



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
ELEKTROENERGEETIKA INSTITUUT

Jaotusvõrgu senine ja uus dispetšüsteem

Energiasüsteemide õppetool

Elektroenergeetika õppesuund

Magistritöö

Õppetooli juhataja

prof Jako Kilter

Juhendaja

prof Mati Meldorf

Lõpetaja

Matis Kukk

Tallinn 2016

Autorideklaratsioon

Deklareerin, et käesolev lõputöö, mis on minu iseseisva töö tulemus, on esitatud Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika instituudile haridusastme lõpudiplomi taotlemiseks elektroenergeetika erialal. Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Lõpetaja (allkiri ja kuupäev) _____

Lõputöö kokkuvõte

<i>Autor:</i> Matis Kukk	<i>Lõputöö liik:</i> Magistritöö
<i>Töö pealkiri:</i> Jaotusvõrgu senine ja uus dispetšsüsteem	
<i>Kuupäev:</i> 27.05.2016	63 lk
<i>Ülikool:</i> Tallinna Tehnikaülikool	
<i>Teaduskond:</i> Energeetikateaduskond	
<i>Instituut:</i> Elektroenergeetika instituut	
<i>Õppetool:</i> Energiasüsteemide õppetool	
<i>Töö juhendaja(d):</i> prof Mati Meldorf	
<i>Sisu kirjeldus:</i> Käesoleva töö eesmärgiks on uurida jaotusvõrgu senist ja uut dispetšsüsteemi. Lõputöö esimeses osas kirjeldatakse operatiivjuhtimise tugisüsteemi ning sellega seonduvast tarkvarast nimega DMS. Antakse ülevaade DMS'i olemusest ja põhifunktsioonidest mida programm võimaldab. Lisaks on välja toodud operatiivjuhtimise ajalugu Eestis ja Elektrilevi operatiivjuhtimise struktuur. Töö teises ja kolmandas osas antakse ülevaade SCADA süsteemide struktuurist ning nende vajalikkusest. Samuti on kaetud automaatikasüsteemide turvalisusest ning kirjeldatakse erinevate pahavarade rolli SCADA süsteemides. Lühidalt kirjeldatakse ka sideprotokolle ja SCADA süsteemide tulevikust. Töö viimases peatükis võrreldakse uurimiseks valitud erinevate firmade SCADA süsteeme üldiste omaduste ja põhifunktsioonide põhjal. Selgub, et igal firmal on olemas nii tugevad kui nõrgad küljed. Parima SCADA süsteemi leidmise võeti aluseks kasutajapoolne kogemus ning jaotusvõrgu hetkeseisund. Elektrilevi juhtimiskeskuse töö optimeerimise, turvalisuse tõstmise, eelneva kogemuste ja võrdluse põhjal võib järeldada, et parim uuritud dispetšsüsteem on Alstomi e-terradistribution IDMS.	
<i>Märksõnad:</i> SCADA, protokoll, kaugterminal, kohtterminal, RTU, IED, küberturvalisus, DMS, dispetšsüsteem, andmeside	

Summary of the Diploma Work

<i>Author:</i> Matis Kukk	<i>Kind of the work:</i> Master's Thesis
<i>Title:</i> Distribution network old and new dispatch system	
<i>Date:</i> 27.05.2016	63 pages
<i>University:</i> Tallinn University of Technology <i>Faculty:</i> Faculty of Power Engineering <i>Department:</i> Department of Electrical Power Engineering <i>Chair:</i> Chair of Power Systems	
<i>Tutor(s) of the work:</i> Professor Mati Meldorf	
<p><i>Abstract:</i> The aim of this thesis is to compare the distribution network old and new dispatch system.</p> <p>The first part of the thesis describes the basics of distribution management system and software named DMS. Review of DMS nature is given and its main functions that software is capable of. A brief history of Estonian network management is described and the structure of controlling Elektrilevi distribution network.</p> <p>The second and third chapter the need for SCADA systems is also covered as well as their structure. This thesis looks into possible cybersecurity issues and their effects in automation systems. Description of data communication protocols and SCADA systems future is also given.</p> <p>The last chapter is dedicated to compare chosen different companies SCADA systems by general features and main functions. It was found that all the companies systems have their advantages and disadvantages. Based Elektrilevi distribution control optimization work, security awareness, previous experience and comparison, it can be concluded that the best studied dispatch system is Alstom e-terradistribution IDMS.</p>	
<i>Key words:</i> SCADA, protocol, remote terminal, RTU, IED, cybersecurity, DMS, dispatch system, data communication.	

Sisukord

Lõputöö ülesanne.....	6
Teema põhjendus:	6
Töö eesmärk:.....	6
Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:.....	6
Lähteandmed:.....	7
Uurimismeetodid.....	7
Graafiline osa	7
Essõna	8
Lühendite ja sümbolite loetelu	9
Sissejuhatus.....	10
1. Operatiivjuhtimise ülevaade	12
1.1. DMS süsteemi lühikirjeldus.....	12
1.2. Tekla Xpower DMS	13
1.3. Elektrilevi OÜ operatiivjuhtimise tugisüsteem.....	16
1.4. Xpower DMS põhifunktsioonid.....	18
1.5. DMS väljakutsed ja nõuded	21
1.6. Operatiivjuhtimise ajalugu Eestis	23
1.7. Elektrilevi OÜ operatiivjuhtimise struktuur.....	23
2. SCADA eile, täna, homme	25
2.1. SCADA eile ja selle areng maailmas	25
2.2. Elektrivõrgu SCADA struktuur	25
2.3. SCADA põhifunktsioonid.....	27
2.4. Sideprotokollid.....	29
2.5. SCADA olevikus ja selle komponendid	32
2.6. SCADA jaotusvõrgus ja tulevikus tehisintellekt.....	34
3. Küberturvalisus automaatikasüsteemides	36
3.1. Pahavarade roll SCADA ajaloos.....	36
3.2. SCADA küberturvalisus maailmas	38
3.3. SCADA süsteemide tarkvara ja riistvaraga seotud turvaaugud	38
3.4. Küberturvalisuse kokkuvõte	40
4. SCADA turg.....	42
4.1. ABB microSCADA	42
4.2. Mikronika.....	45
4.3. Netcontrol	47
4.4. PSI.....	48
4.5. OSI.....	49
4.6. Alstom.....	51
4.7. Järeldused.....	58
Lõputöö kokkuvõte	60

Lõputöö ülesanne

Lõputöö teema:	<i>Jaotusvõrgu senine ja uus dispetšsüsteem</i>
Üliõpilane:	<i>Matis Kukk, 144376 AAVM</i>
Lõputöö juhendaja:	Mati Meldorf
Õppetool:	Energiasüsteemide õppetool
Õppetooli juhataja:	Jako Kilter
Lõputöö esitamise tähtaeg:	27.05.2016

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Õppetooli juhataja (allkiri)

Teema põhjendus:

Teema uurimine on vajalik jaotusvõrgus seni kasutusel olevate operatiivjuhtimise süsteemide täiustamiseks ning parimate lahenduste leidmine uute süsteemide rakendamiseks. Töö käigus kaardistatakse hetkel kasutusel oleva operatiivjuhtimise programmida võimalused, mis annab esmase ülevaate võrgu optimaalse juhtimise võimalikkusest, dispetšerite töö lihtsustamisest ning uuele dispetšsüsteemile tulevatest nõuetest ja selle vajadusest.

Töö eesmärk:

Töö eesmärgiks on uurida hetkel jaotusvõrgus kasutusel olevast dispetšsüsteemist, võrrelda turul pakutavate uute süsteemide omadusi ning võrdluse alusel anda neile hinnang ja ootused uue dispetšsüsteemi puhul.

Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

- 1) Ülevaade jaotusvõrgus dispetšerite kasutatavatest operatiivjuhtimise programmidest.
- 2) Milliseid funktsioone on tarvis uuel dispetšsüsteemil?
- 3) Turul pakutavate dispetšsüsteemide võrdlus.
- 4) Võimalikud arengusuunad tulevikus.

Lähteandmed:

Lähteandmed on saadud erinevate seadmete tootjate kasutusjuhenditest, avaldatud artiklitest, Elektrilevi OÜ ja Juhtimiskeskuse poolt välja töötatud sisedokumentitest ja põhimõtetest.

Uurimismeetodid

Töö tulemusteni jõutakse vaatlusel ja kirjanduse analüüsil. Antud väljundil on teoreetiline rakendus ning selleks kasutatakse kirjanduslikku võrdlevat analüüsi. Analüüsiks kasutatakse autori enda kogemust ja leiduvaid kirjanduslikke allikaid.

Graafiline osa

Tekstijoonised põhiosas

Eessõna

Lõputöö teema on „Jaotusvõrgu senine ja uus dispetšsüsteem“, mille eesmärk on ülevaade anda Elektrilevi OÜ-s seni kasutusel olevast dispetšsüsteemist ja uuest tulevasest süsteemist. Töö teema on välja pakkunud juhendaja prof Mati Meldorf. Käesoleva magistritöö kirjutamise alguse seisuga olen tööalaselt kaks aastat töötanud Elektrilevi Juhtimiskeskuses Tallinna linna dispetšeri ametikohal. Kuna dispetšsüsteem on põhiline töövahend dispetšeril, siis antud lõputöö teema oli parim valik kirjutamiseks ning oma hinnangu ja vaadete püstitamiseks.

Teema täpsel sõnastamisel ning materjali kättesaadavuses oli otsustavaks faktoriks tööandja, Elektrilevi OÜ. Uue dispetšsüsteemi hange on alles välja kuulutamisel ning see määras ka piirangud uue dispetšsüsteemi eelduste avalikustamise kohta. Antud töö annab ülevaate hetkel kasutusel olevast dispetšsüsteemist ning võrdleb võimalikke dispetšsüsteeme, mis oleks Jaotusvõrgule parim lahendus kasutaja vaatenurgast.

Andmed on suuremas osas kogutud Elektrilevis kasutusel olevate süsteemide juhendid, sisemised dokumendid ning andmed dispetšsüsteemide kodulehtedelt. Suureks abiks operatiivjuhtimissüsteemide teema täpsemaks kirjelduseks oli M. Meldorf, T. Tikk ja J. Kilter poolt koostatud raamat „Elektrivõrgu operatiivjuhtimissüsteem.“

Konsultatsiooni pakkusid Elektrilevi OÜ Juhtimiskeskusest spetsialist Raido Rosenberg ning peaspetsialist Heikki Kolk. Tänan oma juhendajat Mati Meldorfi ning kõiki eeltoodud isikuid nende abi eest.

Autori kontaktandmed:

Nimi: Matis Kukk

E-post: matis.kukk@gmail.com

Telefon: 56971699

Töökoht: Elektrilevi OÜ

Amet: Dispetšer

Lühendite ja sümbolite loetelu

IED – kohtterminal (*Intelligent Electronic Device*)

RTU – kaugterminal (*Remote Terminal Unit*)

ICS – *Incident Command System*

SCADA – *Supervisory Control and Data Acquisition*

PLC – *Programmable logic controller*

HMI – *Human Machine Interface*

LAN – *Local Area Network*

WAN – *Wide Area Network*

Sissejuhatus

Viimaste aastakümnete jooksul on tööstus- ja kommunaalteenuste töö aina enam automatiseeritud. Keerukamate protsesside puhul kasutatakse kuluefektiivset andmete koondamist kesksesse juhtimissüsteemi, mille ülesandeks on operaatorile hetkeseisu kuvamine ja kaugjuhtimise võimaldamine. Selliste süsteemide üldnimetuseks on *Industrial Control System* ja selle üheks alamliigiks on *Supervisory Control And Data Acquisition* ehk lühidalt SCADA.

Jaotusvõrku tarkade elementide ühendamine on hulgaliselt laiendanud võrgust tulevat ning sinna antavate andmete hulka. Elektroonika areng on tekitanud võimaluse jälgida distantse: võrgu parameetreid, võrguelementide olekut, juhtida lüliteid ja programme abil juhtimist automatiseerida. Dispetšeri töö lihtsustamiseks ja suurte andmehulkade esitluseks on välja töötatud jaotusvõrgu operatiivjuhtimise tugisüsteem *Distribution Management System* ehk DMS ning lisaks veel teised tugirakendused. Dispetšersüsteemi põhiosa moodustavadki rakendused DMS ja SCADA, mida saab kasutusele võtta kui ühtse rakendusena või eraldi seisvatena.

Käesolev töö võrdleb turul olevate erinevate SCADA tootjate rakendussüsteemide funktsioone ja uuritud programme võimekust dispetšeri töö lihtsustamise seisukohalt. Antud uurimus võiks kasulik olla neile, kes üritavad end kurssi viia dispetšersüsteemidega ning ka olemasolevate süsteemide võrdlemiseks.

Jaotusvõrgu nutika võrgu rajamise eelduseks on teadmine, mis suunas energeetika ja telekommunikatsiooni vaheline seos areneb. Alajaamas paiknevate seadmete skaleeritavus muutub oluliseks, kui võtta arvesse asjaolu, et kaugjuhitavate ja seadistavate objektide arv mitmekordistub igal aastal. Jaotusvõrgul peaks olema võimekus kõiki neid seadmeid efektiivselt ära kasutada ning turvaliselt hallata. Samuti ei kasutata ära tänasel päeval erinevate seadmete potentsiaalseid võimalusi ning funktsioone, mis tõstaksid seadmete kasutegurit ning muudaksid dispetšerite tööd automaatsemaks. Õige dispetšersüsteemi valik on jaotusvõrgu tuleviku seisukohalt väga suure tähtsusega, et olla kaasaegne ning kõrgete turvameetmetega.

Esimeses peatükis on lühidalt kirjeldatud jaotusvõrgu operatiivjuhtimist ning kirjeldatud DMS programmi. Välja on toodud ka DMS-i põhifunktsioonid, probleemid millega DMS tegeleb ning näiteid programmi võimalustest. Lisaks on antud ülevaade operatiivjuhtimise ajaloost Eestis ja välja toodud Elektrilevi OÜ operatiivjuhtimise struktuur.

Teises peatükis on välja toodud hetkel kasutusel olev dispetšsüsteem firmalt ABB. Kirjeldatakse SCADA põhifunktsioone, nende väljakujunemisest ja tähtsamatest sideprotokollidest, millega peaks andmevahetussüsteem arvestama. Selgitatakse lähemalt protokolle Elkam-90 kohta ning arutletakse kuidas võiks SCADA toimida kaugemas tulevikus.

Kolmandas peatükis käsitletakse küberturvalisuse olulisust automaatikasüsteemides. Selgitatakse, kuidas on pahavarad jõudnud SCADA süsteemideni ning millises viisil mõjutavad või rikuvad antud süsteeme. Kirjeldatakse süsteemide tarkvara ja riistvaraga seotud turvaauke ning kui paljud ettevõtted on neid üritanud parandada.

Neljandas peatükis on välja toodud uuritavate SCADA süsteemide tutvustus, kus kirjeldatakse nende kasutajaliideseid ja erinevate rakenduste võimalusi. Peatüki lõpus on ka antud süsteemide kohta tehtud järeldus, milline võiks olla jaotusvõrgule parim uus dispetšsüsteem ning milliste otsuste alusel see hinnang tehti.

1. Operatiivjuhtimise ülevaade

1.1. DMS süsteemi lühikirjeldus

DMS programm kujutab endast rakenduste kogumit, mille abil elektrivõrku tõhusalt ja usaldusväärselt jälgida ning juhtida. Dispetši tugisüsteemiks nimetatakse DMS-i põhjusel, et juhtimisel ja juhtimisotsuste tegemisel pakutakse dispetšerile, kui ka operatiivbrigaadile, tuge lisainformatsiooni ja ülevaatlikkuse näol. DMS-i abil saab dispetšer võrku visualiseerida, analüüsida võrgu seisukorda, ette valmistada plaanilisi lülitusi distantsilt mittejuhitavate lülitite lülitamiseks operatiivbrigaadi poolt. Uuemates DMS programmides saab lülitada kaugjuhitavaid lüliteid nii plaaniliselt kui ka rikkeolukordades DMS programmist. [1]

DMS eesmärgid:

- vähendada kadusid elektrienergia ülekandel
- vähendada tööjõukulusid
- vähendada edasisi investeeringuid, pikendades vara kasutatavuse aega
- vähendada katkestuse kestust
- parandada teenuse kvaliteeti
- suurendada ohutust
- luua tingimused elektrienergia vabaturu toimimiseks
- suurendada ettevõtte konkurentsivõimet. [1]

Integreeritud (*Integrated/advanced*) DMS-i idee on, et operatiivjuhtimise moodulid on koondatud ühte tarkvarapaketti tagades probleemivaba andmevahetuse moodulite vahel. Et teostada DMS süsteemist lülitusi on vaja integreeritud SCADA-t, mis saab võrgust dünaamilist informatsiooni läbi kaugloetavate mõõteseadmete ja võimaldab lülitada kaugjuhitavaid lüliteid. Geoinfosüsteem GIS (*Geographical Information System*) on vajalik võrgu visualiseerimiseks ja asukoha otsinguteks. Kliendiinfosüsteem CIS (*Client Information System*) haldab infot arvestinäitudest, maksete sooritamisest, koormusgraafikutest ja liitumispunkti andmetest. CIS ei kuulu tavaliselt IDMS moodulite hulka vaid on eraldiseisev rakendus. Lisarakendused kui dispetšeri otsustustugi, analüüsivad võrku ja pakuvad välja lülitustegevused võrgu optimaalsemaks töörežiimiks. Lisaks võimaldatakse dispetšeri tööd automatiseerida rikete avastamise ning nende iseseisva kõrvaldamise näol. [1]

Võrgu juhtimissüsteeme saab klassifitseerida kahte kategooriasse: tsentraliseeritud ja avatud. Tsentraliseeritud ülesehituse puhul on suurem osa tarkvarast koondatud juhtimiskeskusesse, kus asub DMS tööjaam ja sellega töötav dispetšer. Avatud ülesehituses on intelligentsed seadmed loogiliselt süsteemis hajutatud. Seadmete vaheline hierarhia (master/slave) pole paika pandud ning seadmed suhtlevad üksteisega sarnaselt interneti seadmetele. Seadmed korrigeerivad iseseisvalt võrgu parameetreid ja eraldavad rikkes sektioone. Siiski võimaldab see manuaalsele juhtimisele üle minna (nt: hoolduseks, taaslülitusautomaadi blokeerimiseks). Avatud süsteem ei hõlma DMS arvutiprogrammide juurutamist juhtimiskeskusesse. Levinum on tsentraliseeritud süsteem, mille puuduseks avatud süsteemi ees on suurem maksumus ja rohkem kommunikatsiooni infrastruktuure. [2]

DMS-i tähendus varieerub rakendusest, energia haldamisest ja offline analüüsides kuni arenenud reaalaja haldussüsteemideni, integreerides endasse ka teiste rakenduste funktsioone (nt: SCADA). Uue suunana on välja arendamisel ühtne platvorm integreeritud funktsioonidega. [2]

1.2. Tekla Xpower DMS

Xpower DMS on Soomes ettevõttes Tekla OY-s loodud operatiivjuhtimise tugiprogramm, mis on kasutusel ka Elektrilevi OÜ jaotusvõrgu ohjamiseks. Lisaks DMS lahendusele on Tekla loonud elektrisüsteemi haldamiseks Xpower võrguinfosüsteem NIS, läbi mille saab DMS tööks vajalikud staatilised andmed. NIS-i kuulub püsitalituse ja rikkevoolude arvutusvõimekus (*PSA - Power System Analysis*), võrgu planeerimine, ehitus, hooldus, varade ja investeringute haldur. NIS süsteemi on integreeritud ka geoinfosüsteem GIS rakendus. Enamik Xpower-i üldisi funktsioone nagu taustakaardid, võrguobjektide andmed ja radiaalvõrgu arvutused esinevad lisaks NIS süsteemile ka DMS-is. [8]

Xpower DMS rakendused:

- Võrgutopoloogia haldamine.
- Objektide koordinaatide haldamine.
- Rikete asukoha lokaliseerimine.
- Rikete haldamine.
- Rikketelefon.
- Operatiivbrigaadide ohjamine.
- Plaaniliste lülituste haldamine.
- Lühisvoolude ja püsitalituse arvutamine.
- Katkestuste aruandlus. [1] [7]

Kasutajaliides

Xpower-i kasutajaliides on graafiline ja geograafiline ning disainitud Windows standardite kohaselt. Kasutaja võib avada mitmeid aknaid korraga. Tööriistaribad on kontekstist sõltuvad ehk hüpikmenüüst on kuvatud ainult valitud objektile võimalikud funktsioonid. Tööriistaribasid saab lisada ja eemaldada vastavalt vajadusele. Ekraanil valitud objekti saab liigutada sarnaselt Windows rakendustega. [8]

Andmebaasi, kasutajaliidese ja funktsionaalsuse kohandamine/muutmine

Kasutajad saavad ise klassifitseerimist kohandada vastavalt vajadustele. Samuti saab lisada olemasolevatele elektrilistele objektidele sätteid ja siduda dokumente objektidega, mis automaatselt avanevad valitud tarkvaraga. Seotud dokumendid salvestatakse kliendiandmesüsteemis andmebaasi asemel. Objektile lisatakse ainult teekond dokumendini. Menüüribad ja lühiklahvid on redigeeritavad. Aknaid ei saa heaks kiita, kuniks kohustuslikud andmelüngad on täitmata. Kuna kasutaja valitud kohandused salvestuvad andmebaasi siis tarkvara uuendades ei kustu kasutaja kohandused. [8]

Mitme kasutaja tugi

Xpower-ga saab korraga töötada mitu kasutajat, planeerides sama ala ja töötades samade objektidega. Kasutajate arv on piiratud litsentside arvuga. Kõik muudatused salvestuvad esmalt virtuaalsesse andmebaasi. Andmebaasi salvestamisel talletuvad ainult lisatud, muudetud ja kustutatud andmed. Kui uus võrk ehitatakse siis sisestatakse uus võrguplaan andmebaasi kas peakasutaja käsul või perioodiliselt. Uuendused kajastuvad ka kõigis teistes plaanides. [8]

Taustakaart

Taustakaart on baas, millele võrk kuvatakse. Tarkvara võimaldab paindlikult kombineerida taustakaardi materjale. Taustakaart võib olla vektor-, rasterkaart või nende kombinatsioon. Samuti saab sätestada automaatse taustakaartide muutuse suurendamisel (*Zoom*). Soovitud kaardid laetakse dünaamiliselt vältides ebavajalikku andmevahetuse koormust. [8]

Navigeerimiseks on kasutusel järgnevad funktsioonid:

- Sujuv suurendamine ning funktsioonid nagu „originaalvaade“ ja „eelmine vaade“.
- Kliente saab otsida andmebaasist nimede või aadresside alusel.
- Võrgu navigaator, mille abil otsida objekte virtuaalandmebaasist kasutades silte, nimesid või aadresse. [8]

Esitlusviisid

Esitlusviise on võimalik muuta vastavalt vajadusele, tagades lihtsama loetavuse. Näiteks eri pingetel sektioonid saab tähistada erinevate värvidega. [8]

Geograafiline esitlus: liinid esitatakse täpsetel geograafilistel asukohtadel või tüüpiliselt kasutatud „peaaegu täpsetel,“ mis võimaldab paralleelsete liinide näitamise mõistliku nihkega, et esitlus oleks loetavam. [8]

Pool-skemaatiline esitlus: kaart kus liitepunktid (alajaamad) on õigetel geograafilistel asukohtadel, kuid liinid nende vahel on kujutatud sirgete joontena. [8]

Skemaatiline esitlus: kõik kaablid on enamasti horisontaalsed või vertikaalsed ja dokumentatsioon on ilma geograafiliste pidepunktideta või skaalata. Skemaatilist esitlust kasutatakse enamasti alajaamade kontekstis. Single-line diagramm on skemaatiline presentatsioon keskpinge võrgust CAD-printimiseks. Singel-line skeeme saab kuvada koos geograafilise esitlusega. Säilib dünaamiline värvimine läbi mõlema presentatsiooni. Skemaatiline esitlus toetab lülitushalduri SSM (*Switching State Management*), katkestuste halduri OMS (*Outage Management System*) ja lülituste planeerimise rakendusi. [8]

Operatsiooniala ja kasutajaõigused

Xpower võimaldab jagada juhtimist mitme juhtimiskeskuse ja tööarvuti vahel ning määrata kasutajatele erinevaid volitusi nagu näiteks lülitusplaanide kinnitamine, süsteemiantmete käsitlemine, katkestuskõnede haldamine. Dispetšerid saavad võrgu vastutusalasid võtta ja ära anda. Suurte andmehulkadega tegelemisel võimaldab see lahendus filtreerida sisenevat andmehulka ainult dispetšerile määratud ala kohta. [8]

Ülesannete haldur

Ülesannete haldur TM (*Task Management*) rakendus aitab juhtida operatiivbrigaade ja haldab nende ülesandeid graafiliste tööriistade abil. TM haldab järgnevaid ülesandeid:

- rikete kõrvaldamine
- rarandustööd
- ehitus- /taastustööd
- elektrikvaliteediga seotud tööd
- kliendi andmed
- muud kliendi-spetsiifilised ülesanded.

Kõik dispetšeri poolt määratud ülesanded talletuvad arhiivi koos määraja ID ja ajatempliga. Kõik ülesanded sisaldavad infot hetkeseisust, olulisuse astmest ja asukohast graafilisel kaardil. Operatiivbrigaade võib leida ka võrgukaardilt paiknemiskoha (GPS) järgi *Tekla Mobile Task Managment* rakenduse abil. [8]

Topoloogia

Kogu võrk koosneb objektikooslustest, mis kokku loovad topoloogia ja suhtlevad ettekirjutatud reeglite kohaselt. Topoloogiat ei salvestata andmebaasi, vaid genereeritakse käigult töösessiooni alguses. Üks Xpoweri eelistest on, et objektide vaheliste ühenduste definitsioonid põhinevad nende geograafilistel asukohtadel (X,Y), mitte eraldi salvestatud sõlmede mudelil ja objektide relatsiooniandmebaasil, tagades parema jõudluse. [8]

Dünaamiline topoloogia võimaldab reaalajas suhtluse SCADA või muude süsteemidega. Kogu võrgu andmestik salvestatakse ühtsesse Oracle või Open-Ingres andmebaasi. Xpower programmi on projekteeritud andmebaasi mudel, koosnedes tabelitest kuhu saab sisestada objekti andmed (paigaldusaasta, nimipinge jne). Andmebaasis on üle 30 võrguobjekti tüübi tabeli (alajaam, lahklüliti jne). Andmebaasi ei salvestata graafilisi objekte, vaid tüübiandmed ja koordinaadid. Graafika laetakse sessiooni alguses, soovitud võrgupiirkonna valimisel. Iga kuvatud element esindab objekti, mis asub realses võrgus. [8]

1.3. Elektrilevi OÜ operatiivjuhtimise tugisüsteem

Alates 2003. aastast on Elektrilevi võrgus olnud kasutusel Xpower NIS, mille hulka kuulub ka DMS süsteem. Üle kümne aastane kogemus kindlustab, et teatakse mida kasutatav DMS programm suudab ning milliseid täiendusi võiks sinna tulevikus lisada. Ära on tehtud palju tööd tagamaks erinevate süsteemide ja andmebaaside omavahelise toimimise ja on kokku kogutud suurel hulgal võrguandmeid saavutamaks süsteemi ülevaatlikus. Siiski investeeritakse Elektrilevi OÜ-s järjepidevalt olemasoleva dispetšeri töövahendi täiustamisse ning võrgu juhtimisomaduste parendamisse. Kui 2005. aastal suudeti tormi tagajärjed likvideerida 20 päevaga siis peaaegu samalaadsete tormide tagajärjed 2013. aastal likvideeriti 7...9 päevaga, illustreerides suurepäraselt võrgu arengut ja DMS-i kasulikkust. Praegusel perioodil parendatakse SCADA ja DMS-i vahelist suhtlust. Käimas on ka Prediction Engine ehk prognoosimootori rakendamine, mis kasutab kaugloetavate seadmete (rikkeindikaatorid, kaugloetavad arvestid jne) andmeid, selgitamaks rikke täpset asukohta ning katkestuse ulatust.

Kaugloetavate arvestite projekt peaks lõpule jõudma 2017. aastaks, mille käigus paigaldatakse Elektrilevi OÜ kodulehe andmetel ligi 630 000 arvestit. Ollakse huvitatud FDIR (*Fault Detection, Isolation and Recovery*) rakenduse välja arendamisest, mis suudaks iseseisvalt võimalikult paljude klientide toite taastada ühendades lahti rikkes liinisektsiooni. Põhimõtteliselt suudetakse juba praegu rikke asukohta ennustada umbkaudu kilomeetrise täpsusega. Praeguse seisuga arvutatakse DMS-i kahel korral kolmest rikke asukoht õigesti, voolumeetodil saadud arvutustulemused võivad erineda tegelikest mitmeid kordi. Praeguse seisuga puudub korralik dispetšeri treeningkeskkond, mida soovitakse parandada. Treeningkeskkond oleks küll sama tootja poolt, kuid teises programmis. Praegu treenitakse dispetšereid enne kaugeltjuhitava võrgu üle kontrolli andmist plaaniliste lülitamiste koostamise ülesannetega. Testkeskkond vajaks ka täiendamist riistvara näol. Algselt mõnele kasutajale mõeldud keskkond on kasvanud 70 kasutajaga keskkonnaks, kannatades seetõttu jõudluse poolest. [3]

Xpower DMS ülesanded

Elektrilevi OÜ-s on DMS kasutusel selle võrguosa haldamiseks, mida ei saa kaugjuhtida. SCADA poolt kaugjuhitavad lülited moodustavad väikese osa võrgus olevatest lülitite koguarvust, seetõttu on DMS-i roll oluline. Kaugjuhitavaid lüliteid kontrollitakse eraldiseisvast MicroSCADA programmist. SCADA-sse saadetakse reaalaja info võrgu kohta edastatakse DMS-i. Operatiivbrigaad, kes tegeleb realses võrgus lülitamistega, suhtleb dispetšeriga telefoni teel. Peale lülituse sooritamist annab brigaad sellest teada ka dispetšerile, kes seejärel näitab lülituse ka DMS keskkonnas. Dispetšerid ei näe Xpower keskkonnast operatiivbrigaadide asukohta, vaid vaatavad seda veebirakendusest. Operatiivbrigaadidel on GPS süsteemid ja võrgu objektide koordinaadid, mille järgi otsitakse maastikul objekte. Brigaadid ei kasuta nutiseadmeid välitöödel Xpoweri keskkonnale ligi pääsemiseks. Jaotusvõrgus toimunud muutused kirjutatakse andmebaasi igal öösel. Elektrilevi OÜ DMS kuvab ülekandevõrgu liinid ja alajaamad staatiliselt. [3]

Riistvara

Riistvaraliselt on Xpower DMS-i programmi toimimine jagatud kahe serveri vahel: ühe abil toimuvad DMS-i kommunikatsiooniprotsessid ja teisel töötab võrguprotsesside jälgimise rakendus EPC (*Event Processing Client*) laadimise jaoks vajalik server. EPC tegeleb pidevalt süsteemi analüüsimisega ja SCADA-st tulevate andmete jälgimisega. Jõudluse seisukohalt esimesel serveril on kasutusel 3x virtuaalne CPU, 4GB RAM-i ja teisel serveril 4x virtuaalne

CPU ja 14GB RAM-i. DMS-i kasutajatel on töötamiseks kaks terminalserverit (ProLian BL 460c G8). DMS-i jaoks vajalikke servereid on kokku viis ning üks andmebaas. [3]

Rikkekönete haldur Elektrilevi OÜ juhitud jaotusvõrgus

Alates 2014. aasta veebruarist on Elektrilevi OÜ-s kasutusel ELKAM keskkond, mis saadab plaaniliste tööde puhul tarbijatele teate neid mõjutava töö toimumise kohta 5 päeva ning 24 tundi enne töö algust. Kui planeeritud töö tühistatakse, saadetakse automaatselt kliendile teavitus töö ära jäämisest. Rikke korral saadetakse SMS-i teel algus- ja lõpusõnum. Kõrgepinge rikke korral saadab süsteem ise automaatselt sõnumid, kui madalpinge rikke korral teeb seda dispetšer ise. [3]

Kui dispetšer teab orienteeruvat lõpuaega, siis saadetakse manuaalselt vahesõnumid prognoositud lõpuajaga. ELKAM keskkonna abil hoitakse järge prognoositud katkestusajal, vaadelda millised tähtsad kliendid on mõjutatud rikkest, millised ja kui palju SMS-e saadeti. Samuti saab otsida katkestusest mõjutatud kliente. Klienditeenindus näeb samast portaalist infot rikete kohta, mille alusel loetakse peale häälsõnumid. [3]

1.4. Xpower DMS põhifunktsioonid

Lülituste haldus

Lülituste haldur SSM lahendus registreerib muutused ning kajastab need automaatselt topoloogilises analüüsis muutes dünaamiliselt võrgu värvi. Tarkvara hoiab kursis kesk- ja madalpingevõrkude lülitite asenditega ning aitab lülitusi ohjata reaalajas. Informatsioon lülitite asendite kohta saadakse läbi SCADA või operatiivbrigaadidelt. SCADA-st tulevate sündmuste kulgedes kajastatakse toimunud muudatused DMS-is automaatselt. On võimalik teostada järgnevat lülitustegevusi:

- muuta lülitite seisundeid
- muuta võimsuslülitite vankrite asendeid
- ühendada ja lahti ühendada maanduslülititeid (töökohamaandused samuti)
- ühendada ja katkestada elektripostide otsas olevaid võimsuslülititeid
- kokku- ja lahti ühendada ajutisi ühendusi ja alajaamades toiteallikaid. [8]

Manuaalselt operatiivbrigaadide poolt sooritatud lülitusi visualiseerib dispetšer manuaalselt DMS programmi lülitamiste registris. Dispetšer saadab operatiivbrigaadile lülituskava

paberkujul. Kogu tegevuskäik talletatakse mälli, jättes meelde sisselogimise ajad, märkmed, lülitused kui ka kaardil sooritatud muud tegevused. [8]

Muutused võrgus märgitakse vastu ajatempliga, mis võimaldab analüüsida samaaegselt toimunud sündmusi. Tarkvara süsteemi rikke ilmnedes salvestab programm automaatselt andmed, et pärast rikke möödumist andmed taastada. Võrguprotsesside jälgimise rakendus EPC (*Event Processing Client*) tegeleb lülituste halduris reaal-režiimis pidevalt süsteemi analüüsimisega ja SCADA-st tulevate andmete jälgimisega. EPC ei ole mõjutatud Xpower Litsentsihalduri väljalogimistest, vaid jääb taustal töötama. Seeläbi vähendatakse ligipääsemisele kuluvat aega sisselogimisel. [8]

SCADA juhtimise lüliti või alajaama skeem võidakse avada ka DMS tarkvarast, võimaldades sealt teostada lülitusi. DMS võimaldab SCADA-ga ühilduda kahel viisil: läbi SCIL-API liidese (ABB MicroSCADA) ja ELCOM90 protokollil abil. Lisavõimalusena saab ühendada rohkem kui ühe SCADA süsteemi. [8]

Toetatakse järgnevaid SCADA süsteeme:

- SNC-Lavalin Group
- Harris XA/21
- Netcontrol NEMATIC
- VA TECH SAT
- ABB MicroSCADA. [8]

Xpower lubab lülitusi teostada mitmel kasutajal korraga. Dünaamiline värvimine on kõikides sessioonides ühesugune. Ühe objekti mitme dispetšeri poolt korraga juhtimisel teostatakse vaid esimene juhtimine. Tarkvara võimaldab üle minna reaallülitamistsükklilt simulatsioonitsükklisse. Simuleerides lülitusi saab vaadelda lülituste tulemusi ilma event log-i sündmusi tekitamata. Valides taas reaalsükkli tühistatakse katsetatud lülitused ning kajastatakse reaolulukord. [8]

Lülituste planeerimine

Planeerija tegeleb planeeritud katkestuste ja funktsioonidega, mis haldab katkestuse „elutsükklit“ algusest kuni kinnitamiseni. Lülitustegevus kuvatakse võrgu pildil. Lülitusplaane saab tagantjärgi vaadelda, lisada/eemaldada ja salvestada andmebaasi. [8]

Rikete haldus

Rikete haldussüsteem OMS tegeleb planeerimata katkestustega kogu rikketsükli vältel. OMS on lülituste halduri SSM alamrakendus, mille info põhineb võrgus ja alajaamas registreeritud sündmustel. Kõrvaldamata rikkeid saab vaadelda, luua ja lõpetada ning seotud sündmused saab

omavahel siduda. Seeläbi on võimalik neid andmeid kasutada katkestuse analüüsimisel. Joonisel 1.1. on näide katkestuse analüüsi kokkuvõttest. Analüüs kuvab ka elektriühenduse klientide koguarvu. Retrospektiivis saab toimunud lülituste tagajärgi vaadelda visuaalselt võrgukaardil, muuta sündmusi ja nende järjekordi. Katkestuse analüüsis kajastatakse katkestusaeg, katkestatud võimsus, andmata jäänud energia hulk ja selle maksumus. DMS toetab järgnevaid analüüsi tüüpformaate: SENER, DARWIN, FASIT. Lisaks nimetatud kolmele analüüsiformaadile on võimalik luua raporteid lülitusplaanidest, süsteemilogides, olulistest klientidest ja rikete kõrvaldamise tööplaanidest. [8]

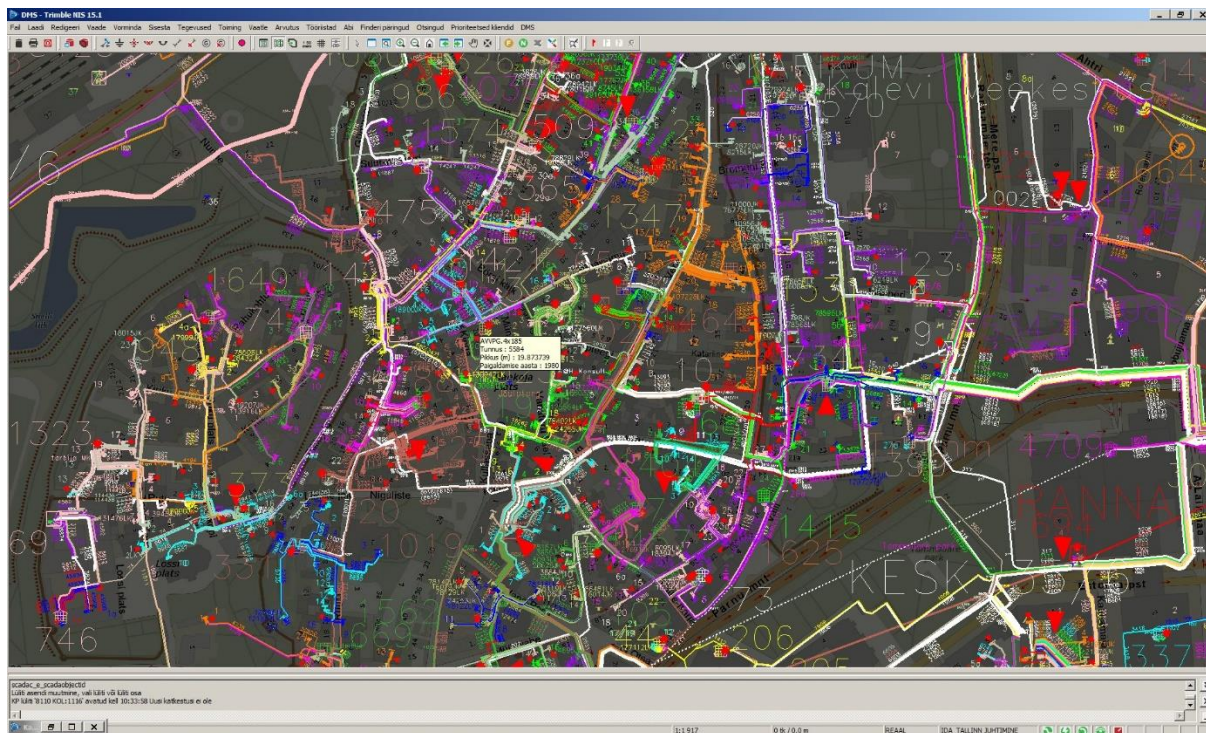
Väli	Väärus	Seisund
Analysis status	OK	OK
Summaarne väljalüümsaeg	01:22:14	
Klendi prioriteet	Määratlemata	
Hetkeprioriteet	Määratlemata	
Current service promise	0	
Hetkel tooteta kliendid	0	
Hetkel tooteta A/d	0	
Katkkestuse maksumus kliendile		
EKT - Normitud elektrikatkestuse maksumus kliendile	0.00	
EKT - Kulu katkestatud koormuse järgi	0.00	
EKT - Maksumus kliendisegmendi järgi	0.00	
EKT - Prognoos	0.00	
Põhinäitajad		
Kliendipunkti katkestuse kestus (h)	211.07	
Aruande punkti lümid (h)	0.00	
Katkestatud kliendipunktide arv kokku (IEEE CI)	154	
Katkestatud kliendipunktide arv kokku (IEEE CN)	35	
Katkestatud liituspunktide arv kokku	2	
Trafode arv	0	
Alajaamade arv	0	
Muud tulemused		
Lahtühendatud võimsus Pout (kW)	41.09	
Oma võrk tooteta (kWh)	49.08	
Võrras võrk tooteta (kWh)	0.00	

Joonis 1.1. Katkestuse analüüsi raport DMS'is [8]

Rikkekohta leidmine

Rikkekohta leidmise rakenduse eesmärk on vähendada katkestuse aega võrreldes arvatud rikkekohta kaugust lühisearvutuste tulemustega. Lühise arvutused viiakse läbi automaatselt. Katkestusekoht ja isoleeritud ala kajastatakse võrgukaardil. [8]

Rikkekohta avastamist saab läbi viia automaatselt juhul kui SCADA süsteem toetab vajalike andmete saatmist DMS-i. Toiteta jäänud liinisektsioon on värvitud valgeks (Joonis 1.2.). [8]



Joonis 1.2. DMS'i kaardivaade [8]

Rikkekohta arvutamine voolumeetodil:

Meetodi kohaselt arvutatakse rikkekoht fiidri või trafo rikkevoolu arvutamise teel SCADA süsteemist saadud mõõtmiste põhjal. Täpsust lisatakse koormusvoolu algoritmi abil, kui SCADA toetab aktiiv-, reaktiivvõimsuste ja voolude mõõtmist. Voolumeetod on loodud faaside vaheliste ja kolmefaasilise lühise arvutamiseks radiaalses keskpingevõrgus. [8]

1.5. DMS väljakutsed ja nõuded

Vastupidiselt ülekandevõrgu juhtimist toetavale EMS-le (*Energy Managment System*) on DMS süsteem arenenud vaevaliselt. EMS on DMS-i ekvivalent ülekandevõrgus. Nende suurimaks erinevuseks on, et jaotusvõrgus on elemente palju rohkem. Veel lähiminekis kasutati jaotusvõrgu haldamiseks paberikandjaid ja staatilist mnemoskeemi, kus dispetšerid märkisid süsteemi oleku muutusi märkmekleepsude ja muude sarnaste lahendustega. Reaalaja info puudumise tõttu ei saadud optimaalselt koormata fiidreid, kontrollida lülituste mõjusid ja pinget reguleerida saavutamaks väikseimad kaod. Rikke asukoha leidmine võis kujuneda väga ajakulukaks. [1]

Kvaliteedi parandamiseks ja kiirete äriliste otsuste tegemiseks on vaja informatsiooni jagada ettevõttesiseselt. Paljud tänapäeval jaotusvõrgus kasutusel olevad rakendused moodustavad “automatiseerimise saari,” teisisõnu ei suhtle omavahel piisavalt efektiivselt ning seeläbi osa jagatavatest andmetest läheb kaduma. DMS programm peaks olema piisavalt integreeritud nii siseste, kui ka väliste rakendustega, et võrgust vastu võetud ja mujalt andmebaasidest saadud andmetest oleks maksimaalselt kasu. Suurenenud andmehulgad nõuavad andmebaasidelt suuremat mälumahtu ja andmete haldamise kiirust, mida mittetäites ei suudeta pakkuda tõhusat retrospektiivset ega reaalsaja analüüsi. Andmebaasides tuleb andmed filtreerida ning talletamisel kokku suruda, sest kõige tõhusam andmekogumise viis on vältides andmete dubleerimist. [4]

DMS-i põhiooteks on ressursside säästlik kasutamine ja turvalisuse tagamine. Toimiv DMS peaks muutma dispetšeri tööd lihtsamaks, automatiseerides võrgu juhtimist ning pakkudes võrgust paremat ülevaadet. Kuna jaotusvõrk on väga laiaulatuslik, puuduvad enamuse võrgu kohta reaalselt mõõdetud andmed. Seetõttu tuleb DMS-il arvutada kogu võrgu olukord saadaolevatest andmebaaside andmetest. DMS areneb tulevikus ilmselt tsentraliseeritud süsteemist avatuks, laienemisvõimeliseks ja ühendatuks. [1]

DMS programm peaks suutma ühilduda hõlpsalt väliste andmebaasidega, infomudelitega, pikendades süsteemi eluiga, mistõttu on hea, kui tarkvara on modulaarne, (nn “*plug n’ play*” - ühenda ja mängi). Võrgu andmetele peaks ligi saama ka veebi vahendusel, see aga omakorda nõuab turvalist süsteemi. Süsteem peaks toetama levinud andmevahetusstandardeid ja andmesiltide nimetused peaks olema kõigis rakendustes ühtlustatud. [4] Riistvaraliselt peaksid olulised seadmed olema dubleeritud ehk ei tohiks tugineda ainult ühele andmebaasile töökindluse seisukohalt. [1]

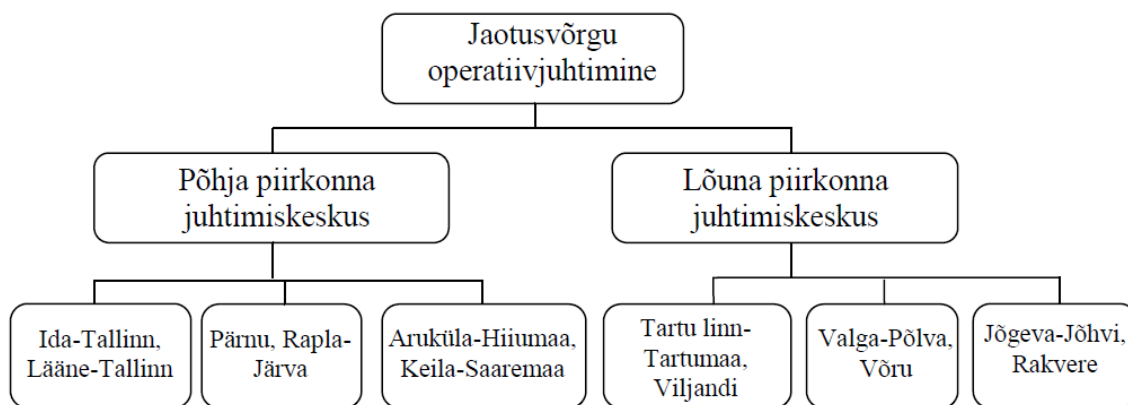
Vigane andmete ülekandmine süsteemide vahel ja väär/puudulik sisestamine võib põhjustada vigaseid analüüsitulemusi, koormusgraafikuid, kaitse selektiivsuse valearvestusi ja palju muid probleeme. [5] See probleem on hästi tuntud ka Elektrilevi OÜ dispetšeritele. Tekke põhjuseks võib olla nii ühilduvusviga kui ka andmesisestaja eksimus. Probleemseks võib osutuda ka GIS-i andmete põhjal DMS-i single-line diagrammide loomine. [6]

1.6. Operatiivjuhtimise ajalugu Eestis

1944. aastal loodi Elektritrust „Eesti NSV Elekter“ ning sinna juurde ka dispetšerite osakond, mis tähistab Eesti energeetika dispetšerite süsteemi sünni. 1946. aastal nimetati dispetšitalitus ümber Keskdispetšertalituseks. Kuni 1961. aastani tegeles kogu Eesti elektrivõrgu operatiivjuhtimisega energiasüsteemi Keskdispetšertalitus. Algusaegadel oli dispetšeri käsutuses vaid telefon ja staatiline juhtimiskilp ning võrgu juhtimisotsuseid langetati kogemustele lähtudes. Kui võrgu laienemine kasvatas keskdiseptšitalituse töökoormust, loodi dispetšikeskused võrguettevõtte juurde. Esimene Kõrgepingevõrkude dispetšikeskus loodi Tartusse 1961. aastal, Tallinnasse mõned kuud hiljem. Algselt käis kogu info kuvamine makettskeemide abil. Esimene mnemoskeem valmistati Keskdispetšitalituses oma jõududega, 1973. aastal hakati kasutama Leningradi tehase Elektropult dispetšikilpi võrgu mnemoskeemiga. Dispetšeripuldid loodi ka Tallinna, Tartu, Jõhvi ja Kuressaare linnavõrkude juhtimiseks. Võrgu juhtimise operatiivsus kasvas aastal 1985, millal võeti kasutusele nüüdisaegne operatiivinformatsiooni kompleks (OIK). Süsteem tugines miniarvutil CM-4 ja mikroarvutil CM-1800. Arvuti võimaldas kuvada ekraanil soovitud teavet talituse kohta ja ka arhiveeritud andmeid. Võimalikuks sai kuvada mõõtmisi, signaale, alarme ja sooritada kaugjuhtimist. 1996. aastal juurutati Põhja Elektrivõrkudes ABB MicroSCADA dispetšisüsteem. Sama süsteemi kaasajastatud variant on kasutusel ka tänapäeval. 1999. aastal moodustati Eesti Energia Jaotusvõrk OÜ, mis 2012. aastast kannab nime Elektrilevi OÜ. Kõik jaotusvõrgu juhtimissüsteemid viidi üle MicroSCADA-le 2003. aastaks. 2003. aastal juurutati esimesena Võru dispetšikeskuses Soome firma Tekla OY Xpower NIS (*Network Information System*), mille hulka kuulub ka käesolevas töös uuritav Tekla Xpower DMS programm. NIS süsteemi kasutuselevõtu käigus koguti kokku võrgu andmed ja GPS (*Global Positioning System*) asukohad ning sisestati virtuaalsetesse andmebaasidesse. Klientide andmete ja liitumispunktide koordinaatide sisestamine andmebaasi mängis võtmerolli uue süsteemi kasutusele võtmiseks. [7]

1.7. Elektrilevi OÜ operatiivjuhtimise struktuur

Jaotusvõrk on jagatud kaheks regiooniks, milles on 2015. aasta aprillist 6 juhtimispiirkonda [3]. Juhtimispiirkonnad ja nende hierarhia on kujutatud joonisel 1.3.



Joonis 1.3. Elektrilevi OÜ jaotusvõrgu operatiivjuhtimise skeem [3]

Juhtimispiirkondade dispetšerid juhivad kohalikke 6...35 kV keskpinge ja madalpingevõrke.

Operatiivjuhtimise tööarvutid on ühendatud omavahel laivõrguga, võimaldades kohalikel keskustel autonoomselt võrku juhtida. Vajadusel saab juhtimise funktsioonid üle kanda teisele keskusele. Telemehhaniseerimata võrku haldab SCADA süsteemi asemel Tekla Xpower NIS.

[7]

2. SCADA eile, täna, homme

2.1. SCADA eile ja selle areng maailmas

Vajadus operatiivjuhtimise järele tekkis juba 1930ndate lõpus. Esialgu oli dispetšerite käsutuses telefon ja staatiline juhtkilp, lisaks mõni analoogtehnoloogial põhinev kaugmõõteliin. Arvutite ja mõõtmete kahanedes ning kättesaadavuse suurenedes hakati neid rakendama üksikute prioriteetsete jaamade piires loogikaoperatsioonide teostamiseks ning juhtimiskeskusega andmevahetuse pidamiseks. Dial-up modemite ja raadiolinkide kasutuselevõtt võimaldas juba natuke rohkem andmeid üle pikkade vahemaade edastada. [3]

Digitaalsele andmevahetusele üleminekul tekkis vajadus protokollide järele, mis kirjeldaksid ühise keele objektide omavaheliseks suhtluseks ja samas hoiaksid endiselt võrdlemisi piiratud üle sidekanalite edastatud bittide hulga minimaalsena. Sarnaselt arvutite algusaastatega, löid ka SCADA tarkvara tootjad algselt mitmeid suletuid lahendusi, mis sisuliselt tähendas, et ühe süsteemi piires sai vaid ühe tootja seadmeid kasutada. [3]

Kuna vajadus erinevate tootjate seadmete ühildamiseks oli suur, hakkasid ajapikku tekkima avatud standardid ja praeguseks on mitmekümne tootjaspetsiifilise SCADA protokollide asemel laialdaselt kasutusel ligikaudu viis avatud standardile vastavat andmeedastusprotokollid. [3]

2.2. Elektrivõrgu SCADA struktuur

Dispetšisüsteem SCADA on ajalooliselt olnud hajus, heterogeenne süsteem, mille tasanditeks on:

- kohtsüsteemid
- andmeedastussüsteemid
- kesksüsteemid. [7]

SCADA süsteem saab alguse kohtsüsteemides, mille seadmed paiknevad alajaamades ning muudes elektrivõrgu lülitus- ja jaotuspunktides, toimub andmehõive ja täidetakse juhtkorraldused. Mõõteanduritest saabuval signaalid teisendatakse siin edastamiseks sobivale digitaalsele kujule, töödeldakse ja salvestatakse. Vajalikku infot edastatakse kõrgemale juhtimistasemele sobivas mahus ja vajalikul ajamomendil. Seadet, mis infot edastamiseks ette valmistab, nimetatakse kaugterminaliks (*Remote Terminal Unit - RTU*). Kaugterminal

vahendab ka kõrgemalt tasemelt tulevaid juhtkorraldusi, milleks on näiteks lülitite sisse- ja väljalülitamise käsud. Kaugjuhitavad on nüüdisaegsete releekaitse- ja automaatikaseadmete sätted, kuna tänapäeval on valdavalt tegemist mikroprotsessoritel põhinevate kohtterminalidega (*Intelligent Electronic Device - IED*). Need seadmed ühendavad endas nii releekaitse, automaatika kui ka andmehõive funktsioone. [7]

Andmeedastuseks on vaja sidesüsteemi. Kuna elektrivõrgud paiknevad ulatuslikul territooriumil ja edastatavad andmehulgad võivad olla suured (näiteks energiakvaliteedi analüsaatorite mõõteandmete edastamine), oli varasematel aegadel probleemiks sideliinide läbilaskevõime. Tänapäeval fiiberoptilised kaablid tagavad nii vajaliku läbilaskevõime kui ka suure häirekindluse ning on parasjagu laialdaselt levinud. Asukohtades kus puudub ligipääs fiiberoptilisele võrgule on levinud ka mitmesuguste õhu kaudu levivate tehnoloogiate kasutamine. Andmeside teenust ostetakse reeglina välistelt sideteenuste pakkujatelt, kes omavad vastavas asukohas side infrastruktuuri. Teenusepakkujad vastutavad edastatava info avalikust võrgust eraldatuse eest, mis kriitilise infrastruktuuri juhtimiseks kasutatavate andmesidekanalite korral on äärmiselt oluline. [7]

Omaette probleem on, kuidas eri aegadel toodetud erinevate ettevõtete sideaparatuuri kokku sobitada. Kuigi juba mõnda aega on andmevahetust korraldavaid sideprotokolle standardiseeritud, siis erinevad tootjad kasutavad erinevaid standardeid. Kuna andmeside ühendab ennekõike arvuteid, räägitakse arvutivõrkudest, mille levinud vormid on kohtvõrk (LAN) ja laivõrk (WAN). [7]

Kesksüsteemi moodustab juhtimiskeskuses paiknev riist- ja tarkvara, mis võimaldab elektrivõrgu juhtimiseks vajalikke andmeid säilitada ja töödelda ning operatiivpersonalile sobivas vormis edastada. Jooksvad andmed esitatakse ennekõike graafiliselt skeemide ja diagrammide näol. Tähtsal kohal on sündmuste, eriti alarmide haldamine. Kesksüsteemist lähtuvad ka juhtkorraldused lülititele ning releekaitse- ja automaatikaseadmetele. Andmed suubuvad kohtsüsteemidest ehk alajaamadest erinevate sideliinide kaudu SCADA sideserveritesse, kust need suunatakse SCADA süsteemi serverisse. Vastassuunas edastatakse lülitite ja muude seadmete juhtimiskorraldused. Andmete pikaajaline säilitamine juba töödeldud kujul toimub raportite ja ajaloo andmebaaside serverites. [7]

2.3. SCADA põhifunktsioonid

Elektrilevi OÜ-s kasutatava ABB microSCADA dispetšisüsteemi põhifunktsioonideks on mõõteandmete ja signaalide kogumine ning säilitamine ja juhtkorralduste edastamine ettenähtud seadmetele. Oluline on tagada ka seire- ja juhtimistegevus ning luua operatiivpersonalile sobiv kasutajaliides. [7]

Mõõteandmed ja signaalid lähtuvad tavaliselt alajaamades paiknevatest kaugterminalidest ja edastatakse sidevõrgu kaudu juhtimiskeskuste sideserveritesse, kus andmed valmistatakse ette (skaleeritakse, dekrüpteeritakse jne) nende käsitlemiseks SCADA-serveris. Andmeid kogutakse IEC 60850-5-101 protokolliga korral ülem-alluv-süsteemi kohaselt, kus ülema rollis olev sideterminaal saabab üldküsitusel kaugterminalile regulaarselt perioodiga 1..2 sekundit või enam. Elektrilevi OÜ-s kogutakse andmeid üldjuhul viisil, et edastatakse valikuliselt vaid need suurused, mille väärtused on teatud piires muutunud. Andmete kontrollimiseks, mis püsivad muutumatud või pole piirväärtusi ületanud, saadetakse üldküsitusel iga 4 tunni tagant. [7]

Valikulisel edastamisel koormatakse sidekanaleid tunduvalt vähem, mis omakorda koormab SCADA servereid vähem. Väiksemate alajaamade ning mastivõimsuslülitite korral, kus kasutatakse andmemahupõhise tariifiga mobiilsidet, on igakuised arved kordades väiksemad kui kasutatakse andmete valikulist edastamist. [7]

Reeglina edastatakse andmeid spontaanselt, kui tegemist on eriti olulise teabega. See tähendab, et RTU edastab info SCADA-sse enne, kui toimub järgmine üldküsitusel saatmine. Andmekogumise viis määratakse vastavalt vajadusele ja realiseeritakse sideprotokollide kaudu. Elektrilevi OÜ-s on uute alajaamade ehitamisel aktsepteeritav ainult IEC 60870-5-104 (lühidalt IEC-104) protokoll. Seetõttu on õppekeskuses valitud RTUde ja SCADA vaheliseks andmesideprotokolliks IEC-104. [7]

Andmed töödeldakse ja salvestatakse SCADA-serveris. Seal toimub:

- mõõteandmete ja signaalide salvestamine ja jälgimiseks ettevalmistamine
- sündmuste registreerimine ja salvestamine; sündmusteks on
 - signaalide muutused
 - juhtimiskorraldused
 - mõõtmiste lubatud piiridest väljumine ja naasmine
- alarmide (oluliste sündmuste) jälgimine; alarme on võimalik selekteerida prioriteetide ja gruppide järgi

- juhtimiskorralduste moodustamine
- sündmuse põhjustanud mõõtmise või signaali asukoha lokaliseerimine
- mõõteandmete salvestamine ja ettevalmistamine tabelite ja graafikute kujul
- lülituste aruande koostamine ja operatiivpäeviku pidamine
- salvestatud sündmuste ja mõõteandmete siirdamine tekstifailidesse, kust neid on võimalik lugeda muu tarkvaraga (MS Word, MS Excel)
- arhiveerimine
- aruandlus (töövahendiks MS Excel jm)
- rikkekoha lokaliseerimine
- võrgutopoloogia määramine. [7]

ABB microSCADA kasutajaliidesed on loodud Windows'i operatsioonisüsteemile. Tööjaama ekraanil saab avada SCADA pilte ehk dünaamilisi võrgu põhimõtteskeeme, saata pilte ühelt ekraanilt teisele ja avada ühte pilti mitmel kuvaril. Üheks näiteks oleks skeemi või trendikõvera avamine, kus kuvatav pilt võib jätkuda ühelt kuvarilt teisele. Üldiselt kehtivad ka kõik muud Windowsi operatsioonisüsteemidel töötavad funktsioonid nagu akende suuruste ja kujunduse muutmine jms. [7]

Põhilised kuvatavad objektid, mille vahendusel toimub elektrivõrgu juhtimine, on järgmised:

- elektrivõrgu ja alajaamade elektriskeemid
- alarmiteated
- sündmuste loendid
- mõõteandmete tabelid
- trendikõverad
- juhtimiskorralduste moodustamise vahendid. [7]

Elektrivõrgu skeem on põhimõtteline või tugineb geograafilisele kaardile. Kaardi alusel koostatud skeemid sobivad eriti jaotusvõrkude juhtimisel, kui on vaja määrata liinide ja muude objektide asukohta näiteks remondibrigaadi vajadusteks. Võrgu talitlust on mugavam jälgida põhimõtteskeemilt. Pildil näidatakse lisaks alusskeemile ära talitluse seisund, mõõtmistulemused ja toimunud muudatused, näiteks lülitite asendid. Objekte võib ekraanil vähendada või suurendada, muuta nende värvust ja kuju, tuua need esile või peita sõltuvalt näiteks mõnest talitluse mõõteväärtusest. Kogu pilti saab suurendada või vähendada, seada vastavusse andmebaasiplokkidega jne. Nii on graafiliselt võimalik esitada mõõteväärtusi, piirväärtusi, objektide nimesid jne. [7]

Juhtimiskorralduste moodustamise vahendid võimaldavad juhitava objekti valiku kõrval ka selle olekut kontrollida ning seeläbi tagavad töökindluse. Variandid: juhtimise võimalikkust kontrollitakse enne täitmist, juhtkorraldus täidetakse pärast kontrollimist, juhtkorraldus täidetakse kohe ja juhtimisest loobutakse pärast selle võimalikkuse kontrolli. Võimalik on määrata viide juhtimise sooritamiseks ja juhtimise tulemuslikkusest teatamine. Sätete korral eristatakse digitaalseid (1 või 2 bitiga binaarselt edastatavaid) ja analoogsuursi, millele saab määrata läviväärtusi. Juhtida võib ka jadaskeemi kohaselt, kus ühe korralduse alusel tehakse kohtsüsteemis mitu operatsiooni. Näiteks trafo remontimiseks tuleb esmalt välja lülitada madalama pingega poole võimsuslülitid ja seejärel kõrgema pingega poole lülitid. Siis lülitatakse välja lahkülitid, kontrollitakse pingepuudumist ning lülitatakse sisse maanduslülitid. Edasi lülitatakse välja sekundaarahelad (releekaitse). Kõike seda tehakse ühe juhtkorraldusega, mis realiseeritakse eelnevalt ettevalmistatud lülitusprogrammi kohaselt. [7]

Juhtimissüsteemi järelevalvet teeb järelevalveprogramm, mis jälgib kõiki võrgu tööjaamu ja annab alarmi, kui mõni tööjaam ei saa ühendust SCADA serveriga. Sideserver valvab terminali side kulgu. Akendes näidatakse sidekanalite seisukorda, muuhulgas saadetud ja vastuvõetud teadete arvu, teistkordsete pöördumiste arvu jm. [7]

2.4. Sideprotokollid

Andmeside esmaülesanne on ühendada omavahel kaks või enam informatsiooni vahetavat seadet. Kuna seadmed peavad oskama üksteisega suhelda, nõuab andmevahetus kindlate reeglite ja protokollide täitmist. Kahe sama tüüpi arvuti ühendamisel on sideprotokoll suhteliselt lihtne. Keerukaks muutub sideprotokoll eri tüüpi seadmete kokku ühendamisel ja andmeedastusel füüsiliselt erisuguste sidekanalite kaudu. Probleemid seonduvad avatud süsteemidega, millega võib liita põhimõtteliselt mis tahes tootja seadmeid. [7]

Funktsioonid, mida peavad toetama alajaama sideprotokollid:

- kaitsefunktsioonid
- seadmete juhtimisfunktsioonid
- automaatikafunktsioonid
- mõõtmised
- blokeeringud
- pingete reguleerimine

- parameetrite sättimine
- sündmuste ja alarmide käsitlemine
- rikkemeerikute lugemine
- arhiveerimine
- süsteemi turvalisuse tagamine. [7]

Mõõteseadmeid ja signaale peab saatma alajaamadest juhtimiskeskusesse ja vastupidi, edastama juhtimiskeskusest antavad korraldused seadmetele (lülitid, releekaitse- ja automaatikaseadmed). Alajaamast on vaja lugeda rikkemeerikuid ja sätteid. Kui alajaamas puudub kohtvõrk ja selle asemel on kakspunktühendus (point-to-point), siis puudub vajadus protokollide kõigi seitsme kihi järele. Sel juhul piisab kolmest kihist (füüsiline, kanali- ja rakenduskiht). Sellise lihtsustatud mudeli nimeks on EPA (*Enhanced Performance Architecture*). [7]

Sideprotokoll ELCOM-90

Tervikliku andmesidesüsteemi loomisel nii elektrisüsteemi ulatuses (põhivõrk, jaotusvõrgud) kui erinevas rakendustes (dispetšisüsteem, tugisüsteemid) on põhiprobleemiks andmevahetus erinevate tootjate seadmete ja rakendusprogrammide vahel. ELCOM-90 (*Electrical Utilities Communication Protocol*) on elektritootjate ja võrguettevõtete juhtimiskeskuste vahelise andmeside protokoll info vahetamiseks erinevate firmade tarnitud dispetšisüsteemide (SCADA), tugisüsteemide (EMS, DMS) ning energia- ja arveldussüsteemide vahel. Tänapäevaks on ELCOM-90 saanud rahvusvaheliselt tunnustatud de facto standardiks, mis kasutab andmeedastuseks TCP/IP või X.25 sideprotokolle. ELCOM-90 pakub andmevahetuse teenust ISO-mudeli kõrgemas kihis, standard koosneb andmevahetuse kindlustamise osast (ELCOM *provider*) ja kasutajaelementidest, mis integreerivad ELCOM-sidet kasutava rakenduse (SCADA, DMS) andmevahetust kindlustava osaga. Mõlemad on protokollis hästi määratletud ja täielikult kirjeldatud. Andmevahetust kindlustav osa tagab kas püsiva või dünaamilise side, side vabastamise või katkemise, info üleandmise, andmete turvamise, sidehäirete registreerimise jms. [7]

Kasutajaelemendidest on kõige olulisem rakenduse programmeerimise liides API (*Application Programming Interface*), mille abil luuakse rakendusprogrammile võimalus kasutada ELCOM-90 teenuseid. Liidese abil saab edastatava info jagada gruppideks, omistades neile tüübi ja numברי. Grupid kooskõlastatakse saatja ja vastuvõtja vahel. Grupi määratlus toetab gruppi

kuuluvate objektide lisamist või kustutamist. Vajadusel saab küsida saatjalt grupi konfiguratsiooni. [7]

Andmed edastatakse kas nõudmisel, spontaanselt või tsükliliselt. Andmete ülekande initsialiseerimine võimaldab kasutajal andmeid saada, kusjuures nõudes võib indeksitega määratleda ka mingi grupi alamhulga. Andmetega kaasneb alati nende usaldatavuse tunnus. Kui andmebaasi poole pöördumisel tekkis viga, edastatakse nõudjale andmete väheusaldatavuse tunnus. Kui nõutakse ajaloolisid andmeid, antakse andmetega kaasa nende esmase salvestamise aeg. Mitme koopია olemasolul võib kasutaja küsida neid kõiki. Esimesena edastatakse neist vanim. Järgmisi ülekande nõudeid ei võeta täitmisele enne, kui eelmisele nõudele on saadud vastus kas seansi eduka lõpu või seansi katkestamise kohta. [7]

Etteantud objektide olekute või mõõtmiste läviväärtusi ületavad muutused käivitavad spontaanse andmeedastuse. Võimalikud on ELCOM-i poolsed andmete edastamise prioriteedid, kuid tavaliselt jäetakse sündmuste olulisuse üle otsustamine sellele rakendusele, millel teated edastatakse. [7]

Tsükliline edastatakse andmeid etteantud intervalli järgi. Näiteks võib rakendus vajada iga 10 sekundi või iga minuti järel andmeid mingi suuruse trendipildi kuvamiseks. Kuigi tsükli pikkusel pole põhimõttelist tähtsust, eristavad mõned rakendused (nt Xpower) lühikest (alla 50 sekundi) ja pikka tsükli. Vajadus sellise eristamise järele võib tekkida serverite koormatuse hindamisel. [7]

Erivajadustega teenus on ELCOM-90 juhtimiskäskude ja sätete edastamine, kui seda peab tegema juhtimiskäsku andva süsteemi suhtes väline süsteem. Variandid: juhtimise võimalikkust kontrollitakse enne täitmist, juhtkorraldus täidetakse pärast kontrollimist, juhtkorraldus täidetakse kohe ja juhtimisest loobutakse pärast selle võimalikkuse kontrolli. Võib ette näha ka viite juhtimise täideviimiseks ja juhtimise tulemuslikkusest teatamise. Sätete korral eristatakse digitaal- ja analoogsuursi. ELCOM-90 jagab andmed kaheksaks tüübiks:

- mõõtmised – 32-bitised liikuva komaga arvud
- diskreetsed suurused – 16-bitised täisarvud
- olekud (2 bitti) – sees, väljas, vahepealne, võimatu
- lülitite liigid – lati- või liinilülitid, seksioonide- või süsteemide vahelised lülitid, möödaviiklülitid jms
- binaarkäsud – sisse, välja
- analoogsätted – sama, mis mõõtmised

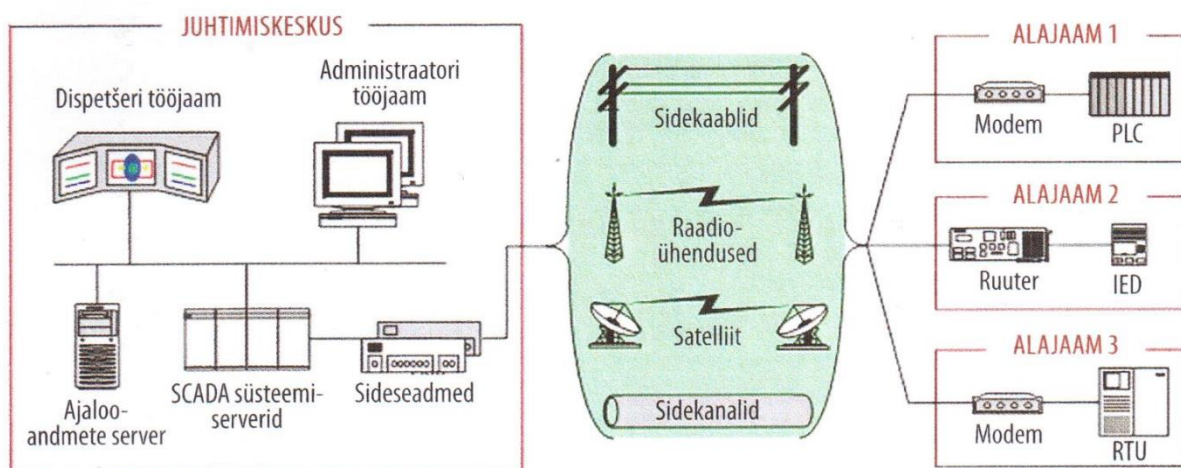
- digitaalsätet – sama, mis diskreetsed suurused
- tekstiklujulised teated – kasutusel 8-bittine ASCII kood. [7]

Andmetega käib alati kaasas päritolu näitav kood – mõõdetud, estimeeritud, käsitsi sisestatud, arvutatud jm. Juhtimiste või sätetega võivad kaasneda teated: „Objekt on RTU poolt blokeeritud“, „Kohaliku seadmega puudub ühendus“, „Juhtkorraldusel on lubamatu väärtus“ jm. [7]

Protokoll ELCOM-90 on kasutusel peamiselt Euroopas. Mujal maailmas rakendatakse sama eesmärkidel enamasti USA päritoluga protokoll TASE.2 (*Telecontrol Application Service Element 2*), mida ka nime all ICCP (*Intercontrol Center Communications Protocol*) tuntakse. [7]

2.5. SCADA olevikus ja selle komponendid

Tüüpiline SCADA süsteem koosneb juhtimiskeskusest, välisobjektidest ning nende vahelise side infrastruktuurist. Välisobjektidel, nagu alajaamad, asuvad kontrollid ja sensorid registreerivad mõõtmisi ja teostavad kaugjuhtimist. Näiteks kasutatakse välisobjektidel programmeeritavaid loogika kontrollereid (PLC), kohtterminale (IED) ja kaugterminale (RTU) (Joonis 2.1.). RTU on andmehõivesüsteemi kese, mille ülesanne on registreerida objektil toimuv, edastada mõõteandmeid ja sündmusi ning vastu võtta saabuval juhtimiskorraldused ja teatud juhtudel teostada ka loogika funktsioone. [3]

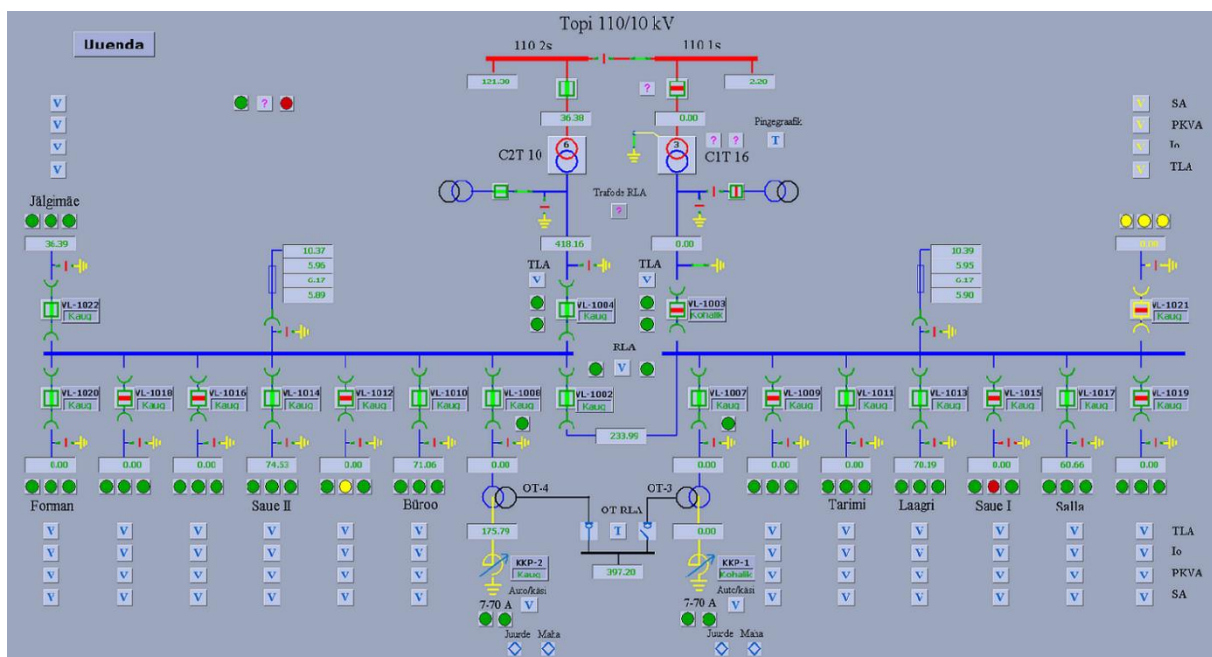


Joonis 2.1. SCADA lihtsustatud struktuur [3]

PLC – programmeeritav loogikakontroller, kasutatakse peamiselt tootmisprotsessides. IED – laiem mõiste mitmesuguste energeetika digiseadmete kohta, valdavalt mõistetakse selle all digireleesid. RTU – kaugterminal, mis kogub kõikidest erinevatest alajaama seadmetest andmed kokku ja edastab SCADA-sse. [3]

Välisobjektide kontrollerid kujutavad endast reeglina väikseid *embedded system* tüüpi arvuteid, mille riistvara on mingi kindla tegevuse jaoks optimeeritud. Kuna välisobjektide seadmed peavad tihti peale töötama keskkonnatingimustes, kasutatakse spetsiaalseid tööstuslikke seadmeid, millele on omane töövõime suurtes temperatuurivahemikes, kõrgendatud elektromagnetiliste häirete taluvus ja passiivjahutus. [3]

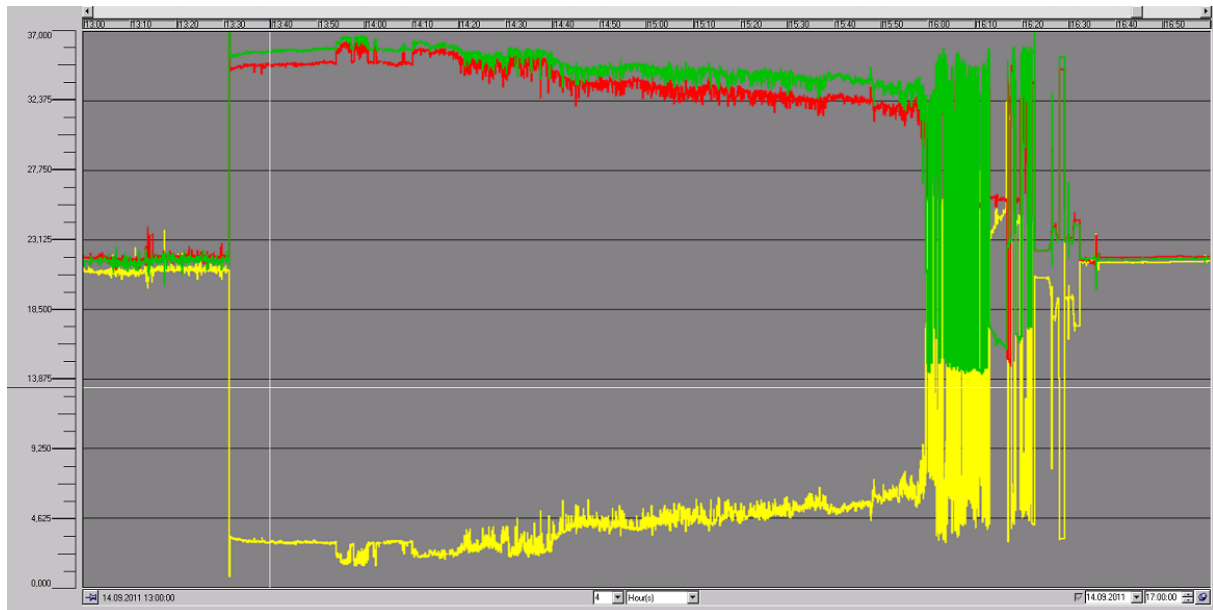
Juhtimikeskuses toimub välisobjektide signaalide kogumine ja töötlemine SCADA side- ja süsteemiserverites. Enamasti asuvad juhtimiskeskuses kohapeal süsteemi põhikasutajate operaatorite-dispetšerite tööjaamad, mille ülesandeks on graafilise HMI (*Human Machine Interface*) kuvamine (Joonis 2.2.). HMI on lihtsustatud interaktiivne kujutis välisobjekti skeemist, mis annab ülevaate hetkeseisust ning võimaldab kaugjuhtimise läbi viia. Samuti on tööjaamade vahendusel võimalik jälgida reaalajas süsteemis toimuvaid sündmusi. [3]



Joonis 2.2. Kaugjuhutava alajaama kujutamine SCADA's [3]

Üheks oluliseks SCADA komponendiks on nii-öelda Data Historian, mille andmebaasi salvestatakse pikalt tagasiulatuvalt SCADA mõõtmiste andmed (Joonis 2.3.). Selliste andmete

põhjal võib näiteks graafikuna kuvada elektrivõrgu korral trafode koormusi aasta lõikes ning selle põhjal hinnata investeeringute vajadusi. [3]



Joonis 2.3. 35kV faasi pinged lühise korral [3]

Andmete edastamiseks on tarvis sidesüsteemi. Tänapäeva fiideroptilised kaablid tagavad nii vajaliku läbilaskevõime kui ka suure häirekindluse ning on parasjagu laialdaselt levinud. Asukohtades, kus puudub ligipääs fiideroptilisele võrgule, on levinud ka mitmesuguste õhu kaudu levivate tehnoloogiate kasutamine. Küberturbe kaalutlustel edastatakse andmeid avalikest võrkudest eraldatult ja krüpeeritud kujul. [3]

2.6. SCADA jaotusvõrgus ja tulevikus tehisintellekt

Ühtne jaotusvõrk tekkis 1999. aastal ning oli vaja ühtlustada ka SCADA-d, kuna varasemalt eksisteerisid erinevad võrguettevõtted ning neil kõikidel olid oma juhtimissüsteemid. Aastal 2005 hakati tõsisemalt arutlema võimaluse üle koondada erinevad operatiivjuhtimispunktid kokku suureks juhtimiskeskuseks. Erinevate versioonide kaalumisel lepiti kokku tänases konfiguratsioonis, mis tähendas kahte üksteist dubleerivat juhtimiskeskust Tartus ja Tallinnas. Võib olla rahul nii algselt hangitud SCADA-ga kui ka peale uuendust saadud süsteemiga, kuid iga asi on hea omal ajal ning tänane ABB MicroSCADA ei vasta enam tänasele vajadustele. 2014. aastal märkis võrgutehnoloogia osakonna juhataja Kaspar Kaarlep MÕJU konverentsil, et võrk võiks olla kui tehisintellekt. Näiteks rikete ennetamisel saaks tehisintellekt meil aidata

välja selgitada, milline on iga seadme rikke tõenäosus igal ajahetkel või millal rike võiks esineda ja mis võiks olla rikke põhjuseks. Elektrilevi valikuks sai programmi „MARVIN“ algatamine. Selle esimene etapp on Elektrilevi uue juhtimissüsteemi ehk SCADA ostmise, mis on vältimatu ja selle arvelt säästmise on pikas perspektiivis väga kulukas. [3]

3. Küberturvalisus automaatikasüsteemides

Üldiselt on teada kolm kõige olulisemat infoturbe elementi: *information confidentiality* (info konfidentsiaalsus), *integrity* (terviklikkus) ja *availability* (kättesaadavus). Harilikes IT süsteemides kutsutakse neid elemente lühidalt nende olulisuse järgi CIA. [9]

Automaatikasüsteemide skoobis võib öelda, et eelnevalt nimetatud kolm elementi järjestuvad pigem teisiti. Olulisim on informatsiooni kättesaadavus, seejärel terviklikkus ning paraku viimasena tuleb turvalisus. [9]

Kuna automaatikasüsteemides liikuv informatsioon peab olema eelkõige kättesaadav, võivad märkimisväärset kahju tekitada DoS, ehk rünnakud informatsiooni kättesaadavuse pihta. Eriti tööstuslikes automaatikasüsteemides on oluline, et masinate talitluse parameetrid ning neilt tulevad signaalid on alati võimalik neist kätte saada. Kättesaadavuse tagamiseks peab süsteem olema võimeline end kaitsma DoS rünnete eest. [9]

Terviklikkus viitab informatsiooni kaitsmisele selle volitamata modifitseerimise eest. On vajalik, süsteem oleks võimeline avastama, kas seadmetest pärinev info on rikutud või mitte. Kui ründajal õnnestub informatsiooni muuta, siis sõltuvalt ründaja eesmärkidest, võib olla tegu palju hullemal olukorraga kui info kadumisega. Informatsiooni terviklikkus seega garanteerib, et juhul kui informatsiooni on volitamata muudetud, siis see avastatakse. [9]

Konfidentsiaalsuse all peetakse silmas info varjamist volitamata isikute eest. Seda on võimalik teostada kasutades näiteks erinevaid info krüpteerimismetoodikaid. Ründaja, kellel õnnestub informatsiooni pealt kuulata ei saa info sisust aru (juhul, kui andmevahetus on turvaliselt krüpteeritud). Täieliku info konfidentsiaalsuse garanteerib aga ainult füüsiliselt kaitstud sideinfrastruktuuri kasutamine. [9]

3.1. Pahavarade roll SCADA ajaloos

Pahavarad on rohkem kui 25 aastat rünnanud IT maailma. Alguses oli neid lihtne leida ja märgata, sest nad muutsid silmaga nähtavat materjali arvutis. Tänapäeval kõikvõimalikud pahavarad püüavad ennast varjata nii hästi kui oskavad, mis muudab nende leidmise raskeks. Majanduslikult motiveeritud küberkurjategijad kuritarvitavad sadu ja tuhandeid arvuteid, et raha teenida. Kuni hiljutiste sündmusteni tööstuslike automaatikasüsteemide sektorit pahavara märkimisväärselt ei puudutanud. [9]

Stuxnet, mis tõenäoliselt loodi aastal 2009, näitas esimese pahavarana maailmas, et küberturvalisuse probleemid ei puuduta ainult tavapärasest IT-maailma, vaid ka tööstuslikku automaatikasektorit. Kuna laialdaselt levinud operatsioonisüsteemid, nagu näiteks Windows, on kasutusel ka SCADA süsteemides, siis turvaaugud, mis puudutavad operatsioonisüsteemi, puudutavad samaaegselt ka sellega seotud tööstuslike automaatikaseadmete talitlust. [9]

Stuxnet on „worm“ ehk uss tüüpi pahavara, mis on võimeline ennast levitama ühest Windows arvutist teise arvutisse, mis kasutab samuti Windowsi operatsioonisüsteemi. Protsess toimub USB andmekandja vahendusel, seda kõike kasutajatele teadmata. Seega nakatunud arvuti ei pea olema ühendatud Internetiga, et nakatada järgmiseid arvuteid. Stuxnet kasutab *zero-day* turvaauke (turvaauke, mis pole veel parandatud/paigatud), mis sisuliselt tähendab, et on peaaegu võimatu end kaitsta Stuxnet-i nakatumise eest isegi juhul, kui Windowsi arvutit on pidevalt uuendatud tarkvara paikadega. [9]

Kui „worm“ tüüpi pahavara on ennast edukalt paigaldanud Windowsi masinale, siis ta on võimeline otsima automaatikasüsteeme. Täpsemalt, ta otsib Siemens Simatic tehase süsteeme ehk teisisõnu SCADA süsteeme. Kui Stuxnet ei leia SCADA süsteeme, siis ta püsib vaikselt ning ei soorita mingeid tegevusi. Juhul, kui Siemens Simatic SCADA automaatika süsteem leitakse, siis arvutiuss püüab muuta just kõrgsagedusmuundurite talitlust. [9]

Põhjus, miks Stuxnet on nii eriline peitub järgmistes kolmes asjaolus:

- Tegu on äärmiselt keeruka tarkvaraga, mis näeb välja suunatud ründega. Ainuüksi arvutiussi suurus (1,5 Mb) on ebatavaliselt mahukas pahavarade kohta.
- Stuxnet kasutab viite turvaauku, millest neli on *zero-day* turvaaugud. Ainult üks *zero-day* turvaauk maksab mustal turul umbes 50000 kuni 500000 dollarit, mis teeb Stuxnetist väga kalli pahavara.
- Selleks, et tegutseda nakatunud arvutis võimalikult nähtamatuna, on Stuxnet allkirjastatud varastatud sertifikaadiga. [9]

Kõik need kolm asjaolu eelnevat fakti ütlevad väga selgelt, et Stuxnet pahavara on loodud äärmiselt kogenud ründaja poolt, kelle valduses on märkimisväärsel hulgal ressursse. See tähendab, et professionaalsed ründajad suutsid rünnata tööstuslikke automaatikasüsteeme ning seejuures jääda tervelt üheks aastaks märkamatuks. Siinkohal on oluline mõista, et Stuxnet oli installeeritud väga paljudesse arvutitesse üle terve maailma, mille järel ta avastati. Me peame endalt küsima: „Kui oleks tegu suunatud pahavaraga, mis oleks installeeritud vaid 15 arvutisse, siis kas seda üldse leitaks?“. [9]

3.2. SCADA küberturvalisus maailmas

Tänapäeva tsivilisatsioon on suuresti sõltuvuses SCADA tööstuslikest automatiseeritud süsteemidest. Tuumaelektrijaamad, hüdroelektrijaamad, õli- ja gaasivõrgustikud ning paljud muud elutähtsad infrastruktuurid on ülesehitatud infotehnoloogiale. Nii ettevõtete sissetulek kui ka riiklik julgeolek sõltuvad kontrollsüsteemide turvalisusest. [9]

Tööstuslike süsteemide küberturvalisus pälvis suurt tähelepanu esmajoones mõned aastad tagasi – pärast mitmeid intsidente, mis hõlmasid enda all ka arvutiviirusi Flame ning Stuxnet. Nende sündmuste järel leiti, et välisriikide eriteenistused, konkureerivad ettevõtted või küberterroristid saavad kuritarvitada olemasolevaid ICS/SCADA/PLC infosüsteeme nende madala turvalisuse tõttu. [9]

Küberryumis toimuvate ohtude modelleerimine ning potentsiaalsete ründajate imiteerimine on hädavajalik ehitamiseks toimivat ja efektiivset turvasüsteemi. On tarvis mõista, mis oskusi ründaja valdab ning milliseid rünnaku skeeme on võimalik valida. Selleks, et vastata nendele küsimustele uurisid ettevõtte „*Positive Technologies*“ juhtivad eksperdid ICS süsteemide küberturvalisust ning koostasid vastava rapordi. [9]

Lähteinformatsioon „*SCADA safety in numbers*“ analüüsist pärineb erinevatest allikatest: haavatavuste andmebaasidest, müüjate teadetest, ründevektori pakettidest, teaduskonverentside aruannetest, spetsialiseeritud saitide ning blogide artiklitest. Rapordis on analüüsitud infot paljudest erinevatest allikatest, sest infoturbe spetsialistide ning ICS süsteemide müüjate vaheline kommunikatsioon on alles algusfaasis ning koostöö alles algamas. Põhiline probleem peitub ka asjaolus, et mitmed turvaaugud avaldatakse ilma vastava toote arendaja heakskiiduta.

Iga avastatud turvaaugu korral otsisid eksperdid üldiselt kättesaadavaid meetodeid, et kuritarvitada vastavat turvaauku. Seejärel andsid turvauguga kaasnevatele riskidele eksperthinnangu sõltuvalt probleemi tõsidusest. [9]

Siinkohal on oluline teada, et käesolevas paragrahvis välja toodud turvaaukude andmebaasid ning ründevektorite pakettid on üldsusele Internetis vabalt kättesaadavad. [9]

3.3. SCADA süsteemide tarkvara ja riistvaraga seotud turvaaugud

Täna sel päeval omavad SCADA süsteemid ja HMI liidesed märkimisväärselt suurt huvi küberründajate poolt. SCADA süsteemides avastati 87 turvaauku ning HMI liidestest vastavalt 49 turvaauku (Tabel 3.1.). [9]

Tabel 3.1. Turvaaukude arv ICS süsteemide komponentides [9]

Süsteemi tüüp	Turvaaukude arv
SCADA	87
HMI	49
PLC	20
Riistvara	11
Tarkvara	7
Võrguliides/Protokoll	1

Likvideeritud turvaaukude protsent annab selge ülevaate, kui tõsiselt võtavad ICS süsteemide müüjad infoturbe küsimusi. Tabel 3.2. tulemustest võib lugeda, et Siemens parandas ning väljastas turvapaigad 88% protsendile turvaaukudele, samal ajal kui Schneider Electric parandas vaid 56% oma toodete küberturbe haavatavustest. Madal parandatud turvaaukude protsentuaalsus viitab ettevõtte madalale huvile küberturvalisuse valdkonnas. Erinevate ettevõtete süsteemides leitud ning parandatud turvaaukude arv omab jaotusvõrgule indikatiivset väärtust – mida rohkem on parandamata turvaauke, seda ebausaldusväärsem on antud ettevõtte tarkvara. [9]

Tabel 3.2. Parandatud turvaaukude müüjate järgi [9]

Müüja	Parandatud turvaaukude, %
Advantech/Broadwin	91
WellinTech	89
Siemens	88
General Electric	80
Rockwell Automation (VAMP)	78
ABB	67
Schneider Electric	56

Enamus turvalisuse puudujäake (81%) on likvideeritud üsna kiiresti ja efektiivselt vastavate tootjate poolt enne, kui nad üldsusele ning Internetikasutajatele teatavaks saavad. See tähendab, et turvaauk on parandatud vähemalt 30 päeva enne kooskõlastatud turvaaugu avalikustamist. [9]

Teatavasti kui on kättesaadaval valmis tööriistad, et sooritada küberrünnakuid, on märkimisväärselt suurem tõenäosus, et rünnak on edukas. Nüüdseks on 35% kõikidele teatavatele SCADA turvaaukudele on publitseeritud spetsiaalsed exploiidid, mis on kättesaadavad kas osadena infoturbe testimistarkvarades, täiesti eraldi osadena või kirjeldatud infoturbe teadaannetes. [9]

Siinkohal tuleb mõista, et 35% on äärmiselt suur väärtus SCADA süsteemide ründevektorite kättesaadavuse kohta. See on mitu korda suurem, kui vastav väärtus harilikes IT süsteemides. Näitena võib tuua, et firmade SEL, Lantronix, Emerson ja Invensysi SCADA süsteemidele puuduvad ründamiseks valmis tööriistad. [9]

Seega võib öelda, et SEL, Lantronix, Emerson ja Invensysi SCADA süsteemide ründamise tõenäosus on tunduvalt madalam võrreldes SCADA süsteemidega, millele on väljastatud ründevektorid. Reeglina küberrünnak tööstusliku ettevõtte vastu on mitme-etapiline ettevõtmine, mida mängivad kogenud eksperdid, kes on võimelised leidma uusi SCADA tarkvarale spetsiifilisi ründevektoreid, mitte ei kasuta vabalt kättesaadavaid vahendeid. [9]

Turvaaugud, millele on loodud valmis tööriistad, kujutavad endast kõige suuremat ohtu ettevõttele. Kui turvaauk on kaardistatud ning avalikustatud ning sellele lahendust pole välja töötatud, siis tõenäosus, et süsteemi rünnatakse on äärmiselt kõrge. Olukorda teeb hullemaks asjaolu, et ründaja ei pea omama erilisi teadmisi SCADA spetsiifika kohta, sest tööriistad ründamiseks on juba olemas. See tähendab, et rünnakuid võivad läbi viia kõik inimesed, kellel on ligipääs Internetile ja tahtmine kahju tekitada ning kellel puudub otsene kasu ettevõtte kahjustamises. [9]

Kõige halvemas olukorras on Schneider Electricu SCADA, mille komponentides avastati kuus erinevat turvaauku, millele on Internetis vabalt kättesaadav ründevektor. [9]

3.4. Küberturvalisuse kokkuvõte

Tööstuslike infosüsteemide turvalisus on ajalooliselt jagunenud kaheks osaks – enne Stuxneti intsidenti ning peale seda. Alates aastast 2010 on leitud kakskümmend korda rohkem haavatavusi võrreldes eelneva 5 aastaga. Turvaaukude hulk kasvab kontrollimatult aastast

2012. Turvaaukude arv, mis on leitud eelmise kümne kuu jooksul, on märkimisväärselt suurem kui on leitud neid aastast 2005 kuni 2012 alguseni. Teisisõnu, turvaaukude arv on kasvanud kakskümmend korda ning keskmiselt kulub rohkem kui üks kuu iga viienda haavatavuse parandamiseks. [9]

Turvaauke leitakse peamiselt enimlevinud tarkvaradest ning riistvaras, mille korral üldjuhul suured ettevõtted likvideerivad leitud probleemid suhteliselt kiiresti. Vaatamata sellele iga viienda turvaauku parandamine ei olnud sooritatud 30 päeva jooksul alates selle leidmisest. Umbes 65% turvaaukudest on hinnatud kui kõrge või kriitilise raskusastmega. Selline kõrge number ületab oluliselt IT süsteemide sarnaseid indekseid, mis sisuliselt näitab kui madal on ICS süsteemide tegelik infoturbe tase. Iga teine turvaauk lubab ründajal käivitada suvalist koodi rünnatud ICS süsteemis. [9]

Rohkem kui 40% avalikus Internetis olevad SCADA süsteemidest on siiani turvaaukudega ning on häkitavad mitteprofessionaalsete ning koolitamata pahavara kasutajate poolt. Kõige rohkem avalikus Internetis paiknevaid SCADA süsteeme asub Ameerika Ühendriikides ning Euroopas. See demonstreerib nende regioonide mõtlematut suhtumist küberturvalisusesse võrreldes teiste regioonidega. [9]

Rohkem kui kolmandik turvalisuse vigadest ICS süsteemides on põhjustatud konfiguratsiooni vigadest, kuhu hulka on arvestatud ka vaikumisi paroolid. Neljandik turvalisuse vigadest ICS süsteemides on põhjustatud vajalike tarkvara paikade puudumisest. [9]

Jaotusvõrgu jaoks omab indikatiivset tähendust, et ka Elektrilevil peab oma sideseadmete seisukorral silma peal hoidma ning esimesel võimalusel turvalisusega seotud uuendusi sisse viima. On selge, et häkkeri jaoks on vaja ainult ühte süsteemi haavatavust. See tähendab sisuliselt seda, et iga turvalisuse uuenduseta jäetud seade sisaldab turvaauku, mille kaudu on võimalik süsteemi sisse saada ning vastavalt oma eesmärkidele kahju tekitada. Turvaaukudega süsteemi võib seega lugeda poolikuks, ebaturvaliseks. [9]

4. SCADA turg

4.1. ABB microSCADA

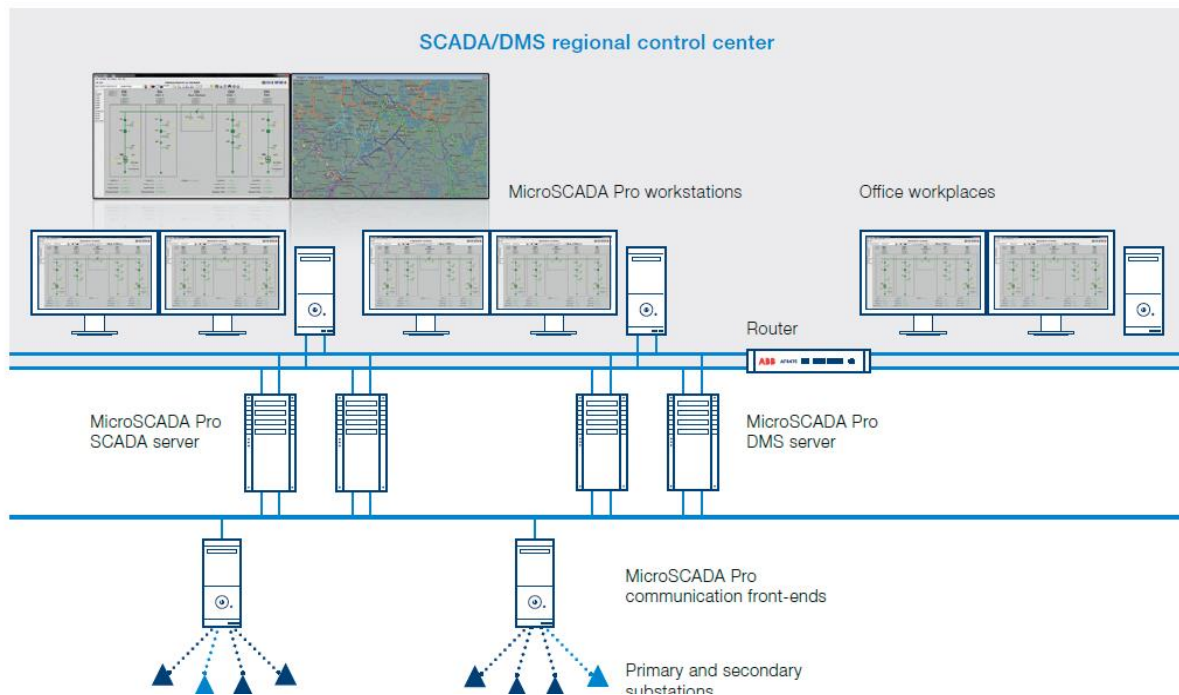
MicroSCADA Pro omab kõiki funktsionaalsusi, mida oodatakse modernselt SCADA/DMS süsteemidelt. Funktsionaalsused põhinevad arenenud ja tõestatud algoritmidel, näiteks rikkekoha lokaliseerimiseks ning kui ka võrgu olukorra taastamiseks ja uuesti konfigureerimiseks. Traditsioonile SCADA funktsionaalsus nagu reaalajas võrgu jälgimine on täiustatud arenenud DMS'i võrgu andmebaasiga. See võimaldab kasutada uusi reaalajas juhtimis aplikatsioone võrgu paremaks jälgimiseks ja voolukatkestuste haldamiseks. Hetkeliselt arvutatakse välja lühise või rikke asukoht pikki kõrgepinge fiidrit ning kuvatakse reaalne rikke asukoht geograafiliselt kaardil. [10]

MicroSCADA Pro väldib samaaegset lülitamist primaarseadmetes. Enne lülitamist reserveeritakse seade ja vaadeldakse kas antud objekti on võimalik juhtida enne käsu andmist. Lisaks blokeeringuga skeemid, mis aitavad välistada operatsioone, mis võivad tekitada kahju primaarseadmetele. Dünaamiline võrgu erivärvide funktsioon annab operaatorile kiire ülevaate pingestatud, pingestamata liinidest ja ka maandatud võrgu osast. [10]

Lülitamiste kava funktsioon toetab planeerimis, simulatsiooni, täitmise ja aruandlust korralise hoolduse seisakute operatsioone. Intelligentsed algoritmid optimeerivad automaatselt lülitamiste kava järjekorra, et mõjutada kõige vähem klientidele tekkivaid katkestusi. Antud lülitamiskavad on võimalik ka välja printide ettevõtte enda poolt loodud lülitamiste kava alusele. Lülitamise planeerimine võtab ka arvesse võrgu tehnilised omadused, pingelangud ning koormuste tasemed erinevatel liinidel. Lülitamiste kavade algoritmid välistavad primaarseadmete vigastused, koormates ning lülitades liine vastavalt neile määratud releekaitse sätetele. [10]

Täiustatud võrgu juhtimissüsteemi funktsionaalsus vähendab katkestuse aega tundidelt minutiteni. Süsteem registreerib andmed rikkevoolude või –takistuse kohta kaitse ja kontroll kohtterminalidelt (IED). Samuti kasutatakse ka fiider terminalüksuste (FTU) ja rikke indikaatorite andmeid. Koos nende andmetega arvutatakse võrgu eeldatav rikke asukoht ning operaatorile kuvatakse soovituslik lülitamise kava kiireimaks ja ohutuimaks võrgu olukorra taastamiseks. Rikke olukorras on võimalik ka kasutada GPS'il põhinevat brigaadi majandamis süsteemi, mis võimaldab leida lähima üksuse rikke asukoha läheduses. Samuti võimaldab süsteem pakkuda kliendile parimat teenust, teavitades neid kliente koheselt, kes on rikkelisest

katkestusest mõjutatud. Süsteem on võimeline kasutama ka andmeid kaugloetavatest arvestitest ning nende põhjal võimeline tuvastama rikke asukohti, pingete kõikumisi ja andmeid tarbimise kohta.



Joonis 4.1. ABB MicroSCADA Pro juhtimis arhidektuur [10]

SCADA/DMS regionaalne juhtimiskeskus suure või keskmise suurusega jaotusvõrgudele. Süsteem koosneb eraldi koondatud DMS'i ja SCADA süsteemi serveritest, mis on ühendatud piirkonna ja jaotusalajamadega ning ka kaugjuhitavate lülititega (Joonis 4.1.). [10]

Küberturvalisus

Suur hulk küberjulgeoleku omadusi, mis kaitsevad süsteeme kuritarvitamise või vandalismi eest on lisatud MicroSCADA Pro portfelli. Omadused hõlmavad näiteks:

- kasutaja autentimine
- paindlikud kasutaja load
- seansi kasutusaeg
- kommunikatsiooni krüpteering
- sündmuste logi
- aruandlus. [10]

Programmi on võimalik ka sätestada tööstus standardi pahavara ja sissetungikaitse lahendusi nagu viirusetõrje ja lubatavate rakenduste nimekiri. Küberturvalisus tagatakse kogu süsteemi

elutsükli jooksul, alustades arenduses ja lõppedes operatsiooni tsükli juures. MicroSCADA vastab rangetele SCADA/DMS süsteemi julgeoleku vajadustele ning samal ajal võimaldab teabe jagamist osakondade vahel ja üksikisikutelt ettevõtte siseselt. Kaasaegsed turvalisuse tehnoloogiad nagu tulemüürid tagavad pideva süsteemi turvalisuse ja keelavad pahatahtlikud rünnakud ning volitamata juurdepääsud. Näiteks aruande andmebaas, mis vajab ligipääsu paljude inimeste poolt, võib paigaldada väljapoole SCADA/DMS võrku ja kaitsta seda tulemüüri. [10]

Kasutajasõbralikkus

MicroSCADA pakub kaasaegseid projekteerimis vahendeid süsteemi integreerijatele, koos projekteerimis tööriistade komplektiga, arhiiviga, mis sisaldab juhtimisdialoge ja protsessi objektide sümboleid. See kiirendab projekteerijate tööd alajaamade ja liinide projekteerimisel. Programm võimaldab kopeerida alajaamu ning seadmeid ja teostab nendevahelisi ühendusi automaatselt. [10]

Unikaalne andmete peegeldamine funktsionaalsus võimaldab protsessi andmeid peegeldada erinevate serverite vahel ilma lisäühendusi loomata. Seda funktsionaalsust saab kasutada projekteerimisel hierarhilistes süsteemides mitmetel tasanditel. Näiteks kohalikud SCADA/DMS süsteemid saavad edastada protsessi andmeid piirkondlikku juhtimiskeskusesse, mis omakorda edastab andmed peamise juhtimiskeskusesse. Andmete peegeldamist saab rakendada ka selleks, et jaotada erinevate süsteemide vahelist töötlemis kiirust optimeerides arvutis saadaolevat protsessori võimsust. [10]

Dispetšeri seisukohalt võimaldab süsteem filtreerida alarmide hulka, neid klassifitseerida ja kokku liita. Sündmuste nimekirjas näeb dispetšer nii enda kui ka teiste sooritatud operatiivtegevusi võrgus ning kinnitusi sooritatud tegevustele. [10]

MicroSCADA Pro toetab Windows operatsiooni süsteeme, mis teeb lihtsamaks integreerumise teiste aplikatsioonidega ja andme vahetusega. AutoCAD'i jooniseid, dokumente ja Exceli tabeleid on võimalik lisada objektidele. Neid on võimalik otse avada ja muuta läbi MicroSCADA süsteemi. [10]

4.2. Mikronika

SYNDIS süsteem on Mikronika lipulaev muude teenuste kõrvalt mitte ettevõtte pakub. See disainiti 90'ndate alguses, et toetada dispetšsüsteemide opereerimist ja kaitsmise teenust alajaamades. Mõne aastaga arendati ja laiendati SYNDIS süsteemi paljude moodulitega, et selle kasutusala arenes edasi elektrienergia tööstusest. Seega on süsteemi võimalik kohandata vastavalt kasutaja vajadustega. SYNDIS toetab kliente alljärgnevatel majandusüksustel:

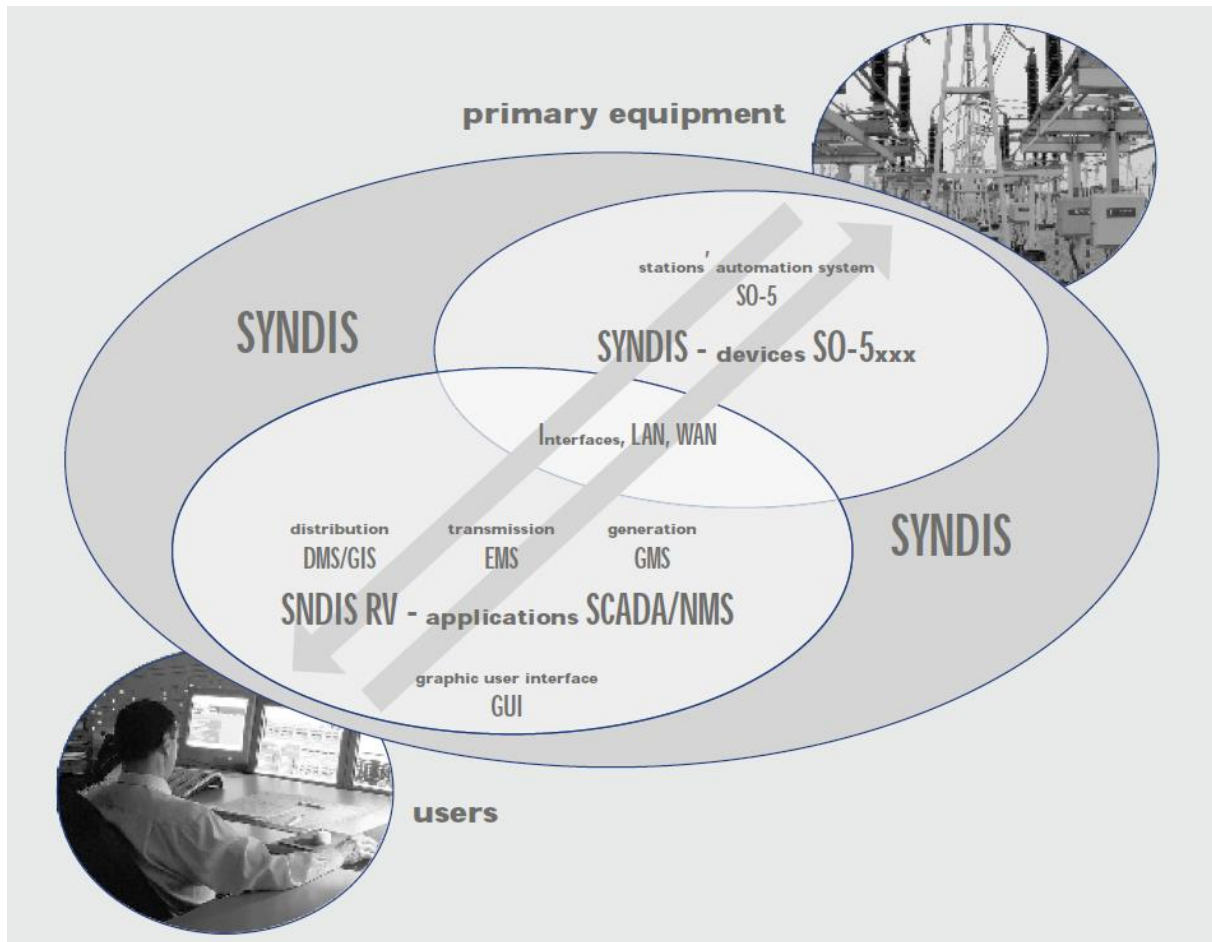
- Elekter – elektrivõrk, jaotusvõrk, SCADA/DMS/NMS süsteemid, elektriturg.
- Kaevandus – kaevandamise etappide kontroll.
- Metallurgia – tehnoloogia protsessi jälgimine.
- Telekommunikatsioon – raadio ja televisiooni levi jälgimine.
- Sooja tootmine – soojussõlmede seire.
- Turvasüsteemid – seiresüsteemid. [11]

SYNDIS süsteem toimib klient-server arhitektuurina. Nende peamiseks lahenduseks on see, et reaajas toimuvad protsessid on eraldatud andmete esitlemisest ja töötlemisfunktsioonidest. Nii serverid kui ka SYNDIS terminalid võivad töötada erinevatel operatsioonisüsteemidel. Graafilist kasutajaliidest kasutatakse seadmete oleku kuvamiseks ning dünaamiliste protsessi muutuse näitamiseks. Süsteemi funktsioonid on läbi viidud kasutades seda liidest. Andmeid on võimalik esitada mitmekihilisel skemaatilisel diagrammil või geoalusel. Kaudne ligipääs seadmetel on võimaldatud ka läbi veebi brauseri terminalide. [11]

Põhiomadused:

- Usaldusväärsus – kvaliteet on tagatud testi meetodikal ja tehnoloogia eeskirjade kompromissitu jälgimine ja kõrgkvaliteetsete komponentide kasutamine.
- Universaalsus – süsteemi moodulite ja funktsionaalsuse ulatust saab valida vastavalt rakendusele.
- Mastaapsus – süsteemi on võimalik kasutada väikeste ja suurte projektidega.
- Ökonoomsus – madal ostu- ja kuluhind, süsteemi funktsionaalsus sobib tuntud tootjatega.
- Multioperatiivsus – iga töökoht võimaldab kasutaja ligipääsu valitud moodulitele, eriti läbi veebibrauseri.
- Ühilduvus – SYNDIS on avatud süsteem. Eesmärk on teha kogutud andmed saadavaks teistele.
- Selgus/loetavus – võrgu struktuuri on võimalik esitada vastavalt kasutaja soovile.

- Iseseisvus – tänu tehnilistele lahendustele on süsteem sõltumatu tarkvara ja riistvara platvormist. Süsteemi komponendid on võimelised koostööd tegema erinevate seadmetega nagu relekaitsed, arvestid ning tarnijate juhtseadmed.
- Turvalisus – süsteemi pääsevad ligi ainult volitatud isikud, kõik tegevused registreeritakse. Korduv kinnitus on tagatud, et vältida vigu, mis tekivad rutiiniga. [11]



Joonis 4.2. Mikronika struktuur [11]

SYNDIS on integreeritud NMS klassi tarkvara, mis on mõeldud jälgima võrku ja kõiki tüüpe alajaamu. SCADA moodulid antud riistvaras tagavad objektide ühenduse, tulemuslikku mõõtmise, kontrolli ning järelvalve. DMS/EMS/GMS moodulid reguleerivad SYNDIS’st vastavale protsessile jaotuses, edastamises ja tootmises (Joonis 4.2.). [11]

- SCADA: See kiht mida nende süsteem kontrollib, teeb mõõtmisi ning kontrollib seadmeid reaalajas läbi serveri või kohaliku juhtimiskeskuse. Arhiveerimise ja sündmuste logi funktsioonid toimuvad samuti. SYNDIS SCADA süsteemid koostöötavad andme kontsentraatoritega ja teiste telemeetriliste seadmetega.

Visualiseerimine ja järelvalve sekundaaralajaamade ahelatele või automaatahelatele, kaitsmetele, rikkesalvestitele on tagatud.

- DMS: Analüüsib objektide andmeid, et tuvastada ja hinnata nende olekuid ja operatsioonide täpsust seadmete liitmisel ja kaitsmisel. DMS moodul aitab organiseerida meeskonna töö juhtimist, varade haldamist, hoolduse planeerimist ja kulude analüüsi. Võimaldab aruandlust käimasolevatest töödest, inspeksioonist, mõõtmistest ja kaitse seadmetest. Need moodulid kombineerivad ka võrgu haldamist ärijuhtimisfunktsiooni süsteemiga nagu planeeritud ja planeerimata lülitamise graafikud, energia kvaliteedi hinnang ja andmete edastamine energia turule.
 - GIS: Ainulaadne graafiline kasutajaliides, mis on seotud objekti andmebaasiga. Teostab kaartide, skeemide, plaanide esitluse.
 - EMS: Funktsioonid mida nõuab efektiivne energia voolu juhtimine, pakub moodul EMS. Efektiivsuse jaoks on oluline, et mõõtmisandmed pidevalt arhiveeritakse. Koormuse kalkulatsioonid ja optimaalne energia kasutus toetavad elektrituru osalust.
 - GMS: Funktsioonid, mis on vajalikud energia tootmiseks, pakub antud moodul. GMS'i peamiseks eesmärgiks on toetada koormuse prognoosi ja optimaalset ressursi kasutust.
- [11]

4.3. Netcontrol

Netcon 3000 SCADA süsteem on kaasaegne leidlik järelvalve, kontrolli ja andmete omandamise süsteem energia tootmise ja jaotamise protsessides. Kasutatakse uuemat tehnoloogiat, et pakkuda leidlik, paindlik ja avatud süsteem, mis annab palju eeliseid kasutajale. Kasutajaliideses rakendatakse modernsemaid protsessi ja objekti graafikat, kasutades komponendi tehnoloogiat, mis võimaldab integreerida informatsiooni mitmest allikast sama kasutajaliidese graafikasse. [12]

Modulaarne tarkvara, avatud süsteemiga ja hajutatud arhitektuuriga kombineerituna Netcon 3000 parandab paindlikud ja usaldusväärsed teenused tööks reguleerimata jaotusvõrgus, hoides püsikulud madalal. Kommunaalteenustes ärilise eelise saavutamine sõltub sellest, kui hästi suudavad seadmed edastada andmeid reaajas tehaste infosüsteemides nii seespool kui ka väljaspool oma ettevõtet. [12]

4.4. PSI

Suured investeeringud energia tootmises, ülekandes ja jaotamises on aastate jooksul taganud inimeste elektrienergia nõudluse. Juhtimiskeskuse dispetšerite ja spetsialiste ülesandeks on leida parim ja tõhusaim paigaldatud süsteemi kasutamine. SCADA/DMS on vahend, mis aitab operaatoritel hoida ülevaadet suurtes võrkudes ja kontrollida energiaga seotud protsesse optimaalselt. [14]

PSIcontrol töötati välja, et suurendada ulatuslikku tootlikkuse kasvu strateegilises võrguhalduses. Lahendus võimaldab väiksel operaatorite meeskonnal tõhusalt hallata suuri võrke koos tihedate võrgutaristutega. Stabiilsus ja usaldusväärsus säilitatakse isegi ekstreemse info sissevoolu korral. Juhtimissüsteem koosneb mitmest struktureeritud tasemest. Pudelikaelad tavaliste tsentraalselt organiseeritud master-slave süsteemides ei ole enam PSIcontrol arhitektuuris probleemiks. [14]

Andmete haldamisesüsteem on vastutav kõikide töökorralduslike aspektide eest võrgu juhtimissüsteemis. PSIcontrol tehnilised funktsioonid on programmeeritud andmete koondamiseks, mis tagab töökindluse ja kontrollsüsteemile töökindla stabiilsuse. Muud omadused on hallata andme mudelite muudatusi ja modelleerida toitevõrku andes süsteemi operaatoritele rohkem juhitavust. PSIcontrol tarkvara andmete kvaliteet on kõrgetasemeline ning võimaldab parimat integreerumist võimalusi IT maailmas. Tarkvara sisemine struktuur on eraldatud, et tagada iga komponendi funktsioon töötaks parimalt, kuid komponentide vaheline sünergia võimaldab luua sidusa ja intuiitiivse tööriista. [14]

PSIcontrol ülesanne on koondada, visualiseerida ja edastada teavet operaatorile, et nad saaksid kiiresti ning koheselt mõista ja reageerida olukorrale võrgus. Suurenevad kulud sunnivad energia pakkujate tehnilised võimalused piirini kuhu enam edasi pole minna. Tarkade võrkude arenguga ja kaugloetavate arvestitega on info maht võrgus kasvanud. Kuna see trend jätkub, siis nõutakse järjest paremaid, tõhusamaid funktsionaalsusi. Positiivne on see, et suurema andme hulgaga saab teostada paremat võrgu analüüsi. Tänu silmapaistvatele dünaamilistele karakteristikutele ja põhjalikult suurema lisandväärtustega on PSIcontrol ideaalselt varustatud, et tulevikus antud ülesannetega tegeleda. [14]

Võrgu suuruse kasvades suureneb ka personali vajalik võrgu juhtimis treening. PSI arendatud simulaatorid pakuvad treening rikete stsenaariume ülekande- ja jaotusvõrkude süsteemides. Kasutatakse täpseid võrgu andmeid antud võrgus, kus dispetšer treenib ning simulatsiooni saab käivitada igas tööjaamas. Võrgu rakendused on erakordselt lühikese ja kiire arvutusajaga, mis

on kasulikud realistliku võrgu kaitse seadmete projekteerimisel. Modelleerides kõiki erinevaid releekaitse sätteid, siis see annab väga hea ülevaate võrgu turvalisusest erinevates rikete olukordades. [14]

Piirkonnad, mis on erinevatel fiidri toitel on topoloogiliselt eri värvi, et operaatoril oleks hea ülevaade. Rikke analüüs annab dispetšerile ülevaate rikke ulatusest ning annab soovitatava lülituse korra, kuidas kõige kiiremini ja ohutult rikke likvideerida ning klientidele toide taastada. Maalühise korral antakse samuti parim lülitamiste kava kuidas rikkeline võrguosa eraldada. [14]

PSIcontrol on varustatud ulatusliku arvutus programmidega kõikides tarnesektorites.

Kõrge automatiseerituse tase, kasvav elektrivõrk, laialdane energia transport, taastuvenergia osakaalu suurenemine, need fraasid on võetud arvesse arendustöös. PSIcontrol kõik arvutusmoodulid on arendatud 100% ettevõtte siseselt. Seega ollakse valmis erinevatele muudatustele energeetika maastikul. [14]

PSIcontrol saadaval võrguarvutus funktsioonid:

- seisundi hindamine
- koormusvoogude simulatsioon
- lühise analüüs
- kulude analüüs
- koormusvoogude optimeerimine
- pudelikaelade optimeerimine
- sõlme koormuste optimeerimine
- lahutuspunktide optimeerimine. [14]

Riigid kus PSI suurimaid kliente leiab: Malaisia, Tai, Iraan, Omaan ja Rwanda. [14]

4.5. OSI

OSI SCADA platvorm on detailrohke ja paindlik platvorm, mis pakub reaajas jälgimise ja juhtimise rakendusi erinevatele protsessidele. SCADA põhineb nende endi arendatud monarhi arhitektuuril, mida saab vastavalt ümber kohandada mõõtepunktide arvu järgi. SCADA on võimeline jälgima paarisajast kuni miljoniteni andmepunktideni. [15]

Paljud kliendid on rakendanud OSI SCADA platvormi terves ettevõttes. Jälgides alajaamu, elektri jaamu, jaotusvõrke ja ülekandevõrke, mis põhinevad samal tehnoloogial. Platvorm võimaldab koondada ja vähendada tehnoloogia investeeringuid, et toetada süsteemide hooldust ning samal ajal ära kasutades rikkalike toimimisprintsippe, mis ei ole leitav madalama tasemega platvormidel. Paindlik ja astmelise hinnaga mudel võimaldab OSI SCADA't efektiivsemalt rakendada igas suuruses elektri, gaasi, nafta, transpordi valdkonnas. [15]

OSI SCADA moodulid:

- OpenView – graafiline kasutajaliides (GUI) monarhil põhinevatele automaatsetele süsteemidele. Integreeritud, suure jõudlusega reaajas andmebaasi haldamise ja rakenduste arendamise platvorm, mille eesmärk on olla järjekindel ning suudaks luua keskkonna, mis toodab täpseid, reaalaja automaatika ja juhtimis rakendusi.
- OpenTrend – Suure jõudlusega tendents, mis toetab reaalaja, ajaloo suunitlusi ning arhiivi taasesitlust. OpenTrend süsteem on võimeline analüüsima kõiki reaalaja, arvutatud või rakenduse poolt loodud andmeid süsteemi andmebaasist.
- OpenSCADA – Avatud, paindlik, detailirohke SCADA tarkvara toode. Kasutades koos teiste monarh tarkvara moodulitega, siis saab väga tõhusa reaajas info juhtimise ja kontrolli, mida nõuavad juhtimiskeskused.
- OpenFEP – Moduliseeritud allsüsteem, mis haldab kogu sidet RTU'dega ja IED'dega. Kasutades avatud standard protokolle ja pärandprotokolle.
- OpenHIS – Paindlik tarkvara süsteem reaalaja arhiveerinduses ja arvutusliku andmetega. Teotab SQL andmebaase.
- OpenICCP – Optimaalse jõudluse jaoks on rakendatud standardiseeritud ICCP protokoll, millel on lihtne konfiguratsioon ja hooldus. OpenICCP moodulit saab rakendada kui eraldi moodulit või integreerida olemasolevasse moodulisse.
- CHRONUS – Moderne, väga tõhus andmebaasi rakendus, mis spetsiaalselt loodud andmete kogumiseks ja massiliste reaalaja andmete arhiveerimiseks.
- OpenCalc – Arvutamise analüüsi allsüsteem, mis on integreeritud arenduskeskkonnaga. Monarhi platvormi kasutajatel on võimalik disainida ja luua ise kohandatud arvutusloogika või keerulise kontrolli ja jälgimis rakenduste jaoks.
- ViewPoint – Võimas järgmise põlvkonna alarmide jälgimissüsteem. Vajalikud alarmid, mis on kriitilise tähtsusega esitatakse operaatorile esimesena ning esitatakse piisav alarmide hulk kriitilises olukorras, et tekiks piisav ülevaade.

- Advanced Tabulars – Kasutatakse, et dünaamiliselt kuvada ja suhelda andmetega, mille on loonud OSI automaatika tarkvara rakendused. Spetsiaalselt loodud, et parandada süsteemi paindlikkust, olukorra ülevaatlikkust ja kasutaja sõbralikkust läbi kaasaegsete liidese funktsioonide.
- DataExplorer – Põhjalik keskkond hooldusmeeskonnale, et viia läbi muudatusi süsteemi andmebaasis. DataExplorer võimaldab kooskõlastada muudatusi monarhia süsteemis moodsa kasutajaliidese abil.
- Desing Studio – Studio on loodud projekteerijatele, mis sisaldab mitmekesiseid tööriista komplekte, kasutajasõbralikku ekraani haldurit, mille eesmärgiks on hõlbustada ja lihtsustada projekteerijate tööd. Kasutatakse planeerimiseks, disainimiseks, arendamiseks ja OpenView GUI graafilise, tabelite ja ikoonide säilitamiseks.
- EpiLog – Võimas ja mitmekülgne digitaalne logi süsteem, mis on spetsiaalselt loodud et varustada püsivat ja otsitavat varamut. EpiLog efektiivselt tagab süsteemi operaatoritele logide ja sündmuste salvestuse ning hiljem taasesitluse.
- OSI Voyager – Turvaline veebipõhine rakendus, mis võimaldab vaadata süsteemi ekraane läbi arvuti või telefoni. Õigusega kasutajad saavad vaadata topoloogilist kaarti, alajaama, liine reaalajas või nende andmeid tabeli kujul. Võimalik on ka skeemida suurendamine ja liigutamine. [15]

4.6. Alstom

Alstom integreeritud DMS (IDMS) on komplektlahendus koosnedes järgnevatest moodulitest: SCADA, DMS, OMS ja DR-GR (*Demand-Response - Distributed Generation* / nõudlus-põhine hajaenergia tootjate juhtimine). IDMS vähendab rakenduste integreerimise keerukust, juurutamishinda ja üleüldist maksumust. Platvorm on SOA (*Service-Oriented Architectures*) põhise arhitektuuriga. Komplektlahenduse abil saavutatakse parem omavaheline koordineeritus võrgu optimeerimiseks ning kliendihalduseks. Läbi parema integreerituse parandatakse ka operatiivbrigaadide turvalisust, saades parema ülevaate seadmete toiteseisunditest. Toode on kohandatud individuaalse madalpingetarbija integreerimiseks geograafilises ja elektrilises kontekstis läbi kaugloetava arvesti. [16]

Rikkeolukorrast annab ülevaate võrguvaade ja kaugloetatavalt seadmetelt saabunud veateated. Lahendus võimaldab hallata hajatootmise, energiasalvestiste ning järjest populaarsemaks

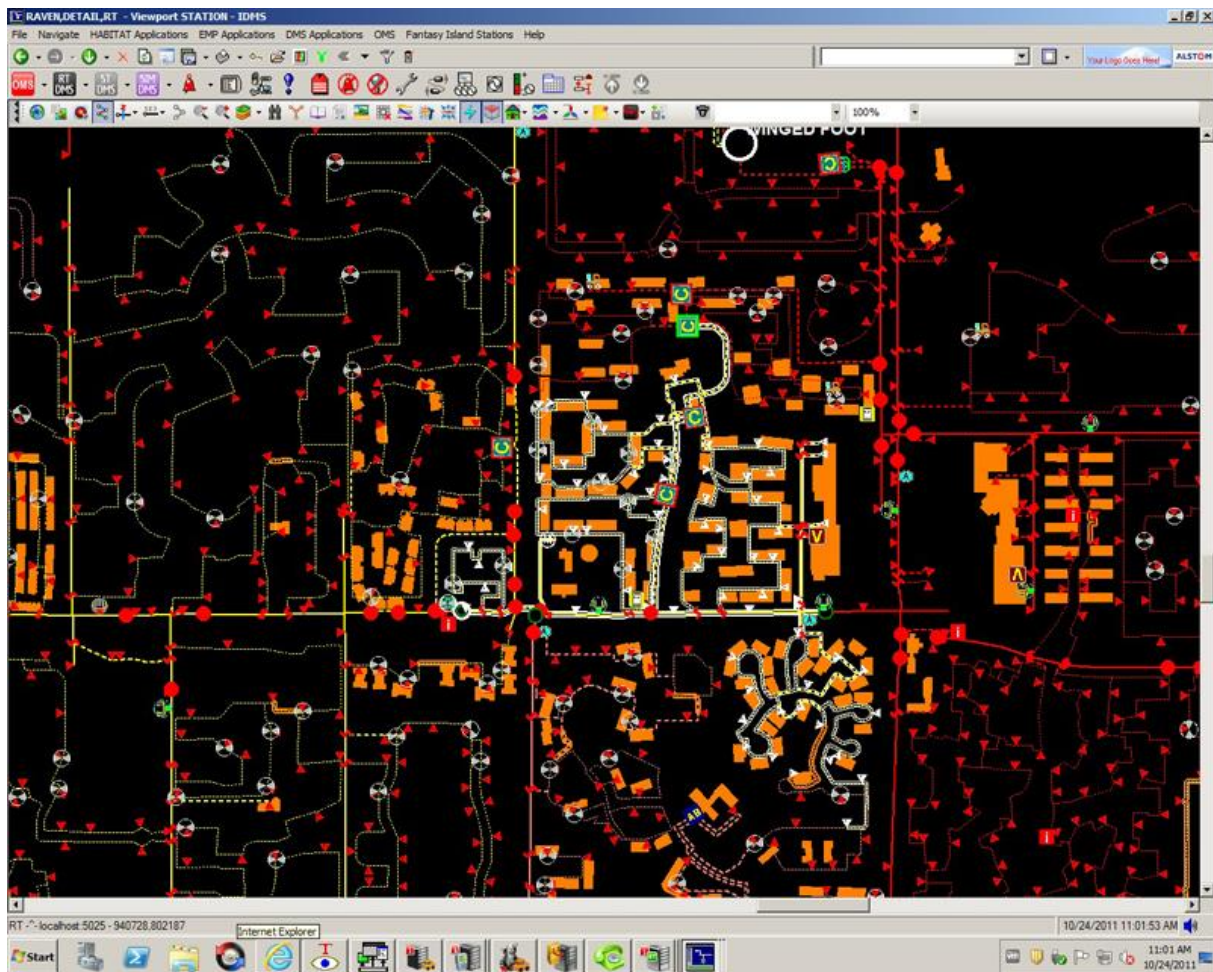
muutuvate elektriautode poolt koormatud võrku hajaenergia ressursside haldamises süsteemi (*DERMS - Distributed Energy Resources Management System*) juhtimis- ja analüüsi-võimekuse abil. [17]

Alstom on kaasatud standardite arendusprotsessi (NERC, CIP, WS-Security, DNP3 Secure Authentication ja IEC 62351). Kasutatakse IEC 61968 informatsioonimudelit, pakkudes paindlikku suhtlust teiste ettevõtete seadmetega, lihtsustades ühilduvust ning hooldust. [17]

e-terradistribution IDMS rakendused:

- katkestuste haldus
- võrgu analüüs
- võrgu optimeerimine
- lülitustegevused
- võrgu simulaator
- võrgu juhtimiste arhiiv. [17]

Võrguvaade on IDMS baasrakendus, mis annab ühtse graafilise ülevaate (geograafilise või skemaatilise) miljonisõlmelisest süsteemist (Joonis 4.3.). Võrku saab kuvada üheaegselt tööarvutites, suurel seinakraanil, jagada operatiivbrigaadidega ning ettevõtte juhtidega. Operatiivbrigaadid ja dispetšer saavad teostada ja vaadelda kõiki SCADA, DMS või OMS funktsioone ühes kasutajakeskkonnas - vahetamata süsteemi või kuvarit. Kogu dispetšeri poolt sisestatud info on saadaval kõikidele võrgu dispetšeritele. Tormide ajal saab dispetšerite arvu suurendada. On-line tarkvara uuenduste ja hoolduste käigus ei toimu tarkvara toimimises katkestusi. e-terradistribution pakub ühtlast navigatsiooni funktsioonide vahel ja teiste rakendustega nagu SCADA. [17]



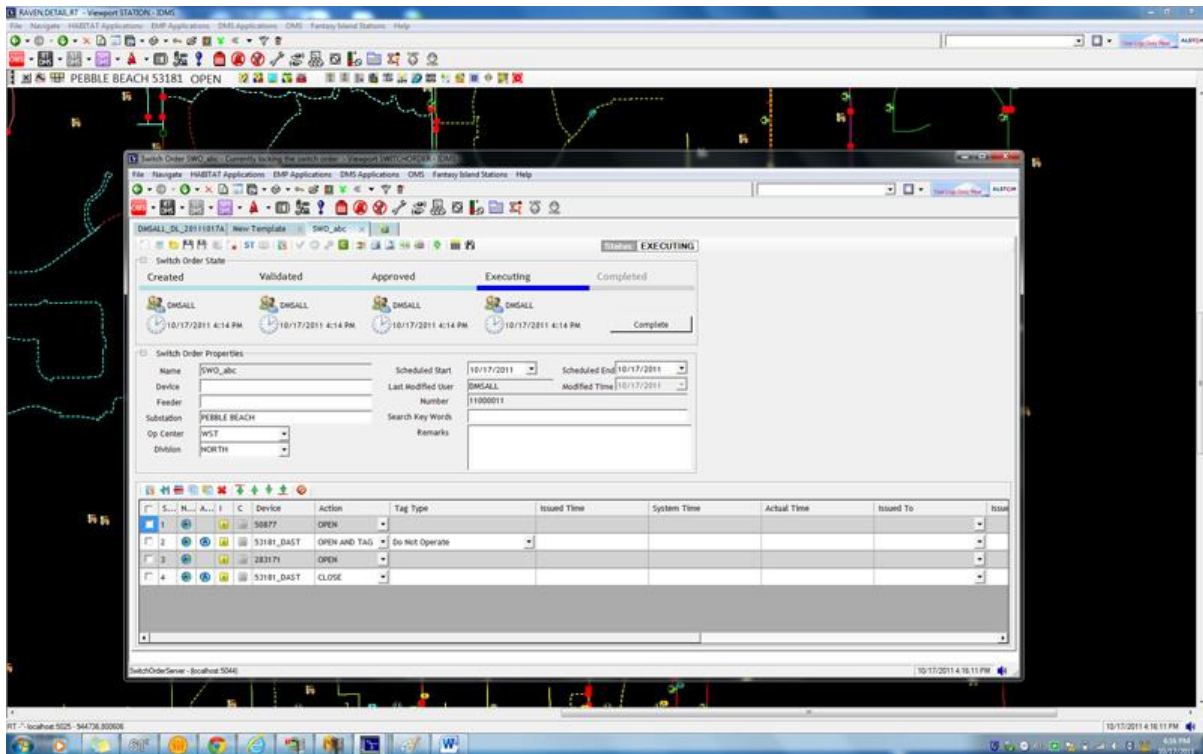
Joonis 4.3. e-terrastribution tööaken ilma taustakaardita [18]

Navigeerimistööriistad:

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> zoom, panoraam ja re-tsentrimine | <input type="checkbox"/> operaatori teated |
| <input type="checkbox"/> navigeerimise üldvaade | <input type="checkbox"/> võrgu jälgimine |
| <input type="checkbox"/> ajutiste võrgumodifikatsioonide ülevaade | <input type="checkbox"/> topoloogiline töötlemine näitamaks reaajas koormatuse taset |
| <input type="checkbox"/> automaatne elumupiirkonna maa-aluste võrguskeemide genereerimine | <input type="checkbox"/> seadme ja kliendi otsing |
| | <input type="checkbox"/> planeeritavate ehitiste <i>layer</i> |
| | <input type="checkbox"/> tabulaar-kuvaaknad. [17] |

Lülitustegevuste haldamise rakenduse abil sooritatakse lülitusi plaanilise hoolduse, võrgu rekonfigureerimise, toite taastamise ja võrgu laiendamise eesmärgil. Ohutusdokumendid edastatakse operatiivbrigaadile, mis kindlustab, et vajalik võrgu osa on välja lülitatud ja ei ole normaalselt juhitav eemalt. Lülitustegevuste haldur väljastab lülituste kava struktureeritud

lülituste järjekorraga, mis koordineerib ja salvestab dispetšerite ja operatiivbrigaadide sooritatud lülitusi. Lülituskava koostamisel valitakse soovitud lülitid ja lisatakse need lülituskäsku. Lülituskava saab koostada ka geograafilisest vaatest. Lülituskavu on võimalik salvestada ka taaskasutamiseks (*macro, template*). Joonisel 4.4. on kujutatud e-terradiistribution lülituskava. [20]



Joonis 4.4. Lülituskava [18]

Automaatselt saab lülituskäsked genereerida FDIR, AFR (*Automatic Feeder Reconfiguration*) ja POS (*Planned Outage Study*) rakenduste abil. Lülituste haldamise rakendus vajadusel juhendab ja jälgib, et lülitused saaks korrektselt täide viidud. Saadaval on automaatne „tagurpidi lülitusjärjekord“, et võrku taastada lülituseelseesse seisusse. „Black-out“ või teisisõnu suurkatkestuse korral genereeritakse automaatselt elektriühenduse taastamiseks lülituskäsked, et vähendada dispetšeri töökoormust. [20]

Lülituste haldamise rakendus lubab dispetšeril pooleli olevat lülituskäsku muuta seadmete rikke või muu probleemi korral. Lülitused salvestatakse automaatselt lülituslogisse. Võrku ei saa normaalsesse tööseisu tagasi lülitada enne, kui meeskonnad on turvalisusdokumendid tagastanud. Turvalisusdokumendid võivad esineda nii elektroonilisel kujul kui ka

paberikandjal. Turvalisusdokumentide sümboli võib paigutada geograafilisele kaardile, märkimaks katkestuse staatust. [20]

Lülituste planeerimine

Planeeritud katkestuste uurimise rakendus POS suudab iseseisvalt koostada lülituskavu planeeritud katkestusteks. Operaator valib võrgu seadmed, mis tuleb tööst välja lülitada ning POS pakub selle teostamiseks ühe või mitu lülituskava. Esmalt kantakse üle koormus ja seejärel isoleeritakse valitud seade. Kui valitakse terve alajaam siis POS loob plaani kuidas lülitada välja kõik alajaama jõutrafod. POS tulemused kuvatakse tabulaaraknas, kus kajastatakse lisaks lülitustele ka statistika ning jõudluse näitajad. Valitud plaani saab lihtsalt üle kanda ametlikku lülitusplaani. POS jookseb ainult õpperežiimis. [20]

Rikete haldus

Rikkekönete ja katkestuste haldamise süsteem OMS võimaldab kasutajatel hallata reaalajas võrguvaatest planeerimata ja planeeritud võrgukatkestusi ühtsest dünaamilisest keskkonnast. OMS ühendab lülitusoperatsioonid, SCADA, kauglugemise andmed, operatiivbrigaadide jälgimise/juhtimise ja võrgu reaalaja analüüsid. Ühtsest aknast on võimalik vaadelda eeldatavat rikke asukohta ja operatiivbrigaadide tööd. Oluline informatsioon on esitatud viisil, mis võimaldab dispetšeril likvideerida rikkeid, säilitades ülevaate võrgus toimuvate muude sündmuste üle. OMS toetab suurt hulka kasutajaid tormisituatsioonideks, jaotades dispetšerite töökoormust. Automaatne andmete salvestamise funktsioon tagab kogu vajalikku info kättesaadavuse korralisteks aruanneteks. [21]

Rikkekohta avastamine

Rikkekohta otsingu funktsioon kasutab kaitseautomaatide ja veadetektorite edastatud informatsiooni, mille põhjal arvutatakse võimalik rikke asukoht fiidril. Tulemused kuvatakse dispetšerile värviindikaatorina [21]

Katkestuse ulatuse analüüs

Prognoosi-mootor kasutab valideeritud veateateid, kaugloetavate arvestite e. AMI (*Advanced Metering Infrastructure*) infot ja reaalaja võrgu olekuinfot selgitamiseks välja kõige tõenäolisem seade, mis võis põhjustada rikke. Kuvatakse võimalik vigane seade või liin ning prognoositakse katkestuse ulatus kuni tarbijani välja. Valideerimis- ja prognoosimisreegleid saab redigeerida vastavalt soovile. Tööriistaribalt saab juhtida operatiivbrigaade, kirjutada märkmeid, teostada lülitusi ja uuendada katkestuse infot ilma, et peaks liikuma edasi-tagasi erinevatel ekraanidel.

Sündmusi saab poolitada või liita vastavalt vajadusele. Prognoosimootorit saab sätestada normaal- või suure aktiivsusega situatsioonide tarvis. Rikkekõnesid sisestatakse kas kliendipõhiselt või vastavalt asukohale, ilma klienti lisamata. Katkestusi võib analüüsimiseks defineerida toimumisaja või geograafilise asukoha järgi, võimaldades suured tormid filtreerida. [22]

OMS toetab järgnevaid standardseid indeksarvutisi: SAIDI, CAIDI, CAIFI ja MAIFI, olles kooskõlas IEEE 1366-2003 indeksite standardiga. [22] Indeksarvutused näitavad võrgu kvaliteeti ja usaldusväärsust.

FDIR

Rikke avastamise, isoleerimise ja teenuse taastamise automatiseerimiserakendus FDIR genereerib operatiivselt lülitusjärjestuse, et eraldada vigane võrgu osa ja taastada toide vigastumata võrgus. FDIR üks funktsioone on jagada naaberfiidrite koormust, vältides ülekoormust, pingelangust lubatud piiridest välja ja arvestades releekaitse piiranguid. Tavaliselt leitakse mitu sobivat lahendit ja need järjestatakse dispetšerile. Valitud plaani saab selle täitmiseks automaatselt üle kanda ametlikku lülituskäsku. Alternatiivselt saab seadistada silmusvõrgu režiimi. Rakendust võib kasutada nõunik- ja automaatrežiimis. [23]

Analüüs

Võrguanalüüsi saab luua operatiivselt ja modifitseerida vastavalt soovile. Funktsiooni on täiendatud võrgu optimeerimise mooduliga, mis pakub võrgu ümberkonfigureerimist ja võimsushalduse funktsiooni. Võimeline analüüsima silmus- ja radiaalvõrke. Anormaalset parameetrid kuvatakse otse geograafilisele võrgukaardile. Analüüsitööriista saab kasutada reaalaaja- ja õpirežiimis, lubades dispetšeril paremini planeerida ja jälgida võimalikke muutusi võrgu lülitustel. Võrgu analüüs võimaldab dispetšeritel ja inseneridel uurida võrgu praegust ja tulevikurežiime. Analüüsi käigus leitakse sõlmede komplekspinged, võimsusbilansid, voolud ja faasinurgad kõikidel jaotusvõrgu fiidrisegmentidel. Kontrollitakse liini läbivust ning otsitakse voole väljaspool lubatud piirkondi. Kuvatakse ka võimsuskaod faaside kaupa iga seadme kohta võrgus. Kogukaod on arvatud alajaama ja fiidri kohta valitud alal. Võimsuse kvaliteedi funktsioon hindab teenuse kvaliteeti, kogunenud PQ (*Power Quality*) indeksite (PQI) põhjal. PQI esindab pinge erinevust kvaliteedipiirangutest. Kvaliteedi väärtused arvutatakse jooksvalt ja salvestatakse päeva- ja kuuraportite tarvis. Analüüsimisel arvutatakse max/min lühisvoolud faasidevaheliste või faasi ja maa vahelise ühendusel soovitud punktis. Lühisvoolude arvutustulemusi kasutatakse, et kontrollida kas iga fiidrisegment on piisavalt

kaitstud. Koormusmodelid jaotusvõrgus genereeritakse *Distribution Network Operations Model* (DNOM) abil. [21]

Optimeerimine

Võrgu optimeerimise rakenduse abil parandatakse võrgu konfiguratsioone, fiidri pingeprofiili ja teostatakse automaatselt lülitusi toite taastamiseks. [23]

Automaatne fiidri rekonfigureerimine (AFR) taastab võrgu normaalprofiili ja optimeerib normaalselt avatud punkte. AFR-i abil saab vähendada nii alajaama trafode kui ka fiidri segmentide koormust. Funktsioon võtab arvesse tipukoormuse olusid. „Taastumine normaalrežiimi“ rakendus loob lülitusplaani, mis taastab lülitite normalasendi valitud alajaamades minimaalse katkestusega. AFR-i saab rakendada reaalaja süsteemis või õpirežiimis. [23]

Integreeritud Volt/var kontroll (IVVC) optimeerib ja koordineerib kondensaatorite ja pingeregulaatorite tööd. IVVC toega saab juhtida koormust ja säilitada süsteemi toimimine lubatud pinges piirides ning pakkudes reaktiivtuge ümbruskonna süsteemidele. Kasutades võrgu analüüsi ning koordineerides lülitused kõigi aktiivsete seadmetega, pakutakse paremat tulemust võrreldes tavaliste koormuse ja Volt/var juhtimissüsteemidega. IVVC on kasutatav automat-, nõunik- ja õpirežiimis. [23] Funktsioon vähendab reaktiivvõimsuse edastamist ning parandab tippkoormuse ajal võrgu läbilaskevõimet, vähendades vajadust võrgu ehituse lisainvesteeringuteks. IVVC on võimeline ka ilma dispetšerita toimima kasutades kaugloetavaid mõõtmisi. IVVC jälgib praktiliselt reaajas pingemõõtmisi üksikutelt mõõteseadetelt igalt fiidril kontrollimaks pinges kvaliteeti ning vajadusel sekkub ning korrigeerib pinges lubatud vahemikku. Lisaks kasutatakse AMI mõõtmisi alapinge avastamiseks ning selle tulemusena IVVC edasine alla-korrigeerimine peatatakse. DMS-i sidumisel elektri tootmist ja tarbimist sünkroniseeriva *Demand-response* programmiga on võimalik siluda tiputarbimist. [24]

Võrgu simulaator

Võrgu simulaator võimaldab treenida dispetšereid nii normaal- kui ka avariilukordades, käitudes nagu reaalne süsteem. Kasutatakse samu tarkvarakomponente nagu reaalaja juhtimissüsteemis:

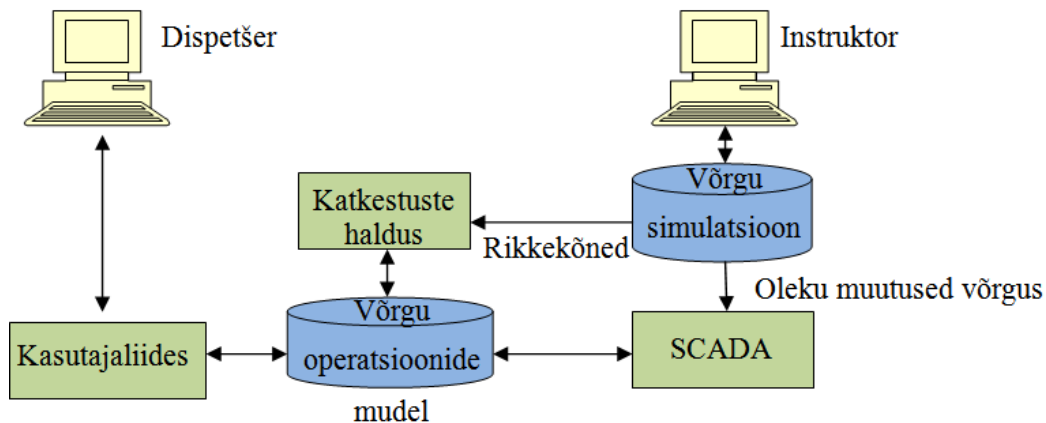
- OMS
- rikkekõnede simulaator TOMS (Trouble Order Message)

Simulation), põhinedes vea asukohal, mis määratud Event script-is

- rikkekoha leidmine
- lülitusoperatsioonid

- AMI kasutajaliides
- automaatne operatiivbrigaadide määramine ja võrgu taastamine-simuleerimaks suuri torme. [25]

Avariitreeningu läbiviija saab Event Scripter abil luua, salvestada ja muuta aja-põhist simulatsiooni käsikirja, kus toiteta kliendid genereerivad instruktori soovi korral süsteemi virtuaalseid katkestuskõnesid. Staatus muutused kajastuvad läbi SCADA. Lisaks treeningkeskkonnale saab võrgusimulaatorit kasutada, et katsetada uusi rakendusi, võrgumudeleid ja hinnata äriprotsesse. Simulaatori mootor on võimeline andmevahetuseks SCADA simulatsiooniga. Joonisel 4.5. on toodud välja treeningsimulaatori toimimise skeem. [25]



Joonis 4.5. Treeningsimulaatori skeem [25]

4.7. Järeldused

Antud süsteemide põhjal võib järeldada, et kuigi osad programmid on tulemustelt suhteliselt võrdsed, saavutas siiski parima hinnangu Alstomi *e-terradistribution* IDMS, mille eeliseks on hästi läbi mõeldud kasutajaliides ning erinevate funktsioonide kasutamise võimalused. Esile saab tuua dispetšeri töö lihtsustamise läbi rutiinsete tegevuste automatiseerimise. Lisaks on dispetšeritel olemas treeningkeskkond, mis praeguses olukorras oleks hädavajalik. IDMS süsteem võimaldab kasutajaliidese koondada ühele suurele ekraanile, mis hõlbustab dispetšeri tööd ning annab selgema ülevaate.

Paremusel teise hinnangu saab uus ABB microSCADA, mille vanem versioon on hetkel jaotusvõrgus kasutusel. Vanem versioon on ilma DMS liideseta ning see on eraldi seisev Trimble DMS Tekla programm. Eraldi SCADA ja DMS-i omamine eraldi on raske. Süsteem peaks olema alati ühtne, et funktsionaalsus säiliks. SCADA integreerituse struktuur hakkas (IDMS) hakkas levima hiljem kui Xpower DMS loodi. DMS-i süsteemi ühildamine SCADA'ga võib osutada spetsialistidele palju raskusi.

Teistel SCADA süsteemide ettevõtetal puuduvad kas head kasutajaliidesed, moodsad protokollid või turul vähe tuntud. Uus dispetšsüsteem peaks olema avatud arhitektuuriga, kerge liidestatusega, võimalikult odav ja võimalikult turvaline. Antud süsteemid sobivad väiksemate ja lihtsamate süsteemide juhtimiseks.

Uuemate süsteemida miinuseks on jällegi see, et ei ole selget piiri kus algab DMS ja kus lõppeb SCADA. DMS-i vahetusega läheksid mitmed funktsioonid katki, millesse on juba teatud summad investeeritud nagu näiteks SMS funktsioon, mis saadab automaatselt teated klientidele kes on vooluta. Uue dispetšsüsteemi juurutamine läheks kindlasti kallimaks, kui vanaga jätkamine, kuigi lõputult ei saa ka ainult ühe süsteemi uuendamisega edasi minna. Uue süsteemi valikul peaks juhinduma, et võimalikult palju rakendusi oleks toodetud ühe ja sama ettevõtte poolt, tagades parema toimimise ning terviklikkuse. Dispetšsüsteem peaks olema programmeeritud nii, et uute rakenduste juurde liitmine oleks lihtsustatud, lükates edasi taas kordse väljavahetamisega seotud kulutusi.

Lõputöö kokkuvõte

Lõputöö eesmärgiks oli uurida jaotusvõrgu senist ja uut dispetšsüsteemi. Seega uurimise alla võeti mitme ettevõtte poolt SCADA süsteeme ning leida nendest sobivaim jaotusvõrgu uueks dispetšsüsteemiks. Uuritav teema on aktuaalne, kuna Elektrilevi OÜ-l on hetkel käimas hange uue dispetšsüsteemi jaoks ning konkurss kuulutatakse välja sügisel. Kuna konkurss on veel välja kuulutamata, seega ei saadud ka avalikustada kõiki tingimusi, mida oodatakse uult süsteemilt. Järjest arenev elektrivõrgu automaatika avab dispetšeritele uusi võimalusi võrgu paremaks ohjamiseks ning lubab vähendada töökoormust juhtimise automatiseerimise näol. Kirjeldatud olukorra saavutamiseks peab aga dispetšsüsteem pakkuma head ülevaadet võrgus toimuvat ning sisaldama kaasaegseid funktsioone. Teema uurimine on vajalik saamaks ülevaadet kasutusel olevatest dispetšsüsteemide võimekusest ja olemas oleva süsteemi täiustamiseks või vana süsteemi täielikuks asendamiseks.

Töö esimeses osas on lühidalt kirjeldatud DMS-i kohta ja antud programmi võimekusest, millega igapäevaselt tegelema peab. Välja on toodud funktsioonid mida Xpower-i DMS võimaldab, kuidas see mõjutab dispetšerite tööd ja millised võrguga seonduvaid probleeme see lahendada suudab. Ülevaade on antud ka operatiivjuhtimise ajaloost Eestis ning Elektrilevi OÜ jaotusvõrgu operatiivjuhtimise struktuurist.

Teises peatükis välja toodud hetkel kasutusel olev dispetšsüsteem firmalt ABB. Kirjeldatakse SCADA põhifunktsioone, nende väljakujunemisest ja tähtsamatest protokollidest, millega peaks andmevahetussüsteem arvestama. Selgitatakse lähemalt protokollid Elkom-90 kohta ning arutletakse kuidas võiks SCADA toimida kaugemas tulevikus. Arutletakse, kui automaatseks on võimalik jaotusvõrk muuta, mida oleks selle jaoks vaja teha.

Kolmandas peatükis käsitletakse küberturvalisuse olust automaatikasüsteemides. Selgitatakse, kuidas on pahavarad jõudnud SCADA süsteemideni, millisel viisil mõjutavad või rikuvad antud süsteeme. Kirjeldatud on süsteemide tarkvara ja riistvaraga seotud turvaauke ning kui paljud ettevõtted on neid üritanud parandada.

Neljandas peatükis on välja toodud uuritavate SCADA süsteemide tutvustus, kus kirjeldatakse nende kasutajaliideseid ja erinevate rakenduste võimalusi. Peatüki lõpus on ka antud süsteemide kohta tehtud järeldus, milline võiks olla jaotusvõrgule parim uus dispetšsüsteem, milliste otsuste alusel see hinnang tehti.

Võrdluse tulemustest järeldub, et ainult tuntumad dispetšsüsteemid on suhteliselt võrdsed, kuid vähem tuntud ei oma efektiivseid rakendusi ja kasutajaliideseid. Parima hinnangu sai Alstomi e-terradistribution IDMS. Süsteemil on läbimõeldud kasutajaliides, mis teeb dispetšeri seisukohalt töö lihtsamaks, programmis orienteerumine ja võrgust kiire ülevaate saamine on mugavam. Töökoormuse vähendamist automatiseerimisega, saab hinnata operaatori seisukohalt väga heaks. Programmi on integreeritud nii SCADA kui ka DMS-i rakendus. Rakenduste hea ühilduvuse tagab geoinfosüsteem. Lisaks on suurepäraseks abiks dispetšeritele treeningkeskkond, suutes simuleerida võrgus toimuvaid sündmusi, rikkekõnesid ja võimaldades treeningu läbiviijal koostada keerukaid stsenaariume.

Paremuselt teise hinnangu sai uus ABB microSCADA, mille vanem versioon on hetkel jaotusvõrgus kasutusel. Vanem versioon on ilma DMS liideseta, see on eraldi seisev Trimble DMS Tekla programm. Eraldi SCADA ja DMS-i omamine on raske. Süsteem peaks olema alati ühtne, et funktsionaalsus säiliks. SCADA integreerituse struktuur hakkas (IDMS) levima hiljem, kui Xpower DMS loodi. DMS-i süsteemi ühildamine SCADA'ga võib osutada spetsialistidele palju raskusi. Mõistlikum on arendada dispetšsüsteem, kus mõlemad rakendused on pädevate spetsialiste poolt ühildatud, mis tagaks programmide vahel efektiivsema koostöö.

Jaotusvõrgu juhtimisel kasutatavate süsteemide struktuur on pidevas muutumises. Tulevikus on süsteem mõjutatud taastuvenergia hajatoomise, elektriautode levimise ja muudest tarkvõrguga kaasnevatest trendidest. Muutustega kaasas käia, peab dispetšeri töövahendi valikul juhinduma täiendavate rakenduste liitmise lihtsusest ning süsteemi võimest areneda. Ühilduvuse seisukohalt tuleks valida kõige komplektsem lahendus.

Kirjandus

- [1] M. Karjus, „Rakenduse Xpower DMS juurutamine Eesti Energia AS Jaotusvõrgus,“ magistritöö, Tallinn, 2002.
- [2] G. Celli, P. Atillio, F. Pilo, G. Pisano ja S. Sulis, „DMS Cyber-Physical Simulation for Assessing the Impact of State Estimation and Communication Media in Smart Grid Operation,“ 2014.
- [3] Elektrilevi OÜ ,sisedokumendid
- [4] H. Lu ja H. Zhou, „Distributed real-time database platform study of DMS,“ China, 2005.
- [5] P. Chakravarthy ja M. G. Wickramsekera, „A Better GIS Leads to a Better DMS,“ IEEE, Houston, 2014.
- [6] W. Zheng, X. Chen, B. Li ja S. Huang, „Practical Research on Automatic Graph and Model Exchange between GIS and DMS,“China International Conference on Electricity Distribution (CICED 2014), Shenzhen, 2014.
- [7] M. Meldorf, T. Tikk ja J. Kilter, Elektrivõrgu operatiivjuhtimissüsteem, Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2010.
- [8] OY Tekla, „Tekla Xpower 6.3. System Description,“ Tekla Corporation, Espoo, 2003.
- [9] T. Tajur, „Elektrilevi OÜ tarkvõrgu õppekeskus ja katsepolügoon,“ magistritöö, Tallinn, 2013.
- [10] "ABB official website", MicroSCADA Pro, [WWW], <http://new.abb.com/substation-automation/products/software/microscada-pro/microscada-pro-dms600> (02.02.2016)
- [11] "Mikronika website", SYNDIS, [WWW], <http://www.mikronika.pl/en/products/systems/SYNDIS-RV/Syndis-Scada-en/> (08.02.2016)
- [12] "NETCONTROL website", NETCON 3000, [WWW], http://www.netcontrol.com/files/3913/4181/9446/M00166-BR-EN-1_Netcon_3000_Brochure.pdf (08.02.2016)
- [13] "Schneider official website", ClearSCADA, [WWW], <http://www.schneider-electric.com/en/product-range-download/61264-struxureware-scada-expert-clearscada> (08.02.2016)
- [14] "PSI website", ITEC SCADA & DMS, [WWW], http://www.psi-incontrol.com/v2/images/brochure/dl_scada.pdf (08.02.2016)
- [15] "OSI website", SCADA, [WWW], <http://www.osii.com/solutions/products/scada.asp> (12.02.2016)

- [16] Alstom, „e-terradistribution - Real-time Management of Distribution Networks,“ Alstom, Redmond, 2010, [WWW], <http://www.alstom.com/products-services/product-catalogue/electrical-grid-new/control-room/distribution/distribution/>, (21.02.2016).
- [17] Alstom, „e-terradistribution - Network View,“ Alstom, Redmond, 2011, [WWW], <http://www.alstom.com/products-services/product-catalogue/electrical-grid-new/control-room/distribution/distribution/>, (21.02.2016).
- [18] Think Grid, „All-in-one IDMS for enhanced grid resilience and customer satisfaction,“ Think Grid, 2014, [WWW], <http://www.think-grid.org/all-one-idms-enhanced-grid-resilience-and-customer-satisfaction>, (21.02.2016).
- [19] Alstom, „Alstom to upgrade and expand Snohomish PUD's Energy and Distribution Management System,“ Alstom, 2014, [WWW], <http://www.alstom.com/press-centre/2015/5/alstom-to-upgrade-and-expand-snohomish-puds-energy-and-distribution-management-systems/>, (18.02.2016).
- [20] Alstom, „e-terradistribution - Switching Operations,“ Alstom, Redmond, 2011, [WWW], <http://www.alstom.com/products-services/product-catalogue/electrical-grid-new/control-room/distribution/distribution/>, (20.02.2016).
- [21] Alstom, „e-terradistribution - Network Analysis,“ Alstom, Redmond, 2010, [WWW], <http://www.alstom.com/products-services/product-catalogue/electrical-grid-new/control-room/distribution/distribution/>, (05.03.2016).
- [22] Alstom, „e-terradistribution - Network Outage Management,“ Alstom, Redmond, 2011, [WWW], <http://www.alstom.com/products-services/product-catalogue/electrical-grid-new/control-room/distribution/distribution/>, (18.02.2016).
- [23] Alstom, „e-terradistribution - Network Optimizer,“ Alstom, Redmond, 2010, [WWW], <http://www.alstom.com/products-services/product-catalogue/electrical-grid-new/control-room/distribution/distribution/>, (20.02.2016).
- [24] Alstom, „Smart Distribution - Solutions for Smart Utilities,“ Alstom, 2010, [WWW], <http://www.alstom.com/products-services/product-catalogue/electrical-grid-new/control-room/distribution/distribution/>, (20.03.2016).
- [25] Alstom, „e-terradistribution - Network Simulator,“ Alstom, Redmond, 2010, [WWW], <http://www.alstom.com/products-services/product-catalogue/electrical-grid-new/control-room/distribution/distribution/>, (18.02.2016).