis, Q9 avatud asendid. Määrata liinipinge väärtuseks (U) ~20 kV. Muuta voolu väärtust 5 A-ni. Seejärel hakata järk-järgult suurendama liinipinge väärtust (U) seni kuni toimub releekaitse rakendumine ja Q0 lülitub välja. Registreerida tekkinud väärtus, millal toimus releekaitse rakendumine. Samuti vaadata SCADA alarmi ja sündmuste logisid (logides filtreerida ainult AJ2 kohta käivaid signaale) ja veenduda, et ka SCADA-s toimus Q0 väljalülitumine. Dokumenteerida vajalik info sündmuste ja alarmide kohta. Kustutada relees tekkinud alarmid, nullida voolu väärtus ja lülitada Q0 suletud asendisse, kasutades selleks SCADA juhtimist või stendi lülitit.

3.3.3 Testimise lõpetamine

Pärast SCADA ja alajaama funktsionaalsuste testimist, vajaliku dokumentatsiooni registreerimist ja stendi toimimise demonstreerimist juhendajale tuleb:

1. Kustutada alarmid REF615 menüüs
2. Nullida demoalajaama keerdnupud
3. Viia stendil lülitite asendid avatud olekusse
4. Kviteerida SCADA-s kõik tekkinud alarmid (vaata joonis 3.1.4.5 *Acknowledge All Alarms*)
5. Katkestada ühendus kahe demoalajaama kapi vahel ja paigutada ühenduskaabel (WTCA010) korrektselt omale kohale

3.4 Süsteemi algoleku taastamine

Süsteemi algoleku taastamine pärast laboritöö lõpetamist koosneb kahest osast: SCADA pildi taastamine ning REF615 seadistuse viimine algolekusse. Eelnevalt veenduda, et aruandes nõutud toimingud on tehtud.

3.4.1 SCADA pildi kustutamine

SCADA pildi viimiseks algsesse olekusse tuleb SCADA-s minna Laboritöö pildile, kuhu töö käigus sai lisatud uusi objekte (mõõtmised, lülitid) ja need kustutada. Selleks tuleb avada *Display Builderi* (vaadata punkti 3.1.4) funktsionaalsus SCADA-s ja kustutada lisatud objektid pildilt. Kustutada saab objekte, vajutades objektile paremat hiireklahvi ja valida *Delete* või valides objekt ja vajutada klaviatuuril *Delete* klahvi. Pärast objektide kustutamist, peab uue pildi salvestama, vajutades *Save* ikoonile *Display Builderis*. Pärast *Display Builderi* sulgemist peavad jooniselt olema kustutatud kõik mõõtmisobjektid, lülitid ja kaug/kohalik võti. Joonisel 3.15 on võrdluseks AJ2 SCADA algne pilt. Seejärel sulgeda SCADA rakendus.

3.4.2 REF615 seadistamine algolekusse

REF615 seadistamiseks algolekusse tuleb terminali laadida parameetrite fail REF615_K02_Algolek.xrio, mis asub SCADA arvuti töölaua kaustas Demoalajaama laboritöö ning ABB mä lupulgal kaustas Demoalajaama laboritöö. Algsete parameetrite peale laadimiseks kasutada punktis 3.2.7 toodud juhiseid.

3.4.3 Laboritöö lõpetamine

Pärast SCADA pildi ja REF615 algsele olekule viimist paigutada kasutatud töövahendid omale kohale. Kaablid asetada demoalajaama kappi, ABB mä lupulk jätta SCADA arvuti klaviatuuri kõrvale. Logida välja SCADA arvutist. Demoalajaam jätta vooluvõrku.

4. LABORITÖÖDE JUHENDI KOOSTAMINE

Laboritöö metoodiline juhend koosneb 37-st leheküljest ja on piisavalt põhjalik, et laboritöö teostajad saaksid esmase ülevaate ABB MicroSCADA-st ja laboritöös kasutatavatest seadmetest ning sellest, kuidas laboritöö edukalt läbida. Metoodiline juhend on jaotatud neljaks osaks, kus esimene peatükk kirjeldab ABB MicroSCADA-t ning juhendab laboritöö teostajaid SCADA rakendust kasutama. Teine peatükk seletab ABB Relion REF615 fiidriterminali ja stendi juhtimispaneeli kasutamist ja seadistamist. Kolmas peatükk võtab kokku kahes esimeses osas teostatud töö – laboritöö teostajad peavad suutma panna SCADA rakenduse ja REF615 koos tööle ning teostada lülitusi ja kontrollida mõõtetulemusi. Juhendi viimane osa juhendab taastama ABB demoalajaama algolekut.

Laboritöö on mõeldud lahendamiseks kahele tudengile, kellest üks tutvub ja tegeleb SCADA poolega ning teine REF615-ga ja alajaama juhtpaneeliga. Selliselt saavad tudengid teha koostööd seadistusprotsessil, testimisel ja tehtud töö esitlemisel. Enne laboritöö alustamist peaksid mõlemad tudengid tutvuma metoodilise juhendiga, et saada parem ülevaade töö ideest ja eesootavatest tegevustest. Pärast seda saavad tudengid hakata tööle paralleelselt omavahel jagatud ülesannetega.

Metoodilise juhendi koostamisel oli tähtsaks osaks laboritöö mitmekordne teostamine, mille käigus sai teha vigade parandusi ja lahendada ebaselguseid. Lisaks oli vajalik jälgida välise töö teostaja (energeetika haridusega kolleeg) tegevust laboritöö lahendamisel, tänu millele oli võimalik leida metoodilise juhendi kitsaskohti ning arusaamatusi. Pärast seda oli võimalik hinnata laboritöö raskusastet ja aega, mis on vajalik töö edukaks sooritamiseks.

Juhendi koostamise 4 erinevat etappi:

1. Laboritöö idee koostamine ja esmase kava ja juhendi loomine
2. Laboritöö esimene teostamine autori poolt, vigade parandus
3. Laboritöö teine teostamine autori poolt
4. Laboritöö sooritamine välise teostaja poolt, vigade parandus

Orienteeruv aeg laboritöö teostamiseks jaguneb järgnevalt:

1. Laboritöö metoodilise juhendiga tutvumine – 15 minutit
2. SCADA osa teostamine – 60-75 minutit
3. REF615-ga tutvumine ja seadistamine – 60-75 minutit

4. SCADA ja REF615 testimine – 30 minutit
5. Laboritöö esitlemine juhendajale – 15 minutit
6. Algoleku taastamine – 15 minutit
7. Aruande koostamine – 30 minutit

4.1 Laboritöö idee

Esimene küsimus, mis vajas lahendamist, oli laboritöö sisu välja mõtlemine. Kuna ABB demoalajaamas on kasutusel palju erinevaid seadmeid ning arvutis mitu erinevat rakendust, siis tuli välja valida vastavad seadmed ja rakendused, et laboritöö oleks jõukohane, ajaliselt sobilik ja tudengitele tulevikus kasulik. Seetõttu sai valitud töö osadeks REF615, ABB MicroSCADA ja nende ühendamine ja testimine. Siinkohal tasub märkida, et ABB MicroSCADA on hetkel kasutusel ka elektrivõrgu juhtimiseks ja jälgimiseks Elektrilevi OÜ-s ning jaotusvõrgu mitmetesse alajaamadesse on paigaldatud ABB REF615 fiidriterminalid.

MicroSCADA puhul on tegemist üpriski keerulise tarkvaraga, mille täielikult selgeks tegemine võtab kaua aega. Laboritöö käigus saavad tudengid teada baasteadmised MicroSCADA kohta: kuidas jälgida alarme, sündmusi ja mõõtmisi SCADA-s; kuidas teha lülitusi SCADA-s; algteadmised SCADA andmebaaside kohta; SCADA-sse skeemide ja objektide loomine. Fiidriterminali REF615 kasutajaliidese ja menüüga tutvumine ning selle kasutamine elektrivõrgu simuleerimisel demoalajaama paneelil, annab tudengile ettekujutuse, kuidas automaatikaseadmed alajaamades toimivad. Lisaks sai laboritöö osaks valitud ka veebiliidese kasutamine, mis on reaalses olukordades automaatikute poolt kasutusel. Selleks et muuta laboritöö tervikuks ning anda tehtud tegevustele hea ülevaade, peavad tudengid panema SCADA ja REF615 (AJ2) omavahel tööle. Selline tegevus iseloomustab osaliselt alajaama ja SCADA omavahelist seadistusprotsessi.

4.2 Laboritöö jaoks tehtud muudatused demoalajaamas

Laboritöö valmistamiseks oli vajalik teha muudatusi demoalajaamas. Kuigi alajaama seadmete ja rakenduste seadistused olid eelnevalt tehtud, pidi nendes tegema mõningaid modifikatsioone, et muuta praktikum sobilikumaks õppetöö jaoks. Lisaks tuli ette mõningaid mittevastavusi, mis oleksid võinud tekitada segadust laboritöö täitmisel.

Laboritöö tarvis sai likvideeritud **mittevastavused kaabelduses**. Demoalajaama sideskeemil (joonis 3.30) olev kaabeldus ei vastanud tegelikkusele, kuna osad ühendused puudusid või olid valesti ühendatud. Laboritöö viimiseks vastavusse skeemiga, tuli osad kaablid ringi tõsta ja ühendused taastada.

Mitmeid **muudatusi** sai laboritöö jaoks tehtud **SCADA rakenduses**. SCADA menüüd (joonis 3.5) sai viidud sellisele kujule, et töö teostajal oleks SCADA-t kasutades ekraanil ainult vajalikud menüüd ja valikud. Lisaks muudatustele menüüdes, sai loodud uus pilt SCADA-sse sisselogimisel ning laboritöö täitmiseks (Laboritöö pilt SCADA-s, kuhu töö teostaja loob uue SCADA skeemi ja objektid AJ2 kohta). Muudatusi tehes tuli arvestada sellega, et olemasolevad pildid ja failid jäävad alles, aga on peidetud. Pildid sai loodud *Display Builder* tööriista kasutades ning salvestatud SCADA rakenduse PICT kausta.

Laboritöö jaoks sai loodud **signaalitabel** (tabel 3.1 ja lisa 1), kus on ära toodud AJ2 kohta kõik jälgimis- ja juhtimissignaale koos nende mõnede parameetritega, mille alusel SCADA andmebaas koostatakse. Installitabel koos alajaama skeemiga on esmased sisendid SCADA andmebaasi koostamiseks. Andmebaasi põhjal on omakorda võimalik MicroSCADA-s koostada visuaalne kujutis alajaamast. Antud töös sai installitabel koostatud eelnevalt loodud andmebaasi põhjal, kontrollides andmebaasi protsessiobjektide atribuute ning RTU konfiguratsiooni.

REF615 seadistamise üks osa on **parameetrite faili fiidriterminali laadimine**. Laboritöö puhul valisin selleks ABB veebiliidese, kuna selle kasutamine on tunduvalt lihtsam, kui PCM600 tarkvara kasutamine. Lisaks ei ole veebiliidest kasutades vaja installida eraldi tarkvara, kui on soov kasutada isiklikku sülearvutit. Laboritöö jaoks sai loodud kaks eraldi .xrio parameetrite faili: üks laboritöö teostamise jaoks ja teine algoleku taastamiseks. Laboritöö koostamisel sai proovitud parameetrite laadimist nii demoalajaama SCADA arvuti kaudu kui isiklikku sülearvutit kasutades. Laboritöös ei ole kajastatud veebiliidese enamikke võimalusi ning laboritöö teostajad ei pea selle kõiki võimalusi endale selgeks tegema.

Eraldi sai kontrollida üle fiidriterminali **REF615 seadistus**. Terminali seadistus oli eelnevalt vastavalt projektile tehtud ning laboritöö koostamiseks muid muudatusi peale kellaaja muutmise, ei olnud vaja teha.

Laboritöö koostamisel tutvusin lähemalt lisaks veebiliidesele, ABB MicroSCADA-le ja REF615-le ka **RTU540 ja REF615 digirelee konfiguratsiooni**, **RTUtil500** ning **PCM600** tarkvaradega, mida laboritöös nende keerulisuse tõttu ei kasutata.

Demoalajaama üks seadmetest on **Meinberg M100 GPS kell**, mille eesmärk on demoalajaama seadmete aegade sünkroniseerimine. Laboritöö käigus tutvusin Meinbergi veebiliidesega, et seadistada tööle NTP server. GPS aega, aga ei saa rakendada, kuna seade nõuab välist antenni GPS signaali vastuvõtmiseks. Välise antenni paigaldamine ja ühendamine ei olnud laboritöö seisukohast otstarbekas, mistõttu sai demoalajaama seadmete ja SCADA ajad sünkroniseeritud seadmetes endas.

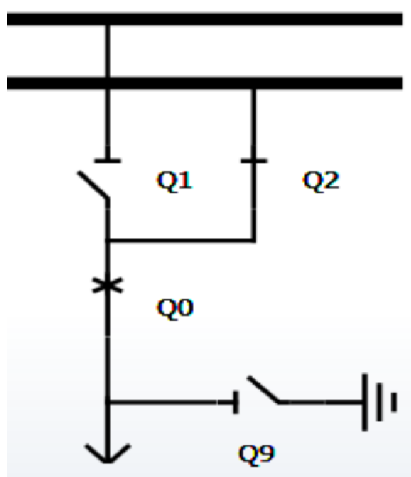
Töö jaoks vajalike **juhendite, tabelite ja muude failide** jaoks sai koostatud eraldi kaust SCADA arvuti töölauale, kust tudengid leiavad laboritöö tegemiseks vajalikud materjalid. Samade materjalide kohta sai loodud kaust SCADA arvuti kõrval olevale mälupulgale.

4.3 Laboritöö: ABB demoalajaama SCADA ja REF615 seadistamine ja koostoimimise testimine

Töö eesmärgid:

Õppida kasutama ABB MicroSCADA tarkvara, REF615 fiidriterminali ja ABB demoalajaama stendi. Loo SCADA pilt AJ2 kohta, seadistada veebiliidese kaudu REF615 terminal ning testida SCADA ja fiidriterminali koostoimimist, simuleerides mõõtmisi ja lülitusi demoalajaama stendil. Kasutades metoodilist juhendit, sooritada laboritöö 4 osa:

1. SCADA kasutamine ja pildi koostamine
2. REF615 kasutamine ja seadistamine
3. SCADA ja REF615 testimine
4. Süsteemi algoleku taastamine



Joonis 4.1 ABB demoalajaama AJ2 skeem

Töö käik:

1. Tutvuda laboratoorse töö metoodilise juhendiga
2. Tutvuda ABB demoalajaamaga (ABB MicroSCADA, REF615, demoalajaama AJ2 juhtimispaneel)
3. Teostada laboritöö osa SCADA kasutamise ja pildi loomise kohta metoodilise juhendi peatüki 3.1 alusel
 - a. Avada SCADA rakendus (juhendi punkt 3.1.4 sammud 1-4)
 - b. Tutvuda ABB MicroSCADA kasutajaliidese, menüüdega, alarmide ja sündmuste logidega (juhendi punkt 3.1.4 sammud 5-8)

- c. Tutvuda SCADA andmebaasi ja rakenduse objektidega (juhendi punkt 3.1.4 sammud 9-14)
 - d. Koostada SCADA andmebaasis filter ja teha kõvatõmmis AJ2 pingemõõtmiste protsessiobjektide kohta (juhendi punkt 3.1.4 samm 12)
 - e. Luua SCADA rakenduses *Display Builder* funktsiooni kasutades SCADA pilt AJ2 kohta (juhendi punkt 3.1.4 sammud 15-19, joonis 3.18). Lisada pildile:
 - i. Kaug/kohalik võti
 - ii. Lahklülitid Q1, Q2, võimsuslüliti Q0, maanduslüliti Q9
 - iii. Faasivoolud I_1, I_2, I_3 ja neutraalivool I_0
 - iv. Võimsused P, Q, S ja võimsustegur PF
 - v. Liinipinged U_{12}, U_{23}, U_{13} , sagedus f , faasipinged U_1, U_2, U_3 ja neutraalipinge U_0
 - vi. Lühisvoolud I_1, I_2, I_3 ja lühiskoha kaugus
 - f. Kontrollida loodud SCADA pildi vastavust juhendi 3.18 joonisega
 - g. Kontrollida SCADA pildile viidud objekte (juhendi punkt 3.1.5 sammud 1-3)
4. Teostada laboritöö osa demoalajaama AJ2 stendi ja fiidriterminali REF615 kohta metoodilise juhendi peatüki 3.2 alusel
- a. Tutvuda REF615 terminali kasutajaliidesega – terminali nuppudega, menüüdega, LED-indikaatoritega (juhendi punkt 3.2.4)
 - b. Teha selgeks AJ2 juhtimispaneeli kasutamine (juhendi punkt 3.2.5 ja joonis 3.24)
 - c. Kustutada REF615 terminalis tekkinud alarmid ja nullida keerdnuppudega voolude ning pingete väärtused. Viia kõik lülitid juhtimispaneelil avatud asendisse (juhendi punkt 3.2.6 ja joonis 3.24)
 - d. Parameetrite laadimine REF615 terminali
 - i. Ühendada võrgukaabliga REF615 terminal ja SCADA arvuti või isiklik sülearvuti (juhendi punkt 3.2.7 ja joonis 3.21)
 - ii. Avada SCADA arvutis/sülearvutis Internet Explorer ja logida sisse ABB veebiliidesesse (juhendi punkt 3.2.7)
 - iii. Tutvuda ABB veebiliidesega (juhendi punktid 3.2.4 ja 3.2.7)
 - iv. Laadida veebiliidese kaudu REF615 terminali parameetrite fail REF615_K02_Laboritöö.xrio (juhendi punkt 3.2.7)
 - v. Kontrollida REF615 menüüst sagedust (juhendi punkt 3.2.8)
 - vi. Kustutada fiidriterminalis tekkinud alarmid (juhendi punkt 3.2.6)
 - vii. Testida kaitserakendumist liigpinge korral (juhendi punkt 3.2.8 sammud 3-5)

- viii. Testida kaitserakendumist liigvoolu korral (juhendi punkt 3.2.8 samm 6)
 - ix. Nullida juhtimispaneelil voolude ja pingete väärtused ning kustutada REF615 terminalis tekkinud alarmid (juhendi punkt 3.2.6)
5. Teostada laboritöö osa SCADA ja REF615 (AJ2) koostoimise kohta metoodilise juhendi peatüki 3.3 alusel
- a. Luua side SCADA ja alajaama vahel, ühendades sidekaabliga WCAT010 01.R ja 02.R demoalajaama kappides asuvad kommutaatorid AFS650 ja AFS660 (juhendi punkt 3.3.1 ja joonis 3.30)
 - b. Veenduda, et side SCADA ja alajaama vahel on loodud (juhendi punkt 3.3.2)
 - c. Kontrollida kaug/kohalik võtme toimimist SCADA-s (juhendi punkt 3.3.2 samm 1)
 - d. Testida lülite Q0, Q1, Q2 ja Q9 asendite näite ja juhtimist SCADA-s ja juhtimispaneelil (juhendi punkt 3.3.2 samm 2)
 - e. Testida mõõtetulemuste tekkimist SCADA-s, muutes voolude ja pingete väärtusi juhtimispaneeli keerdnuppudega. Võrrelda väärtusi SCADA-s ja REF615 menüüs (juhendi punkt 3.3.2 samm 3)
 - f. Testida releekaitse rakendumist liigpinge (U) korral ja rakendumisjärgse info jõudmist SCADA-sse (juhendi punkt 3.3.2 samm 4 ja releekaitse rakendumine liigpinge korral)
 - g. Testida releekaitse rakendumist liigvoolu (I) korral ja rakendumisjärgse info jõudmist SCADA-sse (juhendi punkt 3.3.2 samm 4 ja releekaitse rakendumine liigvoolu korral)
 - h. Teha kuvatõmmised alarmide ja sündmuste logist pärast releekaitse rakendumist liigpinge ja liigvoolu korral. Registreeritud alarmide hulgas peab olema liigpinge ja liigvoolu rakendumise alarmid. Sündmuste logis peab olema näha võimsuslüliti Q0 asendi muutused (juhendi punkt 3.1.4 sammud 6-7)
6. Demonstreerida laboritöö juhendajale tehtud tööd
- a. Kirjeldada ja demonstreerida laboritöö käigus loodud SCADA pilti AJ2-st
 - b. Kirjeldada, kuidas SCADA pilti luua (*Display Builder*)
 - c. Kirjeldada REF615 fiidriterminali ja AJ2 juhtimispaneeli
 - d. Kirjeldada REF615 terminali ühendamist arvutiga ja parameetrite faili üleslaadimise protsessi
 - e. Kirjeldada SCADA ja alajaamavahelise ühenduse loomist laboritöö käigus
 - f. Demonstreerida kaug/kohalik võtme toimimist
 - i. Muutes terminalil L/R väärtust, muutub see ka SCADAs
 - ii. Asendis L (kohalik) ei ole võimalik SCADA kaudu võimsuslüliti Q0 juhtida

- g. Demonstreerida mõõteväärtuste U_{12} , U_{23} , U_{13} , I_1 , I_2 , I_3 kandumist SCADA-sse, kui muuta juhtimispaneelil keerdnuppudega I ja U väärtusi
 - h. Demonstreerida releekaitse rakendumist liigpinge U korral (juhendi punkt 3.3.2 releekaitse rakendumine liigpinge korral)
 - i. Demonstreerida releekaitse rakendumist liigvoolu korral (juhendi punkt 3.3.2 releekaitse rakendumine liigvoolu korral)
 - j. Demonstreerida sündmuste ja alarmide logisid SCADA-s pärast releekaitse rakendumisi liigvoolu ja liigpinge korral
7. Teostada laboritöö osa Süsteemi algoleku taastamine metoodilise juhendi peatüki 3.4 alusel
- a. Lõpetada testimisprotsess juhendi punkti 3.3.3 järgi
 - b. Kustutada SCADA pildilt laboritöö käigus loodud objektid ja salvestada muudatused (juhendi punkt 3.4.1 ja 3.1.4 sammud 15-19)
 - c. Sulgeda SCADA rakendus
 - d. Laadida veebiliidese kaudu REF615 terminali algoleku parameetrite fail REF615_K02_Algolek.xrio (juhendi punktid 3.4.2 ja 3.2.7)
 - e. Asetada töövahendid omale kohale (juhendi punkt 3.4.3)
8. Koostada aruanne, mis sisaldab:
- a. Tiitellehte
 - b. Lähteülesannet
 - c. Töö käigus tehtud AJ2 SCADA pilti koos kirjeldusega
 - d. Väljavõtet (kuvatõmmist) SCADA andmebaasist AJ2 pingemõõtmiste protsessiobjektide kohta
 - e. SCADA ja REF615 seadistus- ja testimisprotsessi lühikirjeldust koos kuvatõmmistega
 - f. Alarmide ja sündmuste logi kuvatõmmist SCADA-st AJ2 testimisel ja selle kirjeldust
 - g. Järeldust

KOKKUVÕTE

Lõputöö eesmärk oli anda ülevaade ABB demoalajaamast ja selle seadmetest. Valmistada demoalajaama baasil ette laboratoorse töö ülesanne ja metoodiline juhend õppeainetes Energiasüsteemide digitaliseerimine (EES5180) ja Energiahaldus elektri tarkvõrkudes (EEV5020) kasutamiseks. Elektri tarkvõrkude pidev areng ning erinevate digitaalsete seadmete ja süsteemide lisandumine võrku nõuab järjest rohkem spetsialiste, kes saavad aru tarkvõrgu ning selle seadmete olemusest, oskavad neid seadistada ja teavad, kuidas toimub andmehõive ja-edastus. Magistritöö käigus loodud laboritöö annab tudengitele võimaluse tutvuda tänapäevase alajaama sekundaarseadmetega, fiidriterminali seadistamisega, andmeedastuse põhimõtetega ning dispetšisüsteemiga ABB MicroSCADA. Demoalajaama seadmed, nende seadistamise tarkvarad ja andmeseire- ja juhtimissüsteem ABB MicroSCADA on hetkel kasutusel ka jaotusvõrgu ettevõttes Elektrilevi OÜ.

Magistritöö põhiosa on jaotatud nelja peatüki vahel, millest esimene räägib elektri tarkvõrkudest ja alajaamade digitaliseerimisest. Lisaks on kirjeldatud õppeainete Energiasüsteemide digitaliseerimine (EES5180) ja Energiahaldus elektri tarkvõrkudes (EEV5020) õpiväljundid ja eesmärgid ning nende seos magistritöö raames koostatud laboratoorse tööga. Teine peatükk keskendub demoalajaama seadmetele ning laboritööga seotud tarkvaradele. Peale selle on peatükis kirjeldatud SCADA süsteemi.

Kolmas ja kõige mahukam peatükk on laboratoorse töö metoodiline juhend. Juhend on jaotatud neljaks osaks, millest esimene juhendab kasutama ja seadistama ABB MicroSCADA-t. Töö käigus peab tudeng tekitama SCADA pildile vajalikud lülitid ja mõõtmised ning seejärel kontrollima SCADA pildi vastavust tegelikkusele. Teine osa juhendab kasutama ja seadistama ABB REF615 fiidriterminali ning sellega seotud juhtimispaneeli. Juhtimispaneelil on imiteeritud alajaama lülitid ning on võimalik muuta erinevate voolude ja pingete väärtusi. Metoodilise juhendi kolmas osa kirjeldab alajaama seadmete ja SCADA vahelise ühenduse loomist ning seejärel testimist. Viimases punktis on toodud sammud demoalajaama algoleku taastamiseks.

Lõputöö neljandas peatükis on kirjeldatud laboratoorse töö ja metoodilise juhendi koostamiseks tehtud muudatused demoalajaama seadistuses ning vajalike tabelite ja dokumentide ette valmistamine. Laboritöö tegemiseks vajalikud juhendid ja muud materjalid pandud demoalajaama arvutisse ja mälupulgale.

Magistritöö tulemusena on loodud laboratoorne töö ning metoodiline juhend selle täitmiseks. Selle teostamine tudengitele annab ülevaate ABB SCADA süsteemist ning loob ettekujutluse tänapäevaste alajaamade sekundaarseadmetest ning sidevõimalustest. Kuna parim õppimisviis on praktika, siis laboritöö teostamine loob tudengitele head eeldused realselt elektrivõrgus kasutatavate seadmete ja süsteemide tundma õppimiseks. Siiski on laboratoorse töö maht piiratud ning kõiki demoalajaama seadmeid pole sellesse kaasatud. Seega on võimalik ABB demoalajaama seadmete ja erinevate tarkvarade baasil luua mitmeid teisigi ülesandeid õppetöö eesmärgil.

SUMMARY

The purpose of the thesis was to give an overview of ABB demo-substation its equipment and to prepare a laboratory work and methodological guide for the courses Power Systems Digitalisation (EES5180) and Energy Management in Smart Grids (EEV5020). Constant development of smart grids and digitalisation of substations requires more and more specialists who understand the essence of smart grids and used equipment and know how to configure them. Furthermore, they need to know how data acquisition and transfer work. Developed laboratory work for the thesis introduces students modern substation automation devices, how to configure feeder terminal, data communication principles and SCADA. Devices, configuration tools and ABB MicroSCADA are also used by Estonian largest distribution system operator Elektrilevi OÜ.

The main part of the thesis is divided into four chapters. The first chapter is about smart grids and digitalisation of substations. In addition it describes the aims and outcomes of the courses Power Systems Digitalisation (EES5180) and Energy Management in Smart Grids (EEV5020). It also describes the connection between these courses and developed laboratory work. The second chapter focuses on demo-substation devices and different softwares, including ABB MicroSCADA.

Third chapter is the methodological guide for the laboratory work. The guide is divided into four parts and first of them guides to configure and operate with ABB MicroSCADA. In laboratory work, students must create required objects on the SCADA picture and get familiar with the database. Afterwards students need to control the SCADA picture to be sure that it is correct. The second part of the methodological guide describes how to use and configure ABB REF615 feeder terminal and control panel connected to it. It is possible to imitate switchings and change current and voltage values on the control panel. The third point of the guide is for connecting SCADA with the substation devices and to test the system. Last part guides to restore the initial state of the demo-substation.

The fourth chapter of the thesis focuses on the way how methodological guide was developed. Which changes had to be done in SCADA and in substation level. It also gives information about the tables and files which needed to be created for the laboratory work. The files that are needed for the laboratory work are stored in the SCADA computer and on a flash drive.

The outcome of the thesis is the laboratory work and developed methodological guide to execute it. Accomplishing the laboratory work gives students knowledge of ABB MicroSCADA system, different substation automation devices and communication solutions. As it is said that the best way for learning is practice, laboratory work gives students good opportunities to get to know and to use the devices that are currently used in electricity networks. The developed laboratory work

and methodological guide do not cover all the devices and possibilities in demo-substation which gives the opportunity to develop even more laboratory works for the students for study purposes in the future.

KASUTATUD KIRJANDUS

[1] Elektrilevi OÜ, sisedokumentid.

[2] Beckhoff Automation GmbH & Co. KG, „Standard IEC 60870-5-104 data types“. [Võrgumaterjal].

Saadaval:

https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tcplclibiec870_5_104/html/tcplclibiec870_5_104_objref_overview.htm&id. [Kasutatud 29.03.2019].

[3] T. Lehtla, „Tulevik – otsapidi tarkvõrkude küljes“ – Horisont 2012. [Võrgumaterjal]. Saadaval:

https://energiatalgud.ee/img_auth.php/b/b6/Lehtla%2C_T._Energeetika._2012.pdf. [Kasutatud 04.05.2019].

[4] ABB Ltd., „Pipeline Management Systems with MicroSCADA“. [Võrgumaterjal]. Saadaval:

https://library.e.abb.com/public/843c8b0dfdc3471f852572f0004fb42d/MSC_SYS_DES_ENG_2002_PRINT.pdf. [Kasutatud 04.04.2019].

[5] ABB Ltd., „615 series ANSI Operation Manual“. [Võrgumaterjal]. Saadaval:

https://library.e.abb.com/public/ccbc8def710e5aa9c12578950041606d/RE_615ANSI_oper_0505_92_ENb.pdf. [Kasutatud 21.04.2019].

[6] AS Built, AS ABB, A. Sleimovits, „Tallinna Tehnikaülikool, TTÜ LABOR, SO217769“, Tallinn: 2015.

[7] ABB Ltd., „Wireless controller REC603“. [Võrgumaterjal]. Saadaval:

<https://new.abb.com/medium-voltage/distribution-automation/protection-relay-services/legacy-relays-and-related-devices-and-tools/wireless-controller-rec603>. [Kasutatud 21.04.2019].

[8] ABB Ltd., „RTU540 Data sheet, Communication Unit 560CDM11“, Doc.-No.: 1KGT 150 764 V007 1. 2013

[9] Last Mile Communication AS, „Viola M2M Gateway User Manual“. [Võrgumaterjal]. Saadaval:

<https://www.lmc.no/media/multicase/documents/viola%20m2m%20gateway%20-%20manual.pdf>. [Kasutatud 20.04.2019]

[10] ABB Ltd., „New ABB Ethernet Solutions“. [Võrgumaterjal]. Saadaval:

[http://www02.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/668434ed5dbdd6dfc1257a29002e166d/\\$file/05+-+New+ABB+Ethernet+Solutions+Helmut+Weber..pdf](http://www02.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/668434ed5dbdd6dfc1257a29002e166d/$file/05+-+New+ABB+Ethernet+Solutions+Helmut+Weber..pdf). [Kasutatud 21.04.2019].

[11] ABB Ltd., „Arctic family of wireless communication products“. [Võrgumaterjal]. Saadaval:

<https://new.abb.com/medium-voltage/distribution-automation/communication-devices/arctic-wireless-gateway>. [Kasutatud 21.04.2019].

- [12] ABB Ltd., „Wireless Gateway RER601/RER603 Product Guide“. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://library.e.abb.com/public/d4bf05d36b55196dc1257d72003b6388/RER601_603_pg_757424_ENc.pdf. [Kasutatud 21.04.2019].
- [13] ABB Ltd., „Remote I/O unit RIO600“. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://new.abb.com/medium-voltage/distribution-automation/numerical-relays/remote-io/remote-io-unit-rio600>. [Kasutatud 21.04.2019].
- [14] Meinberg Funkuhren GmbH & Co. KG, „LANTIME M100: NTP Time Server with internal Reference Clock for DIN Rail Installations“. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.meinbergglobal.com/english/products/rail-mount-ntp-server.htm>. [Kasutatud 21.04.2019].
- [15] PHOENIX CONTACT GmbH & Co. KG, „Power supply unit“. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.phoenixcontact.com/online/portal/us?uri=pxc-oc-itemdetail:pid=2866747&library=usen&tab=1>. [Kasutatud 23.04.2019].
- [16] M. Kukk, Jaotusvõrgu senine ja uus dispetšisüsteem, magistritöö, Tallinn: 2016.
- [17] M. Meldorf, T. Tikk ja J. Kilter, Elektrivõrgu operatiivjuhtimissüsteem, Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2010.
- [18] ABB Ltd., „Grid automation relays REC615 and REF615“. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1MRS757953&LanguageCode=en&DocumentP artId=&Action=Launch>. [Kasutatud 28.04.2019].
- [19] ABB Ltd., „PCM600 - Protection and control IED manager“. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://new.abb.com/substation-automation/products/tools/pcm600>. [Kasutatud 28.04.2019].
- [20] ABB Ltd., „RTU500 series“. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://library.e.abb.com/public/612cc3c640b04ea29abfecbba50a6eba/4CAE000545_RTU500%20Rel.%2012.2%20Engineer_webinar.pptx. [Kasutatud 21.04.2019].
- [21] TalTech, „EEV5020 - Energiahaldus elektri tarkvõrkudes“. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://ois.ttu.ee/portal/page?_pageid=37,674581&_dad=portal&_schema=PORTAL&p_action=view&p_id=117325&p_session_id=73005228&p_public=1&p_mode=1&keel=ET. [Kasutatud 04.05.2019].
- [22] TalTech, „EES5180 - Energiasüsteemide digitaliseerimine“. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://ois.ttu.ee/portal/page?_pageid=37,674581&_dad=portal&_schema=PORTAL&p_action=view

[ew&p_id=117447&p_session_id=73005226&p_public=1&p_mode=1&keel=ET](#). [Kasutatud 04.05.2019].

[23] M. Melder, Protsessiini digitaliseerimise ja minimeerimise võimalused Eesti kõrgepingealajaamde andmehõivesüsteemides, magistritöö, Tallinn: 2015.

[24] Tallinna Tööstushardiuskeskus, „Tööstuslikud sidevõrgud“. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.tthk.ee/MEH/Vork_3.html. [Kasutatud 05.05.2019].

[25] H. Tammoja, „Automaatika ja Releekaitse“, loengukonspekt. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://petz.planet.ee/elekter/RELloeng06.pdf>. [Kasutatud 20.05.2019].

[26] P. Matoušek, „Description and analysis of IEC 104 Protocol“. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.fit.vutbr.cz/research/pubs/tr.php?file=%2Fpub%2F11570%2FTR-IEC104.pdf&id=11570>. [Kasutatud 20.05.2019].

[27] SaManufacturing., „Advanced Distribution Management System“ is the Schneider Electric response to these growing trends“. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.samanufacturing.co.za/advanced-distribution-management-system-is-the-schneider-electric-response-to-these-growing-trends/>. [Kasutatud 20.05.2019].

[28] D. Colangelo, „Secure IEC 60870-5 communication“, Smart Grid Technical Forum Europe 2019, Amsterdam. [Kasutatud 20.05.2019].

[29] Siemens AG, „SICAM – Substation Automation and RTUs“. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.digitalgrid.siemens.pl/docs/SICAM_Katalog_EN_Ed2.pdf. [Kasutatud 20.05.2019]

LISAD

Lisa 1 Täismahus signaalitabel AJ2 kohta

	Seade	Nimetus inglise keeles	Nimetus eesti keeles	Käsk 1/Väärtus 1	Käsk 2/Väärtus 2	Signaali tüüp IEC104	IEC address	Alarm
Juhtimised	Q0	<i>Breaker command</i>	Võimsuslüliti käsk	Välja	Sisse	C_DC_NA_1	291	
	Q1	<i>Disconn. command</i>	Lahklüliti käsk	Välja	Sisse	C_DC_NA_1	271	
	Q2	<i>Disconn. command</i>	Lahklüliti käsk	Välja	Sisse	C_DC_NA_1	272	
Asendi signaalid	Bay	<i>Bay local/remote-switch</i>	Kaug/kohalik võti	Kohalik	Kaug	M_ME_NA_1	2590	
	Q0	<i>Breaker position indication</i>	Võimsuslüliti asendi näit	Väljas	Sees	M_DP_TB_1	201	1
	Q1	<i>Disconn. position indication</i>	Lahklüliti asendi näit	Väljas	Sees	M_DP_TB_1	211	1
	Q2	<i>Disconn. position indication</i>	Lahklüliti asendi näit	Väljas	Sees	M_DP_TB_1	212	1
	Q9	<i>Earth sw. position indication</i>	Maanduslüliti asendi näit	Väljas	Sees	M_DP_TB_1	221	1
Mõõtmised		<i>Current L1</i>	Vool L1			M_ME_NC_1	2671	1
		<i>Current L2</i>	Vool L2			M_ME_NC_1	2661	1
		<i>Current L3</i>	Vool L3			M_ME_NC_1	2651	1
		<i>Neutral current I0</i>	Vool I0			M_ME_NC_1	2541	1
		<i>Frequency f</i>	Sagedus f			M_ME_NC_1	2641	1
		<i>Dault current L1</i>	Lühisvool L1			M_MI_E_NC_1	2601	1
		<i>Dault current L2</i>	Lühisvool L2			M_ME_NC_1	2591	1
		<i>Dault current L3</i>	Lühisvool L3			M_ME_NC_1	2581	1
		<i>Fault distance</i>	Lühiskoha kaugus			M_ME_NC_1	2521	1
		<i>Active power P</i>	Aktiivvõimsus P			M_ME_NC_1	2691	1
		<i>Reactive power Q</i>	Reaktiivvõimsus Q			M_ME_NC_1	2531	1
		<i>Apparent power S</i>	Näivvõimsus S			M_ME_NC_1	2561	1
		<i>Power factor Cosj</i>	Võimsustegur			M_ME_NC_1	2511	1
		<i>Voltage U12</i>	Pinge U12			M_ME_NC_1	2731	1
		<i>Voltage U23</i>	Pinge U23			M_ME_NC_1	2721	1
		<i>Voltage U31</i>	Pinge U31			M_ME_NC_1	2711	1
		<i>Voltage U1</i>	Pinge U1			M_ME_NC_1	2631	1
		<i>Voltage U2</i>	Pinge U2			M_ME_NC_1	2621	1
		<i>Voltage U3</i>	Pinge U3			M_ME_NC_1	2611	1
		<i>Voltage U0</i>	Pinge U0			M_ME_NC_1	2551	1
Alarmid		<i>Overcurrent High (PHHPTOC1)</i>	I ülekoormuskaitse	Tagastus	Tekkis	M_SP_TB_1	2071	1
		<i>AR unsuccessful (DARREC)</i>	TLA ebaedukas	Tagastus	Tekkis	M_SP_TB_1	2011	1
		<i>Overvoltage protection (PHPTOV1)</i>	Ülepinge kaitse	Tagastus	Tekkis	M_SP_TB_1	2021	1
		<i>General trip 1 (TRPPTRC1)</i>	Kaitse töötas 1	Tagastus	Tekkis	M_SP_TB_1	2031	1

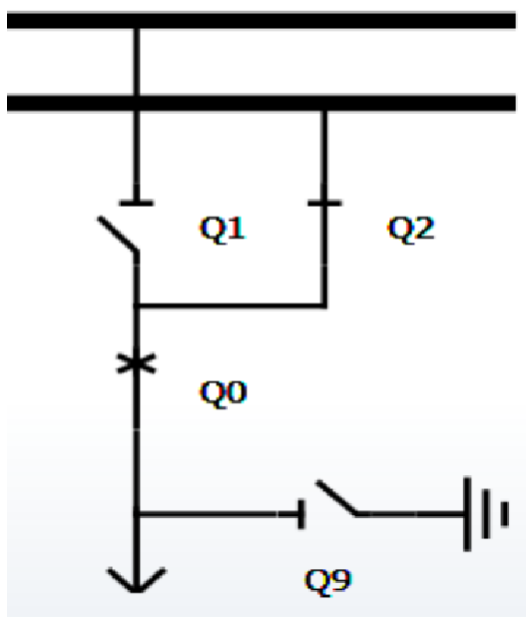
Lisa 1 Täismahus signaalitabel AJ2 kohta järg

	<i>General trip 2 (TRPTRC2)</i>	Kaitse töötas 2	Tagastus	Tekkis	M SP TB 1	2042	1
	<i>Trip circuit 1 supervision (TCSSBR1)</i>	Kaitse töötas ahel 1	Tagastus	Tekkis	M SP TB 1	2052	1
	<i>Trip circuit 2 supervision (TCSSBR2)</i>	Kaitse töötas ahel 2	Tagastus	Tekkis	M SP TB 1	2061	1
	<i>Overcurrent Low (PHLPTOC1)</i>	I ülekoormuskaitse	Tagastus	Tekkis	M SP TB 1	2081	1
	<i>Overcurrent Instantaneous (PHIPTOC1)</i>	I viiteta voolulõige	Tagastus	Tekkis	M SP TB 1	2091	1
	<i>Phase discontinuity protection (PDNSPTOC1)</i>	Faasijärjestuskaitse	Tagastus	Tekkis	M SP TB 1	2101	1
	<i>Undervoltage (PHPTUV1)</i>	Alapinge	Tagastus	Tekkis	M SP TB 1	2111	1
	<i>Thermal overload (T1PTTR1)</i>	Ülekoormus	Tagastus	Tekkis	M SP TB 1	2131	1
	<i>Earth fault low set 2 (EFLPTOC2)</i>	lo maaühenduskaitsaste 2	Tagastus	Tekkis	M SP TB 1	2142	1
	<i>Frequency Stage 3 (FRPFRC3)</i>	Sagedus aste 3	Tagastus	Tekkis	M SP TB 1	2153	1
	<i>Frequency Stage 2 (FRPFRC2)</i>	Sagedus aste 2	Tagastus	Tekkis	M SP TB 1	2162	1
	<i>Frequency Stage 1 (FRPFRC1)</i>	Sagedus aste 1	Tagastus	Tekkis	M SP TB 1	2171	1
	<i>Arc protection sensor 3 (ARCPTRC31)</i>	Kaarekaitse sensor 3	Tagastus	Tekkis	M SP TB 1	2041	1
	<i>Earth fault instantaneous (EFIPTOC1)</i>	lo viiteta maa signaal	Tagastus	Tekkis	M SP TB 1	2181	1
	<i>Earth fault low set 1 (EFLPTOC1)</i>	lo maaühenduskaitsaste 1	Tagastus	Tekkis	M SP TB 1	2191	1
	<i>Earth fault high set (EFHPTOC1)</i>	lo maa signaal	Tagastus	Tekkis	M SP TB 1	2201	1
	<i>Overfrequency Stage 1 (FRPTOF1)</i>	Ülesageduskaitse aste 1	Tagastus	Tekkis	M SP TB 1	2231	1
	<i>Overfrequency Stage 2 (FRPTOF2)</i>	Ülesageduskaitse aste 2	Tagastus	Tekkis	M SP TB 1	2222	1
	<i>Overfrequency Stage 3 (FRPTOF3)</i>	Ülesageduskaitse aste 3	Tagastus	Tekkis	M SP TB 1	2213	1
	<i>Arc protection sensor 1 (ARCPTRC11)</i>	Kaarekaitse sensor 1	Tagastus	Tekkis	M SP TB 1	2271	1
	<i>Overcurrent low set 2 (PHLPTOC2)</i>	I ülekoormuskaitse aste 2	Tagastus	Tekkis	M SP TB 1	2272	1
	<i>Arc protection sensor 2 (ARCPTRC21)</i>	Kaarekaitse sensor 2	Tagastus	Tekkis	M SP TB 1	2301	1
	<i>Underfrequency Stage 3 (FRPTUF3)</i>	Alasageduskaitse aste 3	Tagastus	Tekkis	M SP TB 1	2293	1
	<i>Underfrequency Stage 2 (FRPTUF2)</i>	Alasageduskaitse aste 2	Tagastus	Tekkis	M SP TB 1	2302	1
	<i>Underfrequency Stage 1 (FRPTUF1)</i>	Alasageduskaitse aste 1	Tagastus	Tekkis	M SP TB 1	2311	1
	<i>Negative sequence overcurrent 2 (NSPTOC2)</i>	Negatiivne voolukaitsaste 2	Tagastus	Tekkis	M SP TB 1	2322	1
	<i>Negative sequence overcurrent 1 (NSPTOC1)</i>	Negatiivne voolukaitsaste 1	Tagastus	Tekkis	M SP TB 1	2331	1
	<i>Autoreclose enabled (DARREC)</i>	TLA töös	Tagastus	Tekkis	M SP TB 1	2341	0
	<i>AR operated (DARREC)</i>	TLA töötab	Tagastus	Tekkis	M SP TB 1	2241	0

**LABORITÖÖ: ABB demoalajaama SCADA ja REF615 seadistamine
ja koostoimimise testimine**

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

Laboratoorne töö			
ABB demoalajaama SCADA ja REF615 seadistamine ja koostöömimise testimine			
Üliõpilased:		Õppejõud:	
		Teostatud:	
		Esitatud:	



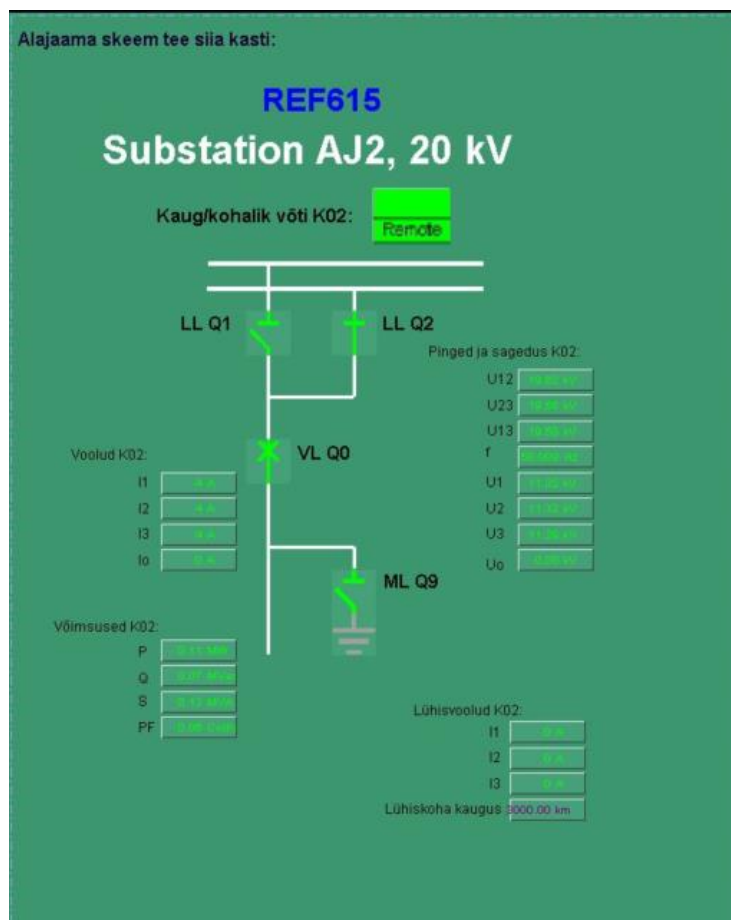
Joonis L.2.1 Demoalajaama AJ2 skeem

Tallinn 2019

L.2.1 Lähteülesanne

Laboritöö ülesandeks on tutvuda ABB demoalajaamaga. Seadistada ABB MicroSCADA-s AJ2, REF615 terminal, kasutades selleks fiidriterminali kasutaja- ja veebiliidest, ning seejärel testida SCADA ja REF615 terminali koostoimimist. Esitada demoalajaama töötamine laboritöö juhendajale ja koostada tehtud töö kohta aruanne.

L.2.2 SCADA pilt



Joonis L.2.2 AJ2 SCADA pilt koos lisatud objektidega

Joonisel L.2.2 on SCADA pilt AJ2-st (REF615 fiidriterminal), kus on pildile lisatud kaug/kohalik võti, lahkülitid Q1 ja Q2, võimsuslüliti Q0, maanduslüliti Q9 ja 20 erinevat mõõtmisobjekti: faasivoolud I₁, I₂, I₃ ja neutraalivool I₀; võimsused P, Q, S ja võimsustegur PF; liinipinged U₁₂, U₂₃, U₁₃, sagedus f, faasipinged U₁, U₂, U₃ ja neutraalipinget U₀; lühisvoolud I₁, I₂, I₃ ja lühiskoha kaugus.

L.2.3 AJ2 pingemõõtmiste protsessiobjektid

Page: 1 Number of Pages: 1

Filter: LN="K02*" and OX="*Voltage*"

LN	IX	[UN]	[OA]/IN	[OB]/EH	OI	OX	
K02_MEA_ULL	16	1	2731	AJ2	K02	MEA	Voltage U12
K02_MEA_ULL	17	1	2721	AJ2	K02	MEA	Voltage U23
K02_MEA_ULL	18	1	2711	AJ2	K02	MEA	Voltage U31
K02_MEA_UN	50	1	2631	AJ2	K02	MEA	Voltage U1
K02_MEA_UN	51	1	2621	AJ2	K02	MEA	Voltage U2
K02_MEA_UN	52	1	2611	AJ2	K02	MEA	Voltage U3
K02_MEA_UN	53	1	2551	AJ2	K02	MEA	Voltage U0

Joonis L.2.3 AJ2 andmebaasi protsessiobjektid pingemõõtmiste kohta

Joonisel L.2.3 on toodud AJ2 pingemõõtmiste protsessiobjektid SCADA andmebaasist. Pingemõõtmised, mis on andmebaasis kirjeldatud ning mida on võimalik SCADA-st jälgida, on U₁₂, U₂₃, U₃₁, U₁, U₂, U₃, U₀. Andmebaasis kasutasin sobilike protsessiobjektide kuvamiseks filtrit: LN="K02*" AND OX="*Voltage*".

L.2.4 SCADA ja REF615 seadistus- ja testimisprotsessi lühikirjeldus

Laboritöö käigus tutvusin SCADA kasutajaliidese ja andmebaasiga. SCADA pildi loomiseks kasutasin tööriista *Display Builder*, mis võimaldas tekitada andmebaasi andmete põhjal mõõtmiste ja lülitite objektid pildile. Pärast objektide pildile loomist, kontrollisin, kas kõik juhtimisaknad avanevad ning objektide nimed on vastavuses andmebaasis olevatega.

REF615 seadistamisel tutvusin esmalt fiidriterminali nuppude ja kasutajaliideselega. Tutvusin terminali menüüga ning alarmide ja sündmuste kustutamiselega. Seejärel laadisin terminali peale parameetrite faili REF615_K02_Laboritöö.xrio ning tutvusin ABB veebiliideselega. Lisaks proovisin teha erinevaid lülitusi, kasutades selleks demoalajaama AJ2 paneeli, kus oli võimalik peale lülituste ka muuta pingete ja voolude väärtusi. Selliselt sain testida ka releekaitse rakendumist liigpinge ja – voolu korral.

SCADA ja alajaama koostamise testimiseks pidin esmalt ühendama sidekaabliga R.01 ja R.02 kappides olevad kommutaatorid, et luua side alajaama ja SCADA vahel. Pärast ühenduse loomist muutus SCADA pilt roheliseks, mis näitas, et alajaama ja SCADA vahel tekkis ühendus. Seejärel oli võimalik SCADA kaudu teha alajaamas lülitusi ning näha mõõtetulemusi, kui alajaamas keerdnuppudega pingeid ja voolusid muuta. Testimaks liigpinge puhul releekaitse rakendumist, suurendasin keerdnupuga U väärtust üle 30 kV, mille tulemusena rakendus releekaitse, mis lülitas alajaamas välja võimsuslülitit Q0 – see info oli nähtav ka SCADA rakenduses. Pärast alarmide

kustutamist ja võimsuslüliti sisselülitamist teostasin uue katse, määrates U väärtuseks 20 kV (nimipinge) ning suurendasin voolu I väärtust seni (~100 amprini), kuni toimus kaitserakendumine. Q0 lülitus välja ja sama info oli nähtav ka SCADA-s. Tekkinud alarmid ja sündmused olid nähtavad nii SCADA pildil kui SCADA alarmide ja sündmuste logides.

Lisaks kaitserakendumistele kontrollisin ka erinevate mõõtetulemuste kandumist SCADA-sse. Samuti muutus kaug/kohalik võtme asend, kui muuta *Local/Remote* asendit REF615 menüüst.

L.2.5 Alarmide ja sündmuste logi

#			Time (ET+EM)	Station	Bay	Device	Object Text	Event Text
1	*	T	2019-04-24 16:32:16.060	AJ2	K02	AL	Overvoltage protection (PHPT...	Operating
2		T	2019-04-24 16:32:16.070	AJ2	K02	Q0	Breaker position indication	Open
3	*	T	2019-04-24 16:32:16.060	AJ2	K02	AL	General trip 2 (TRPPTRC2)	Operating
4	*	T	2019-04-24 16:32:16.060	AJ2	K02	AL	General trip 1 (TRPPTRC1)	Operating
5		T	2019-04-24 16:31:46.689	AJ2	K02	Q0	Breaker position indication	Closed
6			2019-04-24 16:31:51.541	AJ2	K02	Q0	Breaker command	Close executed
7			2019-04-24 16:31:50.667	AJ2	K02	Q0	Breaker command	Selected
8		T	2019-04-24 16:31:41.119	AJ2	K02	Q0	Breaker position indication	Open
9			2019-04-24 16:31:45.972	AJ2	K02	Q0	Breaker command	Open executed
10			2019-04-24 16:31:44.646	AJ2	K02	Q0	Breaker command	Selected
11		T	2019-04-24 16:31:27.726	AJ2	K02	Q0	Breaker position indication	Closed
12		T	2019-04-24 16:31:24.719	AJ2	K02	Q2	Disconn. position indication	Closed
13			2019-04-24 16:31:19.873	AJ2	K02	BAY	Bay local/remote-switch	Remote
14			2019-04-24 16:31:18.656	AJ2	K02	BAY	Bay local/remote-switch	Local
15			2019-04-24 16:31:15.770	AJ2	K02	BAY	Bay local/remote-switch	Off
16			2019-04-24 16:29:40.984	AJ2	K02	BAY	Bay local/remote-switch	Remote

#	Activation time (YT+YM)	Station	Bay	Device	Object Text	Status
1	2019-04-24 16:32:16.060	AJ2	K02	AL	General trip 2 (TRPPTRC2)	Alarm
2	2019-04-24 16:32:16.060	AJ2	K02	AL	General trip 1 (TRPPTRC1)	Alarm
3	2019-04-24 16:32:16.060	AJ2	K02	AL	Overvoltage protection (PHPTOV1)	Alarm

Joonis L.2.5 Sündmuste logi (üleväl) ja alarmide logi (all) tõmmised SCADA-st

Sündmuste logist (joonis L.2.5) on näha, et kaug/kohalik võtme muutmise alajaamast kandub üle SCADA-sse ja tekitab uue rea logidesse. Samuti jõuab info lahklüliti ja võimsuslüliti asendi muutusest SCADA-sse, kui seda muuta alajaamast ning kui lülitus teha SCADA kaudu (*Breaker command*), siis sellele järgneb asendi muutus alajaamas. *General trip 1*, *General trip 2* ja *Overvoltage protection* alarmid viitavad sellele, et ülepinge katsetusel tekkisid alarmid SCADA-sse ning võimsuslüliti Q0 lülitus välja.

Alarmide nimekirjast (joonis L.2.5) on näha, et ülepinge ja väljalülitamise kohta tekkisid SCADA logisse read, mis näitab, et side SCADA ja AJ2 vahel toimib.

L.2.6 Järeldus

Tehtud töö võib lugeda edukaks, kuna SCADA ja alajaama vahel sai ühendus loodud ning signaalid alajaama ja SCADA vahel toimisid. SCADA kaudu oli võimalik teha lülitusi ning need kajastusid ka REF615 terminali ekraanil ning demoalajaama juhtimispaneelil. Samuti kandusid nii lülitused kui ka pingete ja voolude väärtused SCADA-sse, kui neid demoalajaama juhtimispaneelil muuta . Lisaks rakendus liigpinge ja liigvoolu puhul releekaitse, mis lülitas võimsuslülitit Q0 välja.