



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
ELEKTROENERGEETIKA INSTITUUT

# **Protsessiini digitaliseerimise ja minimeerimise võimalused Eesti kõrgepingealajaamade andmehõivesüsteemides**

**Elektroenergeetika õppekava**

**Energiasüsteemide õppetool**

**Magistritöö**

Õppetooli juhataja

prof H. Tammoja

Juhendaja

dots J. Kilter

Lõpetaja

M. Melder

**Tallinn 2015**

## **Autori deklaratsioon**

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> Meelis Melder	<i>Lõputöö liik:</i> Magistritöö
<i>Töö pealkiri:</i> PROTSESSISIINI DIGITALISEERIMISE JA MINIMEERIMISE VÕIMALUSED EESTI KÕRGEPIINGEALAJAAMADE ANDMEHÕIVESÜSTEEMIDES	
<i>Kuupäev:</i> 27.05.2015	132 lk
<i>Ülikool:</i> Tallinna Tehnikaülikool	
<i>Teaduskond:</i> Energeetika	
<i>Instituut:</i> Elektroenergeetika	
<i>Õppetool:</i> Energiasüsteemid	
<i>Töö juhendaja(d):</i> Dotsent Jako Kilter	
<p><i>Sisu kirjeldus:</i></p> <p>Käesoleva töö teoreetilises osas antakse ülevaade kõrgepingealajaamades hetkel kasutusel olevatest telemaatika lahendustest ja vajalikest abisüsteemidest. Lisaks tuuakse esile alajaama kohtvõrgu ja ajasüsteemide arengul põhinevad uued tehnoloogilised lahendused. Töö teises osas kirjeldatakse võrdluse aluseks võetavat telemaatika lahendust ning defineeritakse kaks uut võimalikku andmehõivesüsteemi: protsessisiini digitaliseerimine ning protsessisiini minimeerimine. Seejärel uuritakse uute tehnoloogiliste võimekuste rakendamise võimalusi uuritavate andmehõivesüsteemide loomisel. Lisaks töötatakse välja uute andmehõivesüsteemide näidislahendused. Seejuures tuuakse esile uute lahenduste kasutuselevõtuga kaasnevad muudatused ning nende mõju alajaama maksumusele. Töö tulemustest selgub, et kahe uue andmehõivesüsteemi loomine on võimalik, kuid vajalikus tehnoloogias esineb teatavaid puudusi. Samas näitavad tulemused, et uued lahendused võimaldavad alandada alajaama kogumaksumust 5-15% võrra. Juhul kui uusi andmehõive-süsteeme rakendatakse ainult sekundaarosa rekonstrueerimise projektides, siis on võimalik hoida kulusid kokku kuni 50% ulatuses. Uuritav teema on oluline elektrivõrguettevõtetele, kes saavad antud töö tulemusi kasutada sisendina võrguarendusprojektides. Töös uuritavate lahenduste edukas rakendamine võimaldab tõsta elektrivõrgu juhtimissüsteemi efektiivsust, kiirendada alajaamade töössevõtmise protsessi, muuta hilisemad täiendused lihtsamaks, langetada hoolduskulusid ning suurendada alajaamade hooldustööde ja käidukorralduse ohutust.</p>	
<i>Märksõnad:</i> alajaama andmehõivesüsteem, alajaama ajasüsteem, kohtvõrgu häiringukindlus, digitaalne alajaam, digitaalne protsessisiin, protsessisiini digitaliseerimine, protsessisiini minimeerimine	

## Summary of the diploma work

<i>Author:</i> Meelis Melder	<i>Kind of the work:</i> Master's thesis
<i>Title:</i> PROCESS BUS DIGITALIZATION AND MINIMIZATION OPTIONS IN DATA ACQUISITION SYSTEMS OF ESTONIAN POWER SYSTEM TRANSMISSION NETWORK SUBSTATIONS	
<i>Date:</i> 27.05.2015	132 pages
<i>University:</i> Tallinn University of Technology	
<i>Faculty:</i> Power Engineering	
<i>Department:</i> Electrical Power Engineering	
<i>Chair:</i> Power Systems	
<i>Tutor(s) of the work:</i> Associate professor Jako Kilter	
<p><i>Abstract:</i></p> <p>Theoretical part of this paper gives an overview of used telematics solutions and necessary auxiliary systems in high voltage substations as well as advances in technology regarding substation's local area network and time synchronization systems. The second part of the thesis describes an existing telematics solution as a basis of comparison. In addition, two new data acquisition systems are defined: process bus digitalization and process bus minimization. The utilization of new technological capabilities in mentioned data acquisition systems is studied in detail. Furthermore, example solutions for new telematics systems are developed. The concurrent changes in other parts of substation design and their costs are also described. The results show that implementation of new data acquisition systems is possible, but there are still some technological shortcomings that have to be taken into account. In addition, the result reveal that new solutions can lower the substation construction costs approximately 5-15%. In cases when only the secondary part of substation is reconstructed, the savings can reach up to 50%. This paper is important to electricity grid owners who can use the results of this thesis as an input to their grid development projects. The implementation of new data acquisition systems will improve the efficiency of electricity network management system, speed up substation commissioning, simplify future extensions, lower maintenance costs and increase electrical safety during substation maintenance works.</p>	
<p><i>Key words:</i> substation data acquisition system, substation time system, local area network redundancy, digital substation, digital process bus, process bus digitalization, process bus minimization</p>	

# Sisukord

<b>Lõputöö ülesanne .....</b>	<b>7</b>
<b>Eessõna.....</b>	<b>9</b>
<b>Lühendite ja sümbolite loetelu.....</b>	<b>10</b>
<b>Sissejuhatus .....</b>	<b>11</b>
<b>1. Kõrgepingelajaama andmehõivesüsteem.....</b>	<b>15</b>
1.1. Telemaatika funktsioon .....	15
1.2. Andmehõivesüsteemi infomahud .....	16
1.3. Kasutatavad seadmed .....	20
1.4. Kasutatavad sideprotokollid .....	29
1.5. Kasutatavad andmehõivesüsteemi topoloogiad.....	31
<b>2. Alajaama kohtvõrgu häiringukindlus.....</b>	<b>37</b>
2.1. Häiringukindluse olulisus .....	37
2.2. Häiringukindluse tagamine võrgu ümberseadistamise teel .....	39
2.3. Häiringukindluse tagamine ilma võrgu ümberseadistamiseta .....	45
<b>3. Aja sünkroniseerimine.....</b>	<b>50</b>
3.1. Aja sünkroniseerimise standardid.....	51
3.2. Ajasüsteemide võrdlemine .....	57
<b>4. Võrreldavad andmehõivesüsteemid .....</b>	<b>59</b>
4.1. Hetkel kasutatav andmehõivesüsteem .....	59
4.2. Protsessiini digitaliseerimisel põhinev andmehõivesüsteem .....	64
4.3. Protsessiini minimeerimisel põhinev andmehõivesüsteem.....	69
<b>5. Protsessiini digitaliseerimise tehniline teostus .....</b>	<b>73</b>
5.1. Kasutatavad seadmed .....	73
5.2. Muudatused lahtri klemmkapis .....	77
5.3. Muudatused sekundaarkaablite mahus .....	79
5.4. Alajaama kohtvõrgu struktuur.....	81
5.5. Eelised ja puudused .....	84
<b>6. Protsessiini minimeerimise tehniline teostus .....</b>	<b>88</b>
6.1. Kasutatavad seadmed .....	88
6.2. Muudatused lahtri klemmkapis .....	91
6.3. Muudatused sekundaarkaablite mahus .....	93
6.4. Muudatused alajaama juhtimishoones.....	93
6.5. Alajaama kohtvõrgu struktuur .....	100
6.6. Eelised ja puudused .....	100
<b>7. Majandusliku mõju hindamine .....</b>	<b>104</b>
7.1. Protsessiini digitaliseerimine .....	104
7.2. Protsessiini minimeerimine.....	108
<b>Lõputöö kokkuvõte .....</b>	<b>112</b>
<b>Kirjandus.....</b>	<b>119</b>
<b>Lisad.....</b>	<b>124</b>

**L.1. Klemmkapi sisetemperatuuri arvutamine protsessisiini digitaliseerimise korral .125**

L.1.1. Klemmkapi sisetemperatuur +40°C välistemperatuuri korral.....	125
L.1.2. Klemmkapi sisetemperatuur -40°C välistemperatuuri korral.....	126
L.1.3. Vajadus täiendava kütteelemendi järele .....	127
L.1.4. Klemmkapi sisetemperatuur -40°C välistemperatuuri korral koos täiendava kütteelemendiga .....	128

**L.2. Klemmkapi sisetemperatuuri arvutamine protsessisiini minimeerimise korral....129**

L.2.1. Klemmkapi sisetemperatuur +40°C välistemperatuuri korral.....	129
L.2.2. Klemmkapi sisetemperatuur -40°C välistemperatuuri korral.....	130
L.2.3. Vajadus täiendava kütteelemendi järele .....	131
L.2.4. Klemmkapi sisetemperatuur -40°C välistemperatuuri korral koos täiendava kütteelemendiga .....	132

# Lõputöö ülesanne

Lõputöö teema:	<b>Protsessiini digitaliseerimise ja minimeerimise võimalused Eesti kõrgepingealajaamade andmehõivesüsteemides</b>
Üliõpilane:	<b>Meelis Melder, 122049</b>
Lõputöö juhendaja:	<b>Dotsent Jako Kilter</b>
Õppetool:	<b>Energiasüsteemide õppetool</b>
Õppetooli juhataja:	<b>Professor Heiki Tammoja</b>
Lõputöö esitamise tähtaeg:	<b>27.05.2015</b>

---

Üliõpilane (allkiri)

---

Juhendaja (allkiri)

---

Õppetooli juhataja (allkir)

## Teema põhjendus:

Energeetikas kasutatavad andmehõivesüsteemid on viimaste aastate jooksul teinud väga kiire arengu, millest tulenevalt on suurenenud alajaamas paiknevate mikroprotsessorreleede omavaheline infovahetus ning teabe edastamine juhtimiskeskusesse. Välja on töötatud mitmeid tehnoloogilisi võimekusi ja neil põhinevaid standardeid alajaamade infosüsteemide jaoks, millest olulisemad on andmesideprotokollid, ajasünkroniseerimise ning võrgu töökindluse standardid. Sellest olenemata ei kasutata Eestis uusi võimalusi täiel määral ära, vaid tuginetakse siiani vanadele lahendustele. Antud teema kompleksne käsitus võimaldab kõrgepingealajaamades kasutusele võtta telemaatika arengul põhinevaid uusi lahendusi.

Uuritav teema on oluline elektrivõrguettevõtetele, kes saavad antud töö tulemusi kasutada sisendina võrguarendusprojektides. Samuti toob käesolev lõputöö välja uute lahenduste eelised ja puudused võrreldes hetkel pakutavatega, mis võimaldab kõrgepingealajaamade ehitusettevõtetal hinnata uute lahenduste kasutatavust alajaamade ehitushangetel osalemisel.

Autori panuse tulemusena valmib võrdlev analüüs hetkel kasutatavate kõrgepingealajaamade telemaatika topoloogiatel põhinevate süsteemide ning uute lahenduste jaoks. Analüüsis vaadeldakse erinevaid lahendusi komplekselt ning hinnatakse nende mõju nii releekaitse kui ka andmehõivesüsteemide toimimisele ja töökindlusele, alajaamade käidutöödele, ehitustööde

mahu muutumisele ning alajaama kogumaksumusele. Erinevate lahenduste koostamisel ja analüüsimisel lähtutakse Eesti elektrisüsteemihalduri Elering AS tehnilistest nõuetest.

### **Töö eesmärk:**

Töö eesmärgiks on uurida telemaatika erinevatel topoloogiatel põhinevate andmehõive-süsteemide rakendatavust kõrgepingealajaamades Eestis.

### **Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:**

1. Kas uute lahenduste kasutuselevõtmine on võimalik või eksisteerib tehnoloogilisi takistusi, mis piiravad uute lahenduste rakendatavust?
2. Kas uute lahenduste korral on võimalik täita elektrisüsteemihalduri kõiki tehnilisi nõudeid?
3. Kas uued lahendused on majanduslikult konkurentsivõimelised?

### **Lähteandmed:**

Käesolevas magistritöös kasutatavad lähteandmed on kogutud

- kirjandusest
- juhendajalt
- internetist
- ABB AS-st
- Eesti Elektriijaama 330 kV alajaama II etapi hankedokumentidest



## Eessõna

Käesoleva lõputöö teema pakkus välja autor oma initsiatiivil tulenevalt isiklikust huvist alajaamade andmehõivesüsteemide vastu. Huvi kõrgepingealajaamade telemaatika vastu sai alguse autori osaluspraktikast ABB AS Elektrivõrkude ja -süsteemide osakonnas 2012. aastal. Töö kirjutamise ajal töötas autor samas osakonnas projektiinseneri ametikohal. Lõputöö teema valimise ajal leidis energeetika valdkonnas järjest laiemat kõlapinda tuleviku- ehk digitaalse alajaama kontseptsioon. Digitaalne alajaam kui mõiste on eksisteerinud alates IEC 61850 standardi loomisest 2003. aastal. Lõputöö kirjutamise ajaks on välja arendatud suurem osa selleks vajalikest tehnoloogilistest võimekustest, muutes digitaalse alajaama rajamise võimalikuks. Käesolev töö keskendub alajaama digitaliseeri-miseks vajalike muudatuste uurimisele kõrgepingealajaamade andmehõivesüsteemides.

Siinkohal soovib autor tänada oma juhendajat dotsent Jako Kilterit, ABB AS Elektrivõrkude ja -süsteemide osakonna kollektiivi ning erinevaid meeskondi ABB Grupist, kes aitasid kaasa käesoleva lõputöö kirjutamisele. Eraldi soovib autor tänada ABB Oyj Vaasa reletehase esindajat Rait Berkman'i, ABB Schweiz AG tootegrupi juhti Stefan Meier'it ning ABB AB teadus- ja arendustegevuse projektijuhti Richard Mannerbro'd nende igakülgse abi eest töö valmimisel. Eriliselt soovib autor tänada oma naist, perekonda ja sõpru toetuse ning mõistva suhtumise eest.

Lõputööd puudutavate küsimuste või kommentaaride korral palun võtke minuga ühendust alltoodud kontaktidel.

Meelis Melder

(+372) 5698 0156

meelis.melder@gmail.com

## Lühendite ja sümbolite loetelu

DAN – *Double Attached Node*

HMI – *Human Machine Interface*

HSR – *High-availability Seamless Ring*

IED – *Intelligent Electronic Device*

IRIG – *Inter Range Instrumentation Group*

NTP – *Network Time Protocol*

PPS – *Pulse-per-second*

PRP – *Parallel Redundancy Protocol*

PTP – *Precision Time Protocol*

RedBox – *Redundancy Box*

RTU – *Remote Terminal Unit*

RSTP – *Rapid Spanning Tree Protocol*

SAN – *Single Attached Node*

SNTP – *Simple Network Time Protocol*

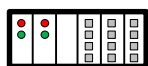
STP – *Spanning Tree Protocol*



Kommutaator



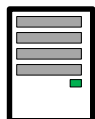
Kohtterminal



Kaugterminal



RedBox



SCADA-server



Juhtarvuti



Koondamisüksus



Täpsustamata  
seade

## Sissejuhatus

Elekter on mitmest küljest ideaalne energia edastamise viis olles juhitav, ökonoomne, efektiivne ja suhteliselt tähelepandamatu. Selleks, et vastata tarbijate ootustele, mis eeldavad üha suuremaid elektrienergia tarbimiskoguseid ja kõrgemat teenuse kvaliteeti, tuleb elektrisüsteemi pidevalt uuendada. See tähendab investeringuid tootmisvõimsustesse, alajaamadesse, õhu- ja kaabelliinidesse, pingekvaliteedi tagamise ja reaktiivenergia kompenseerimise mehhanismidesse. Elektrienergia piisavuse ja kvaliteedi tagamiseks rakendatavate meetodite kõrval on samaväärselt oluline andmehõivesüsteemi toimimise tagamine. Elektrisüsteemiga liidetavate seadmete arv ja tehniline keerukus suureneb pidevalt. See tähendab, et suureneb ka informatsiooni hulk, mida vahetatakse reaalajas seadmete ja dispetšiteenistuse vahel. Samuti on oluline tagada seadmete ühendatus elektrivõrgu talitluse tugisüsteemidega, et võimaldada kaughalduse teel seadmete töö ja korrasoleku monitoorimist, salvestada sündmuste arhiivikirjeid, teha muudatusi seadmete sätetes ja planeerida hooldustöid.

Elektrivõrgu andmehõivesüsteemi keskusteks on peamiselt alajaamad, kus toimub elektrivõrgu seisundi andmehõive. Alajaama andmehõivesüsteemi saab suures osas jaotada kolmeks kihiks. Kõige ülemine kiht ehk alajaamakiht hoolitseb kogu alajaama informatsiooni koondamise ja selle edastamise eest dispetšiteenistusele. Samuti vahendab alajaamakiht vastupidises suunas kaugjuhtimiskäskusid. Teise ehk lahtrikihi moodustavad kohtterminali (*IED – Intelligent Electronic Device*) ehk mikroprotsessorpõhised releekaitse- ja automaatikaseadmed. Kohtterminalide ülesanne on koguda informatsiooni primaarseadmetelt, seda töödelda, teha otsuseid releekaitse ja automaatika rakendamiseks ning edastada sündmuste info alajaamakihile. Kolmanda ehk protsessikihi moodustavad alajaama primaarseadmed koos informatsiooni- ja juhtimisliidestega (nt mõõtetrafod, võimsuslüliti koos sisse- ja väljalülituspoolide ning asendikontaktidega).

Enne andmehõivesüsteemi standardiseerimist olid laialt levinud mehitatud alajaamad, kus elektrivõrgu monitoorimine ja juhtimine toimus alajaamas kohapeal. Andmeside standardiseerimisega alustati kõige kõrgemast ehk alajaamakihist. IEC 60870-5 standardiseeria käsitleb ennekõike avatud side loomist alajaamade ja SCADA süsteemi vahel (*Supervisory Control and Data Acquisition*). See tähendab, et alajaama hetkeolekut (elektrilised parameetrid, võrgu konfiguratsioon) oli võimalik kontrollida dispetšikeskusest, mille tulemusel alajaamade



Kõrgepingealajaamade andmehõivesüsteemides kasutatavad seadmed, nende omadused ja võimalused erinevad suuresti tootjate lõikes. Selleks, et oleks võimalik analüüsida konkreetseid lahendusi piirduakse antud töös ainult ühe tootja seadmetel põhinevate süsteemidega. Tulenevalt autori seotusest ABB AS-ga tuginetakse seadmete valikul ABB tootekataloogidele ja Elering AS poolt aktsepteeritud toodete loetelule. Lõputöö kokkuvõttes esitatakse lühike hinnang teiste tootjate seadmete kasutamise võimalustele vaadeldavate andmehõivesüsteemide loomisel.

Käesoleva töö esimeses peatükis kirjeldatakse kõrgepingealajaamade andmehõivesüsteemi peamisi ülesandeid ja omadusi. Lisaks tuuakse välja olulisemad vahetatavad infomahud erinevate alajaama andmehõivesüsteemi kihtide vahel. Samuti tutvustatakse andmehõivesüsteemis kasutatavaid seadmeid ning nende otstarvet ja põhiomadusi. Seejärel antakse ülevaade infovahetuseks kasutatavatest sideprotokollidest ning hetkel kasutuses olevatest telemaatika lahendustest.

Antud lõputöö teises peatükis käsitletakse alajaama kohtvõrgu häiringukindlust. Hetkel on kasutusel tõrkesiirdel põhinevad kohtvõrgu häiringukindluse protokollid. Antud meetodite puhul esineb võrgu rikke korral lühiajaline katkestus kohtvõrgu ümberkonfigureerimise ajaks. Protsessisiini digitaliseerimise korral ei ole selline infokadu lubatav. Sellest tulenevalt tutvustatakse käesoleva töö teises peatükis kahte uut ilma tõrkesiirdeta liiasusprotokolli ning nende rakendamise võimalusi ja piiranguid.

Kolmas peatükk on pühendatud kõrgepingealajaamades kasutatavate ajasüsteemide uurimisele. Tähelepanu pööratakse protsessisiini rakenduste poolt nõutava ajasünkronisatsiooni täpsuse saavutatavusele ning ajasüsteemide paigaldamise tingimustele. Käsitletakse aja sünkroniseerimist sideprotokolli ja ajaserveri vahendusel.

Käesoleva töö neljandas peatükis kirjeldatakse töö kirjutamise ajal uutes alajaamades kasutatavat andmehõivesüsteemi ning tutvustatakse kahte uut lahendust: protsessisiini digitaliseerimist ning minimeerimist. Töö antud osas esitatakse käsitletavate lahenduste tööpõhimõtted ning nende rakendamisega kaasnevad hüved ja peamised väljakutsed.

Viies ja kuues peatükk on pühendatud vastavalt protsessisiini digitaliseerimisel ning protsessisiini minimeerimisel põhineva andmehõivesüsteemi tehnilisele teostusele. Antud peatükkides uuritakse uute andmehõivesüsteemide kasutuselevõtu võimalusi ja selliste süsteemide teostatavust Eestis, lähtudes Elering AS tehnilistest nõuetest. Pakutakse välja andmehõivesüsteemide loomiseks vajalikud seadmed, koostatakse kohtvõrgu topoloogiad ning

valitakse kasutatavad liiasusprotokollid ja ajasüsteemid. Samuti hinnatakse vaadeldavate andmehõivesüsteemide tehnilisest teostusest tulenevaid muutusi alajaama klemmkappides, releepaneelides, juhtimishoones ja sekundaarkaablite mahus. Lisaks tuuakse välja käsitletavate andmehõivesüsteemide olulisemad eelised ja puudused.

Lõputöö seitsmendas peatükis antakse hinnang uute andmehõivesüsteemide majanduslikule mõjule. Hinnatakse olulisemaid muutusi nii kasutatavate materjalide ja seadmete mahus kui ka teostatavates töödes. Lisaks antakse hinnang uute lahenduste töösse võtmise ajakulule võrreldes hetkel kasutatava andmehõivesüsteemiga.

Käesolevas lõputöös on välja töötatud protsessiini digitaliseerimise ja minimeerimise tehnilised lahendused. Lisaks on esitatud antud andmehõivesüsteemide eelised ja puudused. Töö tulemusi on võimalik kasutada informatiivsel eesmärgil, võimaldades antud lahendusi edasi arendada või langetada teadlikum otsus käsitletavate andmehõivesüsteemide elluviimiseks. Lisaks on käesolevas lõputöös esitatud põhimõtteid võimalik aluseks võtta protsessiini digitaliseerimisel või minimeerimisel põhineva andmehõivesüsteemi rajamise pilootprojektides.

# 1. Kõrgepingealajaama andmehõivesüsteem

Käesolevas peatükis kirjeldatakse kõrgepingealajaama andmehõivesüsteemi, selle peamiseid ülesandeid ning toimimispõhimõtteid. Lähemalt käsitletakse telemaatika funktsiooni, jälgitavaid objekte ja nendega seotud infomahtusid, enim levinud andmesideprotokolle ning alajaama andmehõivesüsteemis kasutatavaid seadmeid ja nende ülesandeid.

## 1.1. Telemaatika funktsioon

Telemaatikaks laiemalt nimetatakse arvutite ja juhtmevabade seadmete telekommunikatsiooni tehnoloogiasid, mille eesmärgiks on tagada efektiivne andmeedastus andmesidevõrkude kaudu [1]. Kõrgepingealajaama kontekstis mõistetakse telemaatika all andmehõive ja –edastusega tegelevat süsteemi, mille eesmärgiks on varustada alajaama koht- ja kaugterminale ning dispetšiteenistust vajaliku informatsiooniga. Lisaks tuleb seejuures kindlustada edastatava informatsiooni kvaliteet ja usaldusväärsus. [2]

Elektrivõrgu operatiivjuhtimiseks vajalik teave saadakse ennekõike alajaamadest, kus toimub andmehõive, täidetakse kaugjuhtimiskorraldusi ning toimib releekaitse ja automaatika. Alajaam on oluline osa elektrisüsteemist, mis on ette nähtud elektrienergia muundamiseks ja tarbijatele jaotamiseks. Ehituslikust vaatenurgast on alajaam tehnoarajatis, mis sisaldab sisenevate ja väljuvate liinide ühendusi, lülitus- ja mõõteseadmeid, trafosid, juhtimis- ja signaaliahelaid ning hooneid. [2]

Alajaam jaguneb elektriliselt primaar- ja sekundaarahelateks. Primaarahelad kujutavad endast jõuahelaid, mida mööda edastatakse elektrienergiat. Primaarahelate hulka kuuluvad sisenevad ja väljuvad liinid, konverterid (sealhulgas trafod), lülitusseadmed (võimsus-, lahk- ja maanduslülitid), mõõteseadmed (voolu- ja pingetraford), latistus ja maanduspaigaldis. Alajaama sekundaarosa koosneb releekaitse- ja automaatikaseadmetest ning andmehõivesüsteemist.

Releekaitse ülesanne on vähendada avariist tingitud kahju avarii kiire likvideerimise ja selle laienemise vältimise teel. Releekaitse avastab elektrisüsteemi rikke ja lülitab vigastatud seadmed kiiresti ning selektiivselt välja. Alajaama automaatikasüsteemi moodustavad peamiselt mikroprotsessorpõhised alajaama jälgimis-, juhtimis- ja kaitseseadmed. Automaatikaseadmed võtavad vastu ja täidavad juhtimiskorraldusi, mis muudavad lülitite asendit või releekaitse häälestust. Tänapäeval on sageli releekaitse- ja automaatikafunktsioonid integreeritud ühte seadmesse – kohtterminali. Kohtterminal (*IED – Intelligent Electronic*

*Device*) on mikroprotsessorpõhine seade, mis on võimeline täitma mitmesuguseid releekaitse- ja automaatjuhtimise tegevusi ning ka andmehõive ja –side funktsioone. [2]

Alajaamast andmete kogumise, töötlemise ja edastamisega tegeleb andmehõivesüsteem. Tingilikult võib alajaama andmehõivesüsteemi jagada juhtimis- ja jälgimissüsteemiks. Juhtimissüsteem tagab elektrivõrgu dispetšiteenistusele vajaliku info ning peab seetõttu töötama reaalajas 24 tundi ööpäevas ja 7 päeva nädalas. Jälgimissüsteem võimaldab hooldada, häälestada ja parametrizeerida releekaitset ning jälgida alarmiseadmeid, elektri kvaliteedi mõõteseadmeid, häiremeerikuid ning diagnostika- ja võrguseadmeid. [2]

Jälgimissüsteemi nimetatakse ka kaughaldussüsteemiks, tulenevalt võimalusest selle abil alajaama seadmeid andmesidevõrgu kaudu seadistada ning teha muid toiminguid, mis nõudsid varasemalt personali kohaleminekut.

Peamisteks andmehõivega tegelevateks seadmeteks alajaamas on kohtterminalid, mis koguvad informatsiooni mõõteanduritelt, lülititelt ja teistelt alajaama seadmetelt. Saabuv informatsioon teisendatakse sobivale kujule (digitaliseeritakse), töödeldakse ning salvestatakse. Vajalik informatsioon edastatakse kõrgemale juhtimistasemele sobivas mahus, vajalikul ajamomendil ning ettenähtud viisil. Kõrgepingealajaamas edastavad kohtterminalid vajaliku informatsiooni sideseadmele, mida nimetatakse kaugterminaliks. Kaugterminal on alajaama andmehõivesüsteemi kese ning selle ülesanne on registreerida alajaamas toimuv, edastada mõõteandmed ja sündmused dispetšiteenistusele ning võtta vastu juhtimiskorraldused. [2]

Alajaama andmehõivesüsteem koosneb andmevahetust korraldavatest seadmetest, mis on ühendatud alajaama kohtvõrku. Alajaama kohtterminalid saadavad oleku- ja mõõteandmed kohtvõrku ja sealt siderserveri või kaugterminali vahendusel dispetšisüsteemi. Juhtimiskorraldused saabuvad dispetšisüsteemist siderserveri või kaugterminali teel. Andmehõivesüsteem peab andma alajaama olukorrast adekvaatse ülevaate. Seejuures kõiki alajaamas tekkivaid signaale ei ole vaja edastada dispetšisüsteemi. Osasid signaale on tarvis ainult releekaitse ja automaatika häälestamiseks ning nende edastamine väljapoole alajaama ei oma väärtust. Lisaks kasutatakse vähemtähtsate signaalide puhul grupeerimist, mis võimaldab märkimisväärselt vähendada andmeside mahtu. Alajaamast dispetšiteenistusele edastatavate andmete hulka kuuluvad mõõteandmed, lülitite asendid, trafode astmed, alarmid ja sündmused.

## **1.2. Andmehõivesüsteemi infomahud**

Käesolevas alapeatükis antakse ülevaade kõrgepingealajaamas andmehõivesüsteemi vahendusel kogutavast informatsioonist ning selle edastamise viisist dispetšiteenistusele.



## Mõõteandmed

Vajalikud mõõteandmed edastatakse voolu- ja pingetrafolelt kohtterminalidele. Üldjuhul mõõdetakse kolmefaasilist voolu ( $I_1, I_2, I_3$ ) ja faasipingeid ( $U_1, U_2, U_3$ ) ning nende vahelist nurka ( $\cos\varphi$ ). Samuti võib mõõta liinipingeid ( $U_{12}, U_{23}, U_{31}$ ), kuid sellisel juhul tuleks pingetrafole ühendada faaside vahele, mis on tehniliselt keerulisem. Sellise ühendusskeemi korral peaks pingetrafole isolatsioon taluma kõrgemat pinget, muutes seeläbi mõõtetrafo kallimaks. Lisaks mõõdetakse neutraaljuhisisoolavat nulljärgnevusvoolu ( $I_0$ ) ja pingetrafole avatud kolmnurkmähises tekkivat nulljärgnevuspinget ( $U_0$ ). Saadud mõõtetulemuste alusel arvutatakse liinipinged ( $U_{12}, U_{23}, U_{31}$ ), sagedus ( $f$ ) ning aktiiv-, reaktiiv- ja näivvõimsus ( $P, Q, S$ ). Integreerimise tulemusel saadakse aktiiv- ja reaktiivenergia ( $Wh, VARh$ ). Lisaks on võimalik välja arvutada ahela impedants ( $Z$ ) ning selle abil hinnata lühisekoha kaugust ( $L_K$ ). Ülevaade alajaamast dispetšiteenistusele edastatavatest tüüpilistest mõõteandmetest on esitatud järgnevas tabelis.

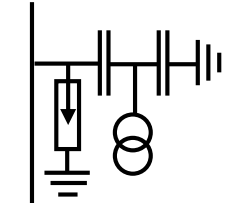
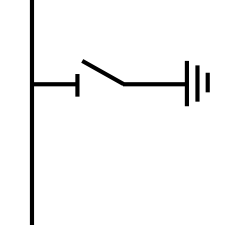
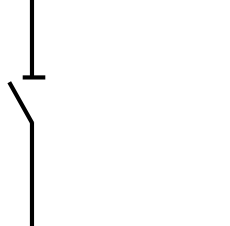
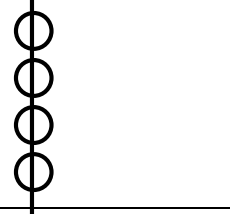
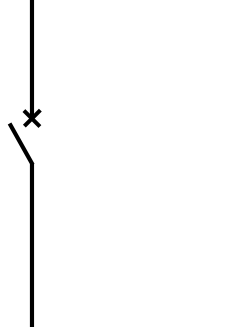
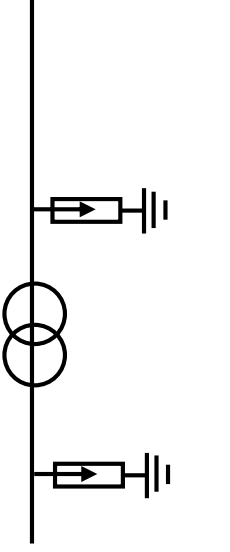
**Tabel 1.1. Edastatavad mõõteandmed [3]**

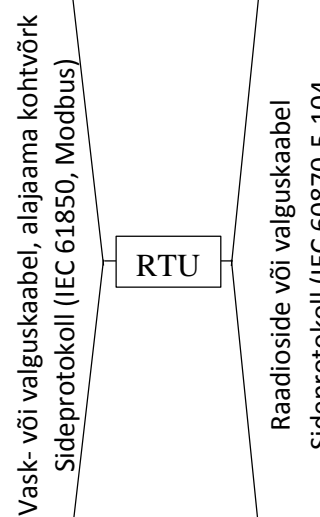
Allikas	Sisendandmed	Edastatavad andmed
Voolutrafo	$I_1, I_2, I_3, I_0$	Vool: $I_1, I_2, I_3, I_0$
Pingetrafo	$U_1, U_2, U_3, U_0$	Pinge: $U_1, U_2, U_3, U_0, U_{12}, U_{23}, U_{31}$
		Võimsus: $P, Q, S$
		Energia: $Wh, VARh$
		Sagedus: $f$
		Impedants: $Z$
		Lühisekoha kaugus: $L_K$

## Objektorienteeritud signaalid

Objektorienteeritud signaalid on seotud ühe kindla seadmega ning nende abil saadakse informatsiooni seadme oleku kohta. Antud signaalid saadakse peamiselt põhiseadme abikontaktidelt. Primaarseadmete puhul on abikontaktid ohutuse ja käidu mugavuse eesmärgil paigutatud seadme klemmkappi või juhtpaneeli. Sekundaarseadmetel on abikontaktid kas sisseehitatud või modulaarsete koostete korral paigutatud põhiseadme külge. Objektorienteeritud signaalide korral kasutatakse sageli grupeerimist, mis võimaldab märkimisväärselt vähendada alajaama ja dispetšiteenistuse vahelise side andmemahutu. Samuti võimaldab see vähendada andmete liiasust. Tabelis 1.2 on välja toodud mõned näited objektorienteeritud signaalidest ning nende grupeerimise põhimõtetest (grupid on esitatud sulgudes). Antud tabelist on näha, et alajaama kõige kallima ja olulisema seadme, trafo, kohta kogutakse kõige rohkem signaale ning neid signaale grupeeritakse ka kõige vähem.

**Tabel 1.2. Primaarseadmete objektorienteeritud andmed**

Primaarseadmed		Releekaitse- ja automaatikaseadmed	SCADA
Pingetrafo		Faasipinge Liinipinge Pingetrafo kaitselüliti väljas Pingetrafo klemmkapi kütte kaitselüliti väljas	Faasipinge Liinipinge Pingetrafo kaitselüliti asend Jaotla kütte rike (G1)
Maandusüliti		Lüliti asend (sees, väljas, vahepealne, võimatu) Ajami kaitselüliti väljas Kohalikul juhtimisel Juhtimine lahutatud Kütte kaitselüliti väljas	Lüliti asend Lahk- või maandusüliti rike (G2) Jaotla kütte rike (G1)
Lahklüliti		Lüliti asend (sees, väljas, vahepealne, võimatu) Ajami kaitselüliti väljas Kohalikul juhtimisel Juhtimine lahutatud Kütte kaitselüliti väljas	Lüliti asend Lahk- või maandusüliti rike (G2) Jaotla kütte rike (G1)
Voolutrafo		Faasivool Nulljärgnevusvool Voolutrafo alarõhk	Faasivool Nulljärgnevusvool Voolutrafo alarõhk
Võimsusüliti		Lüliti asend (sees, väljas, vahepealne, võimatu) Vedru vinnastamata Ajami kaitselüliti väljas Kohalikul juhtimisel Juhtimine lahutatud Väljalülitusahela 1 rike Väljalülitusahela 2 rike Kütte kaitselüliti väljas	Lüliti asend Võimsusüliti rike Väljalülitusahela rike Jaotla kütte rike (G1)
Jõutrafo		Õli temperatuur kõrge Mähise temperatuur kõrge Õli temperatuuri kaitse töö Mähise temperatuuri kaitse töö Jugarelee töö Ülerõhuklapi töö Gaasikaitse asend Gaasikaitse signaal Gaasikaitse töö Gaasikontsentrat. kõrge Gaasikontsentrat. madal Gaasianalüsaatori rike Õlinivoo madal Jahutuse rike Trafo klemmkapi kütte kaitselüliti väljas	Õli või mähise ületemperatuur Õli temperatuuri kaitse töö Mähise temperatuuri kaitse töö Jugarelee töö Ülerõhuklapi töö Gaasikaitse asend Gaasikaitse signaal Gaasikaitse töö Gaasikontsentrat. kõrge Gaasikontsentrat. madal Gaasianalüsaatori rike Õlinivoo madal Jahutuse rike Jaotla kütte rike (G1)



### Kohtterminali funktsioonide signaalid

Releefunktsioonide signaalidel ei ole lähteallikat, vaid need genereeritakse mikroprotsessor-relees loogikatehete abil. Peamisteks signaalideks on kaitsefunktsioonide käivitumine ja rakendumine ning automaatikafunktsioonide olek ja rakendumine. Tabelis 1.3 on esitatud sagedamini kasutatavad kaitse- ja automaatikafunktsioonid ning nende kohta dispetšiteenistusele edastatav informatsioon.

*Tabel 1.3. Kohtterminali funktsioonide signaalid [3]*

<b>Funktsiooni-plokk</b>	<b>Funktsioon</b>	<b>Edastatav signaal</b>
Kaitse	A faasi lühis	A faasi lühis
	B faasi lühis	B faasi lühis
	C faasi lühis	C faasi lühis
	Liigvoolukaitse	Rakendumine
	Varuvoolukaitse	Rakendumine
	Lühisele lülitamise kaitse	Rakendumine
	Distantkaitse	Rakendumine ja käivitumine
	Diferentsiaalkaitse	Rakendumine
	Võimsuslüli tõekekaitse (VLTK)	Rakendumine
Automaatika	Taaslülitusautomaatika (TLA)	Olek (töös/väljas), rakendumine
	Ühepoolsetaaslülitusautomaatika (ÜTLA)	Olek (töös/väljas), rakendumine
	Süsteemi eraldumise automaatika sageduse järgi (JAAF)	Olek (töös/väljas), rakendumine
	Süsteemi eraldumise automaatika pingi järgi (JAAU)	Olek (töös/väljas), rakendumine
	Sageduse järgi koormuse vähendamise automaatika (SA)	Olek (töös/väljas), rakendumine
	Sageduse järgi koormuse taaslülitusautomaatika (STLA)	Olek (töös/väljas), rakendumine
	Pingi järgi koormuse vähendamise automaatika (PKVA)	Olek (töös/väljas), rakendumine
	Pingi järgi koormuse taaslülitusautomaatika (PTLA)	Olek (töös/väljas), rakendumine
	Voolu järgi koormuse vähendamise automaatika KVAI	Olek (töös/väljas), rakendumine
	Reservlülitusautomaatika (RLA)	Olek (töös/väljas), rakendumine

### Sidevõrgu monitoorimine

Seoses kohtvõrgu kasutamisega alajaama andmehõivesüsteemis jälgitakse pidevalt võrgu parameetreid ning sidealaseid alarme. Siderikke alarmid on dispetšiteenistuse seisukohast äärmiselt olulised, sest nende olemasolust või puudumisest sõltub informatsiooni usaldusväärsus. Informatsiooni kogutakse nii alajaama horisontaal- kui ka vertikaalside toimimise kohta. Horisontaalsideks nimetatakse infovahetust ühe ja sama andmehõivetaseme seadmete

vahel, näiteks kahe kohtterminali vahel. Vertikaalside kujutab endast aga infovahetust andmehõivesüsteemi erinevate tasemete vahel. Peamiseks vertikaalsideks on koht- ja kaugterminalide vaheline ning kaugterminali ja dispetšiteenistuse vaheline informatsiooni- vahetus. Samuti jälgitakse sidekanali korrasolekut ühe ja sama liini vastasotstes ehk erinevates alajaamades paiknevate diferentsiaalkaitsete korral. Üldjuhul grupeeritakse kokku kaitserieleede siderikete signaalid ühe lahtri piires [2]. Selline võimalus eksisteerib tulenevalt andmesideprotokollide telegrammide sisust, mille olekumuutujatega defineeritakse edastatava informatsiooni usaldusväärsus. See tähendab, et rikkeolekumuutuja omandavad vaid need signaalid, mille informatsioon ei ole usaldusväärne ning seeläbi on võimalik eristada, millise kohtterminali siderikkega täpselt tegemist on. Lisaks ei koormata tänu grupeerimisele dispetšiteenistust liigse informatsiooniga. Kohtvõrgu toimimist jälgivad ka võrguseadmed, mis teatud ilmingute esinemisel genereerivad häresignaali.

### **Tehnosüsteemide jälgimine**

Lisaks alajaama sihtotstarbeliste seadmete monitoorimisele jälgitakse ka muude tehnosüsteemide tööd. Näiteks edastatakse dispetšiteenistusele informatsiooni alajaama valvesüsteemi oleku (aktiveeritud/deaktiveeritud), häirete (varas alajaamas) ja rikete kohta. Samuti edastatakse informatsiooni automaatse tulekahjusignalisatsioonisüsteemi (ATS) häire ja rikke kohta. Lisaks võib jälgida kütte-, ventilatsiooni-, välisvalgustuse, valvekaamerate ja teiste süsteemide olekut. [2]

### **1.3. Kasutatavad seadmed**

Alajaama andmehõivesüsteem sisaldab endas väga mitmeid erinevaid seadmeid, millest igaühel on oma kindel ülesanne. Kohtterminalid koguvad vajalikud andmed mõõtetrafodelt, lülititelt ja teistelt seadmetelt ning teevad saadud informatsiooni põhjal vajalikke kaitse- või automaatjuhtimise toiminguid. Töödeldud informatsioon edastatakse alajaama andmehõivesüsteemi topoloogiast tulenevalt järgmisel tasemel paiknevale kaugterminalile, juhtarvutile või sideserverile. Lisaks kasutatakse alajaama andmehõivesüsteemis arvutivõrguseadmeid, millest olulisemad on meediakonverterid ja kommutaatorid.

Järgnevalt on lühidalt kirjeldatud kõrgepingealajaama andmehõivesüsteemis sisalduvaid seadmeid ja nende funktsioone. Kirjelduste juures piirduakse ABB AS-i poolt kasutatavate seadmetega.

#### **Kohtterminal**

Kohtterminalide all mõistetakse seadmeid, mis suudavad täita mitmeid releekaitse ja automaatjuhtimise ülesandeid ning andmehõive funktsioone. Kohtterminalid on ette nähtud

elektrivõrgu jälgimiseks, mõõtmiseks, kaitsmiseks ja juhtimiseks [2]. Kohtterminalide tootjatel on lai valik seadmeid, mis võimaldavad vastavalt elektrivõrgu konfiguratsioonile keerukusele ja vajalikele kaitsefunktsioonidele valida optimaalse lahendi. Olenemata kohtterminali keerukusest saab antud seadme funktsioone jaotada järgmiselt:

- Kaitse
- Mõõtmine
- Juhtimine
- Primaarseadmete seisundi ja korrasoleku jälgimine
- Andmevahetus ja side

Järgnevalt antakse iga nimetatud funktsiooni kohta lühike ülevaade ning kirjeldatakse selle olulisust elektrivõrgu seire ja andmehõivesüsteemi seisukohast.

### **Kaitse**

Kohtterminali peamiseks ülesandeks on tagada elektrivõrgu ja selle elementide kaitse olenemata, kas tegemist on maandamata, kompenseeritud või maandatud neutraaliga võrguga. Kohtterminale on nii universaalseid kui ka spetsiifiliste kaitsefunktsioonidega. Universaalseid kohtterminale nimetatakse fiidriterminalideks ning need sisaldavad endas mitmeid kaitsefunktsioone lihtsamate elektrivõrgu konfiguratsioonide jaoks. Keerulisemate võrkude jaoks kasutatakse spetsiifilisi kohtterminale. [2]

Põhivõrgu alajaamades kasutatakse põhi- ja reservkaitse funktsioonide täitmiseks töökindluse tagamise eesmärgil eraldiseisvaid kohtterminale. Seejuures on põhi- ja reservkaitsed erineva tööpõhimõttega. Näiteks võib põhikaitse olla diferentsiaalkaitse ning reservkaitse distantskaitse või liigvoolukaitse.

Kohtterminali kaitsefunktsioonide hulka kuuluvad näiteks distantskaitse, diferentsiaalkaitse, mitmeastmeline suunatud ja suunamata liigvoolukaitse, mitmeastmeline suunatud ja suunamata maaühenduskaitse, faasi katkemise kaitse, võimsuslüliti tõrkekaitse, ala- ja ülepingekaitse, lühiselelülitamise kaitse ja muud kaitsefunktsioonid.

### **Mõõtmine**

Kohtterminalide peamiseks mõõtesisendiks on kolmefaasiline vool ja pinge, mis saadakse mõõtetetrafoldele. Voolu ja pinget mõõdetakse sekundaarahelates, mille korral on voolu väärtuseks tulenevalt voolutrafo tüübist 1A või 5A ning pinge väärtuseks üldjuhul  $100/\sqrt{3}$  V. Nii voolu kui ka pinge korral on võimalik kasutada kolme- või neljajuhmelist ühendusviisi. Lisaks on võimalik mõõta voolutrafo neutraaljuhise kulgevat nulljärgnevusvoolu ning pingetrafo avatud kolmnurkmähises tekkivat nulljärgnevuspinget.

Lisaks voolu ja pinge mõõtmisele on võimalik teostada mõõtmisi milliamperiskaalal. Mõõdetavateks suurusteks võivad olla näiteks temperatuur, tuule kiirus, trafo astmelüliti asend ning muud signaalid, mille puhul väljendab mõõteseade hetkeolekut milliamperväljundi abil.

### **Juhtimine**

Kohtterminalide juhtimisfunktsioonid jagunevad juhitavate objektide seisukohast kaheks: väliste seadmete juhtimine ning kohtterminali funktsioonide juhtimine. Kohtterminali peamiseks juhtimisfunktsiooniks on kõrgepingelülite asendite muutmine. Võimsuslülititel on töökindluse tagamiseks üldjuhul kaks väljalülituspooli ning samuti on tagatud kaks iseseisvat väljalülitusahelat. Sellest tulenevalt on ka kohtterminalil võimsuslülitil välja lülitamiseks kasutusel kaks iseseisvat väljundkontakti. Võimsuslülitil väljalülitusahelate korrasoleku kontroll on samuti võimalik integreerida kohtterminali sisse ning selleks otstarbeks on ettenähtud eraldi väljalülitusahela jälgimisseadmega (*TCS – Trip Coil Supervisor*) varustatud väljundkontaktid. Võimsuslülitil on tavaliselt ainult üks sisselülituspool ning seetõttu kasutatakse võimsuslülitil sisselülitamiseks ka ainult ühte kohtterminali väljundkontakti. Lahk- ja maanduslülitil juhtimiseks kasutatakse samuti ainult ühte kontakti. Lisaks lülite asenditele on võimalik kohtterminali kaudu juhtida ka muid seadmeid.

Lisaks välistele seadmetele on võimalik nii kohtterminali kasutajaliidese (*HMI – Human Machine Interface*) või telejuhtimise teel juhtida kaitse ja automaatika funktsioonide tööd. Peamiseks lülitusoperatsioonideks on automaatika funktsioonide sisse või välja lülitamine ning vastavalt elektrivõrgu konfiguratsioonile sättegruppide muutmine. Siinkohal on oluline vahet teha juhtimisfunktsioonidel ja kohtterminali kaughalduse funktsioonidel. Juhtimiskäsklusi edastab kohtterminalile dispetšer ning need käsud täidetakse kohe. Kaughalduse teel on võimalik üle veebiliidese muuta kaitsefunktsioonide sätteid, lugeda häiresalvestise kirjeid, jälgida logiraamatut ja palju muud. Seejuures saab kaughalduse teel muuta ka kohtterminali selliseid parameetreid, mis nõuavad terminali taaskäivitamist.

### **Automaatika**

Tänu mikroprotsessoritele on võimalik kohtterminalides teha keerulisi loogikatehteid, mille abil saab teostada erinevaid automaatikaprotsesse. Peamiseks automaatika funktsioonideks on taaslülitusautomaatika (TLA) ja reservlülitusautomaatika (RLA). Lisaks kasutatakse süsteemi eraldumise automaatikat (JAAF, JAAU), koormuse vähendamise automaatikat (SA, PKVA, KVAI) ja koormuse taaslülitusautomaatikat (STLA, PTLA). Automaatikafunktsioonide jaoks vajalik informatsioon saadakse nii kohtterminaliga seotud primaarseadmetelt kui ka teistelt kohtterminalidelt. Kõiki automaatikafunktsioone on võimalik telejuhtimise teel töösse ja tööst

välja viia. Samuti edastatakse dispetšiteenistusele informatsioon automaatikafunktsiooni rakendumisest.

### **Andmevahetus ja side**

Kohtterminalid on valgus- või vaskkaabli kaudu ühendatud alajaama kohtvõrguga. Ühenduspunktide arv ja asukoht võib suurel määral erineda, tulenevalt kohtvõrgu struktuurist ning kasutatavatest töö- ja häiringukindluse tagamise meetoditest. Alajaama kohtvõrguga seotud töö- ja häiringukindluse küsimusi käsitletakse lähemalt käesoleva töö 2. peatükis.

Kuna kõik kohtterminalid on ühendatud alajaama kohtvõrguga, siis toimib side nii horisontaalselt (kohtterminalide vahel) kui ka vertikaalselt (kohtterminali ja kaugterminali/sideserveri/juhtarvuti vahel) sama sidevõrgu vahendusel. Andmevahetuseks kasutatakse peamiselt IEC 61850 sideprotokolli, mis põhineb TCP/IP võrgustruktuuril. Lisaks on vanemates alajaamades kasutusel IEC 60870-5-101 ja IEC 60870-5-103 protokollid, mis põhinevad suuresti järjestiksidel. Kohtterminalide omavaheline side toimub IEC 61850 sideprotokollis sisalduvate GOOSE (*General Object Oriented Substation Event*) sõnumitega. Andmesidevõrgu paremaks haldamiseks on horisontaalside jaoks ette nähtud eraldiseisev virtuaalne kohtvõrk (*VLAN – Virtual Local Area Network*).

### **ABB kohtterminalide tooteperekond RELION®**

ABB kohtterminalide tooteperekond Relion® jaguneb erinevate funktsioonide ning keerukusastmetega tootegruppideks (vt joonis 1.1). Funktsioonide järgi eristatakse kokku 15 erinevat gruppi alustades fiidriterminalist ja lõpetades laisüsteemikaitsega. Kohtterminali funktsionaalsust tähistatakse tähekombinatsiooniga (REF, REM jne). Keerukusastme järgi jagatakse kohtterminalid kaheksaks tooteseeriaks, mida tähistatakse numbrikombinatsiooniga (605, 610, 611, 615, 620, 630, 650, 670). [4]

- Fiidriterminal ehk REF seeria (*Feeder protection*)
- Juhtimisterminal ehk REC seeria (*Bay control*)
- Trafo kaitseterminal ehk RET seeria (*Transformer protection*)
- Liini distantkaitseterminal ehk REL seeria (*Line distance protection*)
- Liini diferentsiaalkaitseterminal ehk RED seeria (*Line differential protection*)
- Mootori kaitseterminal ehk REM seeria (*Motor protection*)
- Generaatori kaitseterminal ehk REG seeria (*Generator protection*)
- Latikaitseterminal ehk REB seeria (*Busbard protection*)
- Kondensaatorite kaitseterminal ehk REV seeria (*Capacitor bank protection*)
- Laisüsteemikaitseterminal ehk RES seeria (*Wide area protection*)

- Võimsuslüliti kaitseterminal ehk REQ seeria (*Breaker protection*)
- Pingekaitseterminal ehk REU seeria (*Voltage protection*)
- Voolukaitseterminal ehk REJ seeria (*Current protection*)
- Koormusvähendusterminal ehk PML seeria (*Load shedding*)
- Fiidriautomaatikaterminal ehk RER seeria (*Feeder automation*)



***Joonis 1.1. ABB kohtterminalide tooteperekond Relion® [5]***

### **Kaugterminal**

Kaugterminal on alajaama andmehõivesüsteemi kese ning selle ülesanne on registreerida alajaamas toimuv, edastada dispetsiteenistusele mõõteandmed ja sündmused ning võtta vastu juhtimiskorraldused. Kaugterminal peab eristama saabuvat signaali müra-st, omama piisavalt suurt mälu sündmuste säilitamiseks siderikete korral, side taastumisel edastama saatmata jäänud andmed, tagama andmete uuendamise vajaliku kiiruse, võimaldama jadajuhtimist ning suutma konverteerida sideprotokolle erinevate seadmete ladusa andmevahetuse tagamiseks. [2]

Kaugterminalid on kõige sagedamini kasutatavad alajaama andmehõivesüsteemi kõrgeima kihi elemendid, mis hangivad informatsiooni teistelt alajaama seadmetelt ning edastavad selle vajalikul kujul dispetsiteenistusele.

### **Ülesehitus**

Selleks, et tagada maksimaalne funktsionaalsus minimaalse hinna juures, on kaugterminalid modulaarse ülesehitusega. Tänu sellele on võimalik komplekteerida täpselt vajalike funktsioonidega seade, mida on võimalik moodulite lisamisega lihtsasti laiendada. Kaugterminali kõige tähtsamaks mooduliks on sidemoodul, mis sisaldab lisaks sideühendustele ka protsessorit. Kogu andmetöötluse, protokollide konverteerimise, loogikatehete, andmehõive



ja –edastamise eest vastutab kaugterminali protsessor. Protsessor kogub vajaliku informatsiooni kaugterminali side- ning sisend- ja väljundmoodulite kaudu, töötleb informatsiooni vastavalt konfiguratsioonile ning edastab selle vajalikul kujul dispetšiteenistusele. Kaugterminali sideühenduste arv ja tüüp sõltub konkreetsest sidemoodulist, kuid võimalik on kasutada *Ethernet* (10/100BaseT) ning jadaühendust (RS-232/482). Sidefunktsionaalsuse laiendamiseks on võimalik kasutada nii manageeritud kui ka manageerimata kommutaatoreid (*managed or unmanaged switch*), mille korral on võimalik kasutada nii RJ45 pistikuga vaskkaableid kui ka LC pistikuga valguskaableid. Jadaühenduste korral (IEC 60870-5-101/103) on võimalik kasutada eraldi sidekonvertereid. Samuti on olemas eraldiseisvad modem-moodulid. Lisaks sidemoodulitele kasutatakse laialdaselt sisend- ja väljundmooduleid, mille abil on võimalik kaugterminalil koguda informatsiooni ning teha vajalikke lülitusi. Sisend- ja väljundmooduleid kasutatakse nii digitaalse kui ka analoogkujul informatsiooni vahetamiseks. Kaugterminali on võimalik lisada ka ajasünkronisatsiooni moodul koos antenniga. [6]

### **Töökindlus**

Kaugterminali koostamisel on võimalik õigete moodulite valimisel kasutada mitmeid võtteid töökindluse tõstmiseks. Kõige levinumaks töökindluse meetmeks on kahe sõltumatu toiteploki kasutamine. Kõrgepingejalaamas kasutatakse seadmete abitoitena akusid, mille nimipinge on kas 110 VDC või 220 VDC. Töökindluse eesmärgil kasutatakse kahte eraldiseisvat akusektsiooni. Kaugterminali jaoks kasutatakse eraldiseisvaid toiteplokkide, mis on ühendatud erinevate akusektsioonidega. Sellisel juhul on tagatud kaugterminali töötamine ka siis kui üks akusektsioon avariiliselt välja lülitub või esineb toiteploki rike. [6] Tulenevalt seadmete kõrge töökindlusest on kahe samaaegse rikke tõenäosus niivõrd väike, et see on võrguettevõttele aktsepteeritav.

Teiseks oluliseks töökindluse meetodiks on protsessorite dubleerimine. Sellisel juhul töötavad kaks protsessorit pidevalt paralleelselt ning kui põhiprotsessoriga peaks midagi juhtuma, siis võtab tagavara protsessor kõik ülesanded üle. Seejuures genereeritakse ka teade põhiprotsessori rikkest, mis edastatakse dispetšiteenistusele. Lisaks on ka kaugterminal ühendatud alajaama kohtvõrguga üldjuhul kahe sidekanali kaudu minimeerides seeläbi sidekanali rikkest tulenevat kahju. [6]

### **Arhiivid**

Kaugterminalide üheks peamiseks funktsiooniks informatsiooni edastamise kõrval on sündmuste arhiivide koostamine. Arhiveeritavad signaalid määratakse kaugterminali konfiguratsiooni käigus. Võimalik on arhiveerida asendi- ja juhtimissignaale, mõõtmistulemusi,

loendurite väärtusi, kohtterminalide häiresalvestisi, mõõteseadmete koormusgraafikuid ja muid sündmusi. Kõigile arhiividele on võimalik ligipääseda veebiliidese vahendusel kasutades selleks kasutajanime ja parooliga autentimist. Lisaks on võimalik kaugterminali konfiguratsioonis ära määrata alarmeerivad signaalid, millele on võimalik lisada alarmi klasse ning kviteerimise vajadust. Sellisel juhul on operatiivpersonalil alajaamas olles selge ülevaade kõigist toimunud või hetkel aktiivsetest alarmidest, ega pea toimunud sündmusi arhiivikirjetest eraldi otsima. [6]

### **Kasutajaliides**

Kaugterminaliga on võimalik ühendada juhtimisarvuti, milles saab kuvada alajaama elektriskeemi, lülitite asendeid, automaatikafunktsioonide olekuid ja mõõtmistulemusi, teostada juhtimisprotseduure, lugeda arhiivikirjeid, jälgida ja kviteerida alarme. Juhtimisarvutina võib kasutada selleks ettenähtud kaugterminali moodulit koos tavalise monitori, hiire ja klaviatuuriga või eraldiseisvat Windows operatsioonisüsteemiga arvutit. Sageli leiab kasutust puuetundliku ekraaniga tööstuslik juhtimisarvuti. [6]

### **Küberturve**

Kuna alajaama kaugterminalid on ühendatud dispetšiteenistusega üle laivõrgu, on küberturve äärmiselt oluline. Sellest tulenevalt on kaugterminalides kasutusel erinevad küberturbe-meetmed. Kasutatakse kasutajanimede ja paroolide haldamist ning iga sisenemise ja sisenemiskatse registreerimist. Samuti on kasutusel virtuaalsed privaatorgud (*VPN – Virtual Private Network*). Veebiliides töötab üle turvatud võrgu kasutdes *https*-ühendust. [7]

### **ABB kaugterminalide tooteperekond RTU500**

ABB kaugterminalide tooteperekond kannab nime RTU500, mille raames eristatakse erineva funktsionaalsuse ja võimekusega tootegruppe. Kõige lihtsam ja seeläbi kõige odavam kaugterminalide tootegrupp on RTU511. Veidi laiemate võimalustega on kompaktse disaini ja modulaarse ülesehitusega RTU520 seeria. Tööstusliku disainiga modulaarne kaugterminalide seeria, mis on paigaldatav DIN-liistule kannab nime RTU540. Kõige võimekam ja suurte süsteemide korral enimkasutatav seeria on raamistikpõhine (*rack-based*) modulaarse ülesehitusega RTU560 seeria. [8, 9, 10, 11]



**Joonis 1.2. ABB kaugterminalide tooteperekond RTU500: üleval RTU560, all vasakul RTU520, all keskel RTU540 ja all paremal RTU511 [6]**

### **Juhtarvuti**

Oluliste süsteemialajaamade korral on kaugterminalide asemel või nendele lisaks kasutusel ka juhtarvutid. Viimaste peamine funktsioon on sama mis kaugterminalidel, kuid seejuures on juhtarvutid laiemas ulatuses konfigureeritavad ning pakuvad seeläbi suuremat funktsionaalsust. Arusaadavalt on ka selline süsteem märkimisväärselt kallim võrreldes kaugterminali kasutamisega.

ABB juhtarvuti SYS 600C kujutab endast tööstuslikku arvutit, mis ei oma ühtegi liikuvat elementi ega teisi haavatavaid osasid. Antud arvutit on võimalik kasutada nii sideserverina, lüüsina (*gateway*), protokollikonverterina kui ka kasutajaliidesena. SYS 600C juhtarvuti jooksutab ABB MicroSCADA Pro elektrivõrgu haldustarkvara. [12]



**Joonis 1.3. Juhtarvuti SYS 600C [12]**

## **Füüsiline andmekandja**

Füüsilise andmekandjana kasutatakse kõrgepingealajaamas peamiselt vask- või fiiberoptilist andmesidekaablit. Kasutatava kaabli valik tuleneb seadme võimalikest ühendusportidest ning alajaama kohtvõrgu struktuurist. Eelistatum on valguskaabli kasutamine.

### **Vaskaabel**

Üheks laialdaselt kasutatavaks kohtvõrgu ühendusliini tüübiks on juhtme keerupaaridest koosnev vaskaabel (CAT5, CAT6) ning RJ45-tüüpi pistik. Sellise kaabliga on võimalik informatsiooni edastada kuni 100 meetri kaugusele. Sellest pikema kaabli korral on signaali sumbuvus juhtmes liiga suur ning vastuvõtja ei saa kogu informatsiooni kätte. Samuti tuleb vaskaablite korral arvestada kõrgepingealajaamades suurest elektromagnetväljast tingitud häiringutega, mis seavad kõrged nõudmised kaablite varjestusele. Lisaks tuleb vasest võrgukaablite puhul arvestada võimalike pingepulssidega, mis kujutavad sideseadmetele täiendavat ohtu. [2]

### **Fiiberoptika**

Valguskaabel on kiudoptiline kaabel, milles kaablisoonteks on valgusimpulsse juhtivad klaas- ja plastikkiud. Valguskaablis levivad andmed optilist kiudu ehk fiibrit pidi moduleeritud valgusimpulssidena. Valguse kasutamine sideks on võimalik seetõttu, et valgusküsi toimub valguslainete täielik sisepeegeldumine. Valgusallikana kasutatakse enamasti kas valgusdiiodi või laserit. Alajaama kohtvõrkudes kasutatakse valguskaableid aina sagedamini tulenevalt selle eelistest vaskaabli ees. Fiiberoptilises kaablis on infokandjaks valgus, mistõttu ei põhjusta elektromagnetlained moonutusi edastatavas informatsioonis. Lisaks puudub võimalus võimalike pingepulsside mõjul sidekaabli kaudu seadme kahjustamiseks. [2]

Alajaamades kasutatakse kahte tüüpi valguskaableid – ühemoodseid (*single-mode*) ja mitmikmoodseid (*multi-mode*) kaableid. Ühemoodne kaabel sisaldab ühtainsat valguskiudu, mida saab läbida ainult üks valgusvihk. Tänu selle ehitusviisile on peegelduste arv väiksem ning valgusvihk liigub kiiremini ning kaugemale. Seetõttu kasutatakse ühemoodset valguskaablit peamiselt informatsiooni edastamiseks kaugemate vahemaade korral. Mitmikmoodset kaablil on lai südamik, mistõttu saab seal levida mitu valgusvihku. Samas on peegelduste suure arvu ja sumbuvuse tõttu piiratud valgusvihi kandmine suurte vahemaade taha. [2]

Sellest tulenevalt kasutatakse seadmete ühendamiseks alajaama kohtvõrku mitmikmoodseid valguskaableid, milles valguse lainepikkus on 1310 nm. Informatsiooni edastamiseks dispetšiteenistusele kasutatakse ühemoodseid fiiberoptilisi kaableid, mille korral on kasutatava valgusvihi lainepikkuseks 820 nm. Valguskaablite ühendamiseks kasutatakse mitmeid

erinevaid pistikuid. Enimkasutatavad on LC-, SC- ja ST-tüüpi pistikud. Lisaks neile on olemas veel FC- ja MTRJ-tüüpi ühendusotsikud.

#### **1.4. Kasutatavad sideprotokollid**

Käesolevas alapeatükis antakse lühike ülevaade kõrgepingealajaamades enim kasutatavatest andmehõivet puudutavatest standarditest. Kirjeldatakse IEC 60870 ja IEC 61850 standardiseeriat ning Modbus sideprotokolli.

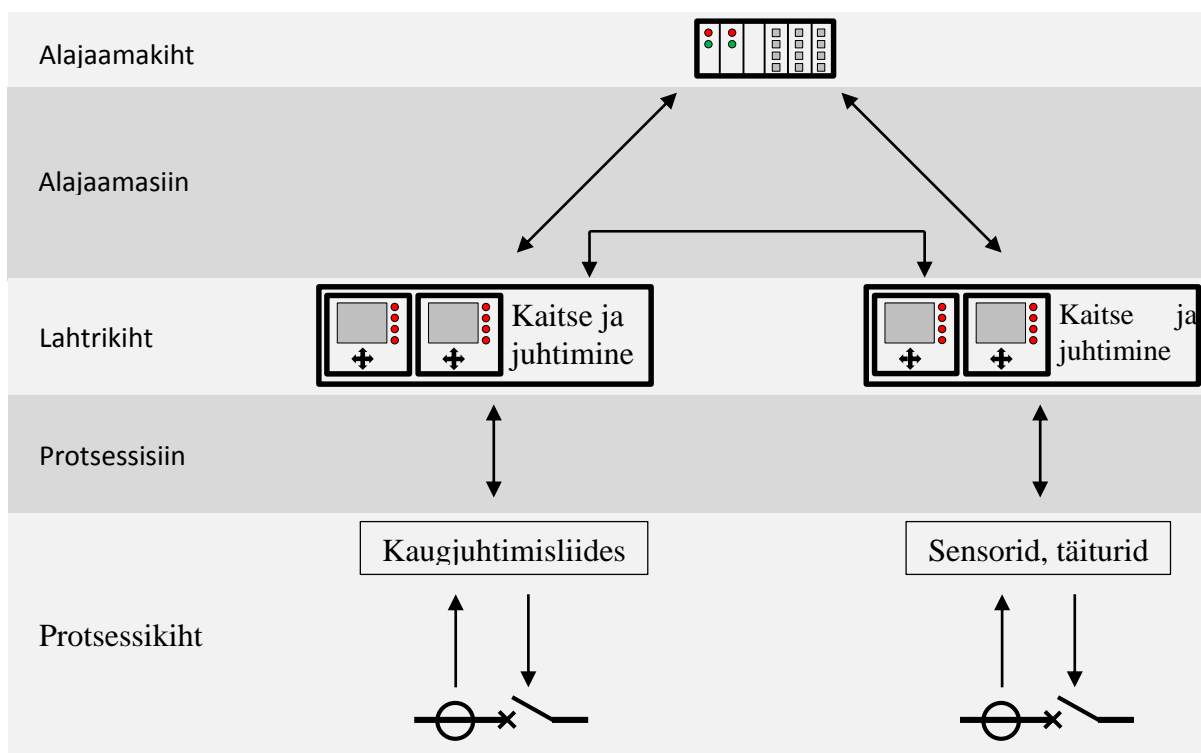
##### **Andmesideprotokollid**

IEC 60870 standardiseeria (*Telecontrol equipment and systems*) käsitleb kaugjuhtimis-seadmeid- ja süsteeme ning selle viies peatükk on pühendatud andmeedastusele. Antud standardiseerias loodud sideprotokoll on suhteliselt lihtne järjestikside, mis katab elektri-süsteemide kaugjuhtimise, releekaitse, energia arvestuse ja muud sidevajadused. IEC 60870-5-101 standardiosa käsitleb telejuhtimise ja infovahetuse põhiülesandeid, IEC 60870-5-102 integreeritud summade ülekannet elektrivõrkudes ning IEC 60870-5-103 andmevahetust digitaalkaitsete, alajaama juhtimissüsteemide ja dispetšisüsteemide vahel. Eestis kasutavad väga paljud jaotusvõrgualajaamad järjestiksideprotokolle IEC 60870-5-101 ja IEC 60870-5-103. IEC 60870-5-104 standard on IEC 60870-5-101 edasiarendus, mis käsitleb muutusi transpordi-, võrgu-, kanali- ja füüsilises kihis, et võimaldada ligipääsu IEC 60870-5-101 ja IEC 60870-5-103 järjestiksidet kasutavatele süsteemidele üle TCP/IP võrgu. See tähendab, et IEC 60870-5-104 standardiga on spetsifitseeritud laivõrgu sideprotokoll, mille eesmärgiks on tagada ühendusorienteeritud turvaline andmeside. Seejuures on IEC 60870-5-104 rakenduskiht jäetud samaks võrreldes IEC 60870-5-101 standardiga. [2]

IEC 61850 standardiseeria (*Communication Networks and Systems in Substations*) käsitleb alajaamade sidevõrke ja -süsteeme. Antud standardiseeria tegeleb alajaamas avatud side loomise ja andmete ohjamisega. IEC 61850 täidab informatsiooni integreeritud haldamise nõudeid ning defineerib standarditud infomudeli. Antud standardiseeria eesmärgiks on tagada erinevate tootjate seadmete parem ühilduvus ning kasutada ära infotehnoloogia arenguid. IEC 61850 standardikohane side toimib üle TCP/IP võrgustruktuuri. Seoses TCP/IP võrgu laialdase kasutamisega nii kommerts- kui ka tööstuslikes rakendustes on vajalikud seadmed ja tehnoloogia kiiresti arenenud, mis võimaldab antud tehnoloogia eeliseid kasutada ka alajaamade andmehõivesüsteemides. Valdav osa uutest alajaamades kasutavad täies mahus IEC 61850 standardikohast telemaatikat. [2]

IEC 61850 standardipõhise ühilduvuse tagab alajaamade andmehõivesüsteemides kasutatava infomudeli täpne spetsifitseerimine. Standardis on ära määratud mitte ainult kuidas, vaid ka

millist informatsiooni tuleb vahendada. Antud standard jaotab alajaama andmehõivesüsteemi kolmeks erinevate nõuete ja ülesannetega kihiks. Protsessikihi (*process level*) moodustavad alajaama primaarseadmed (lülitid, voolu- ja pingetrafod) ning jaotlas paiknevad sisendväljundseadmed. Lahtrikiht (*bay level*) sisaldab ühe lahtri piires kasutatavaid kaitse- ja kontrollseadmeid (IED). Alajaamakiht (*station level*) koosneb seadmetest ja funktsioonidest, mis vastutavad andmeedastuse eest SCADA serveritega või hõlmavad alajaamas rohkem kui ühte lahtrit. Nimetatud kolm kihti on omavahel seotud kahe erineva siiniga: alajaama- ning protsessisiin. Protsessisiini ülesandeks on tagada reaalajas andmevahetus, kuna selle abil edastatakse ajakriitilist informatsiooni. Alajaamasiini kasutatakse lahtrikihi ja alajaamakihi ühendamiseks, mida kasutatakse nii haldamisfunktsioonide jaoks kui ka ajakriitilise informatsiooni edastamiseks. [13, 14]



**Joonis 1.4. IEC 61850 standardipõhise alajaama andmehõivesüsteemi põhimõte [14]**

Lisaks kasutatakse alajaamades lihtsamate seadmete korral andmete edastamiseks Modbus sideprotokoll. Modbus on järjestiksisel põhinev protokoll, mis võimaldab kliendi ja serveri vahelist ühendust ülem-alluv süsteemi kohaselt. Modbus sideprotokoll on võimalik edastada nii RS232 kui ka RS485 sideliini vahendusel. RS232 sideliin koosneb minimaalselt kolmest juhtimest: edastav (*transmit*), saabuv (*receive*) ja maandusjuhe (*ground*). Kui informatsiooni edastatakse ainult ühes suunas, siis piisab ainult kahejuhtmelisest (edastav ja maandusjuhe) ühendusviisist. RS232 korral tekib edastuspinge edastava juhtme ja maa potentsiaali vahel, kuid RS485 sideliini korral kasutatakse diferentsiaalsignaali kahe juhtme vahel. Sellest tulenevalt on RS485 sideliini korral vaja kahte juhet nii edastava signaali (TxD+ ja TxD-) kui

ka saabuva signaali (RxD+ ja RxD-) jaoks. Signaalimüra vähendamiseks ja seadme kaitseks on lisatud maandusjuhe. Diferentsiaalsignaali rakendamine võimaldab kasutada järjestiksidet ka pikkade vahemaade korral. Nii RS232 kui ka RS485 sideliini kaudu kasutatakse Modbusi peamiselt mõõtemuundurite ja energia kvaliteedianalüsaatorite lisamiseks alajaama andmehõivesüsteemi. Modbus-põhise side eeliseks on see, et mitu erinevat seadet on võimalik ühendada jadamisi ning ainult üks jada ots tuleb ühendada andmehõivesüsteemiga. Selleks et eristada millisel seadmelt informatsioon pärineb, määratakse igale seadmele number (*slave number*). Antud number sisaldub igas edastatavas kaadris. [15] Sõltuvalt kasutatavast kaugterminalist on võimalik seadmed ühendada kaugterminaliga kas otse või protokollikonverteri vahendusel.

### **1.5. Kasutatavad andmehõivesüsteemi topoloogiad**

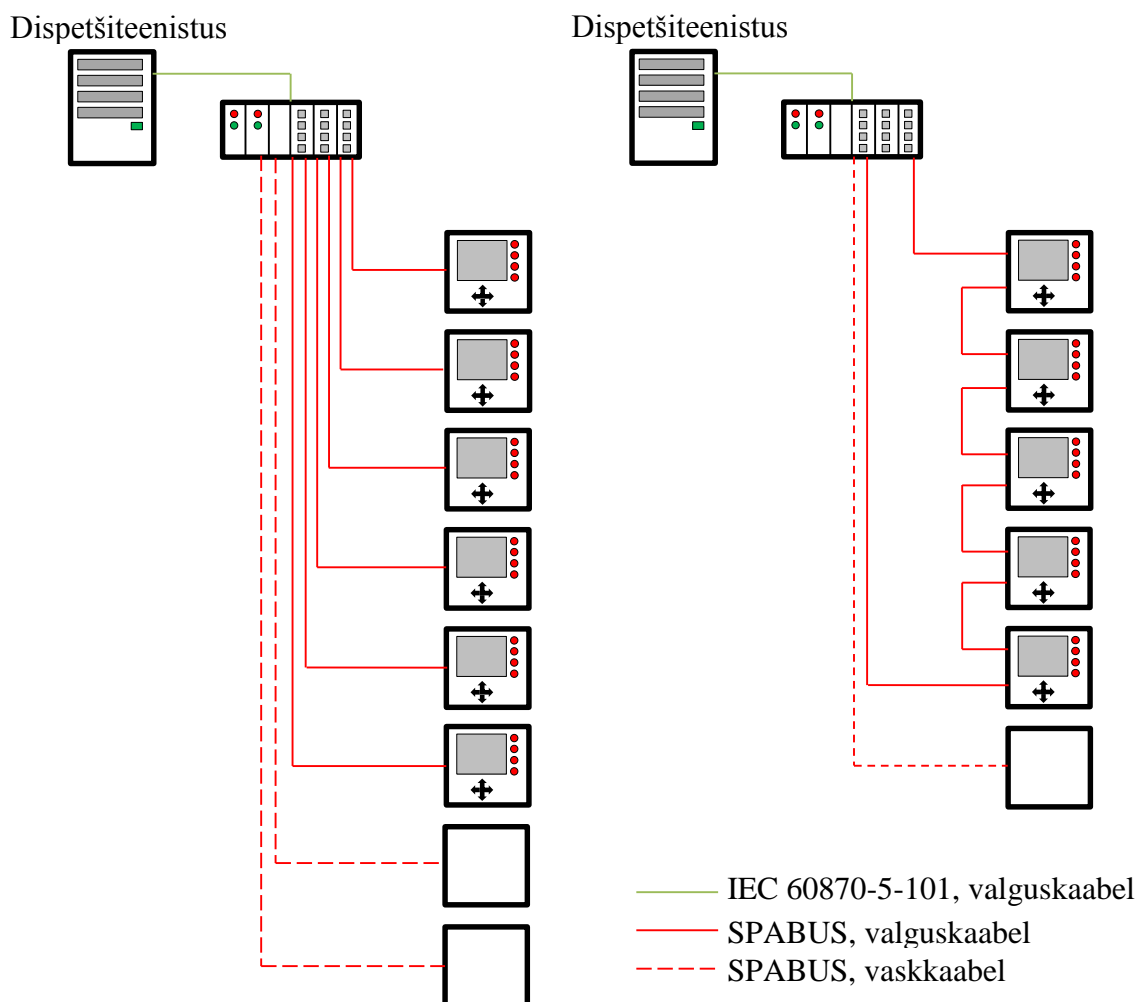
Käesolevas alapeatükis esitatakse mõned näited hetkel kasutuses olevatest kõrgepingealajaamade andmehõivesüsteemidest. Kokku kirjeldatakse kolme erinevat süsteemi, alustades kõige vanemast ning lõpetades tänapäeval paigaldatava lahendusega. Esitatud andmehõivesüsteemid on näitlikud ega sisalda täit informatsiooni kasutatavate seadmete ega muude parameetrite kohta.

#### **Tootjapõhised sideprotokollid põhinevad süsteemid**

Kümmekond aastat tagasi põhinesid alajaama andmehõivesüsteemid suuresti tootjapõhised standarditel. See tähendas, et erinevate tootjate seadmete ühildamine oli äärmiselt keeruline. Laialdasemalt kasutusel olevad tootjapõhised sideprotokollid on SPA-bus (ABB) ning Profibus (Siemens). Joonisel 1.5 on esitatud 2005. aastal ehitatud alajaamas kasutusel olev tootjapõhised sideprotokollid põhinev andmehõivesüsteem.

SPA-bus on ABB sideprotokoll, mis on loodud spetsiaalselt releekaitse, juhtimiskäskude ja sündmuste teavitamise süsteemina. SPA-bus töötab asünkroonse järjestikside põhimõttel andmeside kiirusega kuni 9600 bit/s. Edastatavad sõnumid koosnevad ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*) tähemärkidest. Antud sideprotokoll põhineb ülem-alluv suhtel, kusjuures kogu suhtlus toimub ülema initsiatiivil. See tähendab, et alluv ei edasta enesealgatuslikult informatsiooni, vaid ülem on teadlik alluvas sisalduvas infos ning esitab vajadusel päringu selle saamiseks. Lisaks on võimalik ülemaal edastada informatsiooni alluvatele kas üksikult (nt juhtimiskäskud) või kõigile korraga (nt ajasünkroniseerimine). SPA-busi füüsilise kandjana on võimalik kasutada nii valguskaablit kui ka RS485-põhist vaskaabelvõrku. [16]

Profibus loodi 1989. aastal Saksamaa hariduse ja uuringute osakonna (*German department of education and research*) poolt, misjärel võttis selle sideprotokoll kasutusse eeskätt Siemens. Hiljem defineeriti Profibus IEC 61158 standardis. Sarnaselt SPA-bus sideprotokolliga põhineb ka Profibus järjestiksidel ning on teostatav nii fiiberoptilise kui ka RS485-põhise vaskaabelvõrguna. [17]



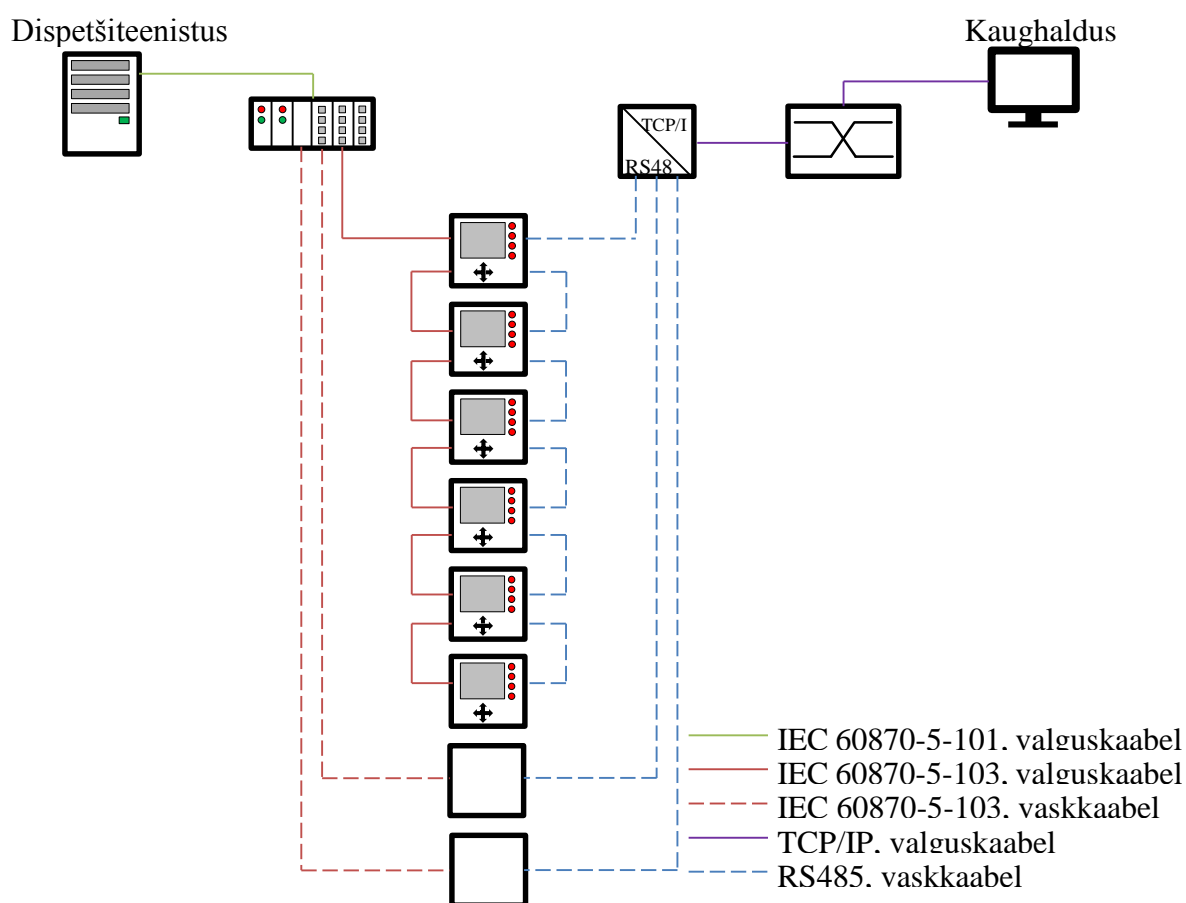
*Joonis 1.5. Andmehõivesüsteemi põhimõte 2005. aastal ehitatud alajaamas – vasakul tähtühendus, paremal ringühendus*

### **IEC 60870 standardipõhine andmehõivesüsteem**

Enne TCP/IP-põhiste võrkude laialdasemat kasutuselevõttu kõrgepingealajaamade andmehõivesüsteemides, kasutati enamasti IEC 60870 standardi viiendas osas käsitletud järjestiksideprotokolle. Alajaama siseselt kasutati kohtterminalide ühendamiseks kaugterminaliga IEC 60870-5-103 sideprotokoll ning ühendus dispetšiteenistusega loodi IEC 60870-5-101 sideprotokoll vahendusel. Lisaks andmehõivesüsteemile rakendati eraldi kaughaldussüsteemi, mis toimis alajaama väliselt TCP/IP-põhiselt ning alajaama siseselt järjestiksidel. Joonisel 1.6 on näide 2008. aastal ehitatud alajaama andmehõivesüsteemist.



Jooniselt on näha, et ajakriitilise informatsiooni edastamiseks ning seadmete haldamiseks kasutatakse kahte füüsiliselt erinevat sidevõrku. Infovahetus dispetšiteenistusega toimub sideprotokolli põhisel vastavalt seadistamise käigus määratud infomahule. Kaughaldus toimib üle TCP/IP võrgu meediakonverteri vahendusel. Kaughalduskanali kaudu on võimalik muuta näiteks relekaitse sätteid, laadida alla logifaile ja lugeda häiremeerikuid. Olulisemad ühendused on teostatud valguskaabliga, mis on joonisel kujutatud pidevjoonega. Väiksema nõutava häiringukindluse tasemega ühendused on teostatud vaskkaabliga ning on joonisel kujutatud katkendjoonega. Alajaama ja dispetšiteenistuse vaheline valguskaabel võib teatud juhtudel olla asendatud ka raadiosideühendusega. Samuti võivad olla alajaama andmehõivesüsteemis kasutusel Modbus sideprotokolli abil ühendatud mõõtemuundurid.



*Joonis 1.6. Andmehõivesüsteemi põhimõte 2008. aastal ehitatud alajaamas*

### **IEC 61850 standardipõhine andmehõivesüsteem**

Joonisel 1.7 on esitatud käesoleval hetkel Eesti elektrivõrgu süsteemioperaatori Elering AS tehnilistes nõuetes kirjeldatud andmehõivesüsteem. Infovahetus alajaama kaugterminali ja dispetšiteenistuse vahel toimib IEC 60870-5-104 sideprotokolli alusel. Füüsiliseks andmekandjaks on üldjuhul Televõrk AS poolt opereeritav üleriigiline fiiberoptiline sidevõrk.

Elektrilevi alajaamade puhul kasutatakse alajaama ja dispetsikeskuse vaheliseks sidepidamiseks sageli Elioni sidevõrku või raadiosideühendust. [18]

Alajaamasiseseks infovahetuseks koht- ja kaugterminali vahel kasutatakse IEC 61850 sideprotokolli. Kohtterminalide omavaheliseks andmevahetuseks kasutatakse samas standardis defineeritud GOOSE sõnumeid. Võrgu läbilaskevõime suurendamiseks kasutatakse virtuaalseid kohtvõrke (*VLAN – Virtual Local Area Network*) ning kaadrite prioritseerimist. Seejuures on kõige kõrgem prioriteet GOOSE sõnumitel, sest neist sõltub automaatika-funktsioonide toime.

Tulenevalt IEC 61850 sideprotokolli rakendamiseks välja ehitatud kohtvõrgu olemasolust, kasutatakse seda ära ka kaughalduse eesmärgil. Sellest tulenevalt on alajaama kohtvõrguga liidetud kõik seadmed, millel on kaughaldusplatvorm, sealhulgas ka need, mis ei ole seotud alajaama releekaitse ja automaatika funktsioonidega. Selliste seadmete hulka kuuluvad näiteks arvestid, alaldid, lühisekoha kauguse määrajad, häiremeerikud ja signalisaatorid. Seadmed, millel puudub TCP/IP võrguliides, liidetakse alajaama kohtvõrguga meediakonverterite abil. Alajaama seadmed, mis ei võimalda kaughaldust, võivad olla liidetud ka vahetult kaugterminaliga. Sellised seadmed on näiteks mõõtemuundurid, millest saadakse informatsiooni Modbus sideprotokolli vahendusel.

Võrgu häiringukindluse tõstmiseks kasutatakse samaaegselt järgnevaid meetodeid [18, 19]:

- 1) Alajaama seadmete jaotamine erinevate kommutaatorite vahel.

Antud meetodi eesmärgiks on kommutaatori rikkest tuleneva kahju minimeerimine. Üldjuhul jaotatakse seadmed nelja kategooriasse: 1) kõrgepinge põhikaitse, 2) kõrgepinge reservkaitse, 3) keskpinge kohtterminalid ning alajaama automaatika-seadmed, 4) muud seadmed.

- 2) Kohtvõrgu liiasusprotokolli (*network redundancy protocol*) kasutamine.

Kommutaatorid on omavahel ühendatud RSTP liiasusprotokolli poolt kontrollitava 1 Gbit/s kiirusega ringvõrguga. Alajaama seadmed on liidetud kommutaatoritega 100 Mbit/s võrguühendusega.

- 3) Kahe toiteploki kasutamine.

Selleks, et minimeerida toitekatkestusest tulenevat kahju, kasutatakse nii kommutaatoritel kui ka kaugterminalil kahte eraldiseisvat toiteploki, mis on ühendatud alajaama alalisvoolukeskuse erinevate sektsioonidega.

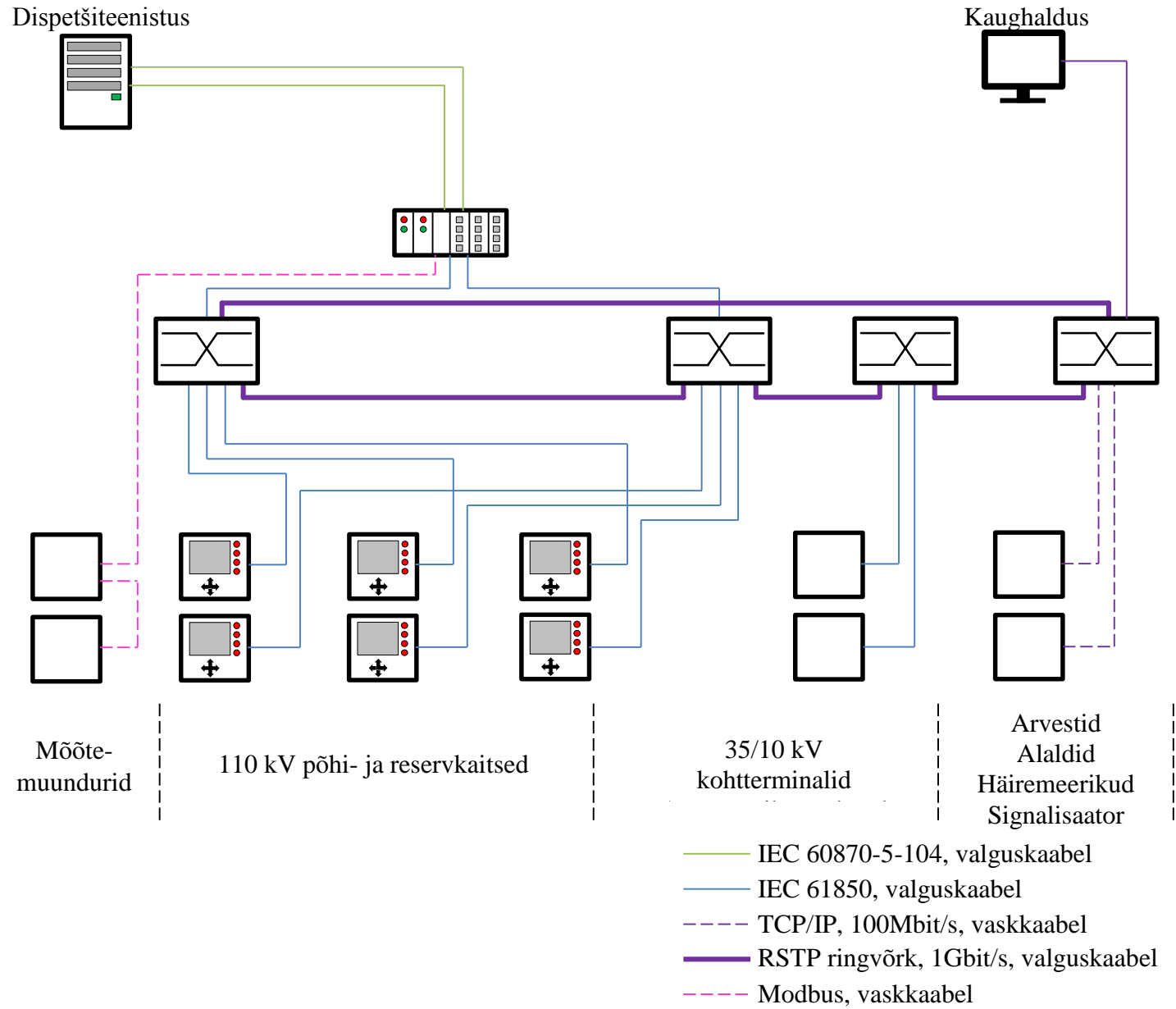
- 4) Kahe protsessori kasutamine kaugterminalis.

Antud meetodit kasutatakse selleks, et minimeerida kaugterminali protsessori või kaugterminali ja alajaama kommutaatori vahelise sidekanali rikkest tulenevat kahju.

See meetod on äärmisel oluline, sest kogu alajaama ja dispetšiteenistuse vaheline infovahetus toimub kaugterminali vahendusel. Põhi- ja reservprotsessor töötavad paralleelselt, teostades samu protsesse. Seeläbi on põhiprotsessori rikke korral kogu vajalik informatsioon ja arvutusmehhanismid reservprotsessoris juba valmis ning ümberlülituse aeg selle võrra lühem.

5) Dubleeritud sidekanali kasutamine dispetšiteenistuse ja kaugterminali vahel.

Dispetšiteenistuse ja kaugterminali vahel kasutatakse dubleeritud sideühendust. See tähendab, et kasutatav sidevõrk omab kahte alternatiivset ühendust dispetšiteenistuse ja alajaama vahel. Antud sideühenduste toimimise eest vastutab kasutatava sidevõrgu operaator. Siinjuures on oluline märkida, et kaugterminal ei ole antud juhul kaksik-sidestatud seade (*DAN - Double Attached Node*), vaid kaugterminalil on mõlema sideühenduse jaoks eraldi võrguparameetrid.



Joonis 1.7. Andmehõivesüsteemi põhimõte 2015. aastal ehitatud alajaamas [18, 19]

## 2. Alajaama kohtvõrgu häiringukindlus

Kõrgepingealajaamade andmehõivesüsteem tugineb suuresti mikroprotsessorpõhistel kohtterminalidel, mis koguvad informatsiooni ning edastavad seda alajaama kohtvõrgu vahendusel kaugterminalile. See tähendab, et kogu informatsioon elektrivõrgu teatud osa kohta edastatakse kohtterminalist sideühenduse kaudu. See seab aga tingimused sideühenduse töökindlusele. Kui kohtterminal on ühendatud alajaama kohtvõrku üheainsa ühenduskaabliga, siis tekib selle kaabli rikke korral suur informatsioonikadu, kaotatakse juhtimisvõimekus ning tekib oht kaitse- ja automaatikafunktsioonide ebakorrektselt rakendumiseks. Samas ei tohi seadmete vahel olla kahte paralleelset kaablit, mis moodustaksid ringühenduse (lühise). Antud probleemi lahendamiseks on välja töötatud erinevaid liiasusstandardeid, mille kohast kontrolli ning ümberlülitust teostab kohtvõrgu kommutaator (*Ethernet switch*). Kõrgepingealajaamades kasutatakse kõige sagedamini RSTP (*Rapid Spanning Tree*), HSR (*High-availability Seamless Redundancy*) ja PRP (*Parallel Redundancy Protocol*) liiasusstandardeid [20].

*Ethernet* kohtvõrkude töökindlusmeetmed on kirjeldatud IEC 62439 standardiseerias. Eristatakse kahte tüüpi meetmeid: protokollid, mis vajavad võrgu ümberkonfigureerimist ning protokollid, mis ei seda ei vaja. [20]

### 2.1. Häiringukindluse olulisus

Kõrgepingealajaama kaitse- ja juhtseadmed vastutavad kriitiliste rakenduste töötamise eest. Seetõttu peavad IEC 61850 standardikohast informatsiooni edastavad andmesidevõrgud vastama rangetele töö- ja häiringukindluse nõuetele. Antud standard määrab ära erinevate funktsioonide maksimaalsed edastusajad. Näiteks tuleb võimsuslülitil väljalülitus- ja blokeeringukäsud edastada maksimaalselt kolme millisekundi jooksul, informatsioon lüliti asendi muutumise kohta peab jõudma IED-ni vähem kui 10 millisekundiga. Automaatika-funktsioonide puhul on kriitiliste rakenduste jaoks maksimaalne edastusaeg 20 ms ning mittekriitiliste funktsioonide korral 100 ms. Juhtimiskäskude edastamiseks võib kuluda maksimaalselt 500 ms ning sündmuste ja alarmide edastamiseks 1000 ms. Edastusaeg on IEC 61850 standardis defineeritud kui informatsiooni edastamiseks kuluv aeg, mille hulka arvetatakse ka informatsiooni töötlemine nii saatjas kui vastuvõtjas. Aeg käivitub, kui saatja edastab rakenduse informatsiooni transpordikihile ning lõppeb, kui informatsioon jõuab vastuvõtja rakenduskihile. [21]

See tähendab, et informatsiooni edastamise aeg sõltub nii andmesidevõrgu parameetritest kui ka IED võimekusest. IED-s vajaliku uuenduskiiruse tagamiseks kasutatakse kriitiliste

funktsioonide korral kiiretoimelisi funktsiooniplokke ning vähemkriitiliste rakenduste jaoks aeglasemaid aplikatsioone. Nii on võimalik kokku hoida IED protsessori jõudluse arvelt. Nagu eelnevalt mainitud omavad sidevõrgu parameetrid olulist mõju informatsiooni edastamisele. Tänapäeva tööstuslikud võrguseadmed on võimelised tagama vajaliku edastuskiiruse normaalolukorras. Seejuures vajab aga täiendavat uurimist andmesidevõrgu töö- ja häiringukindlus.

Üksiku elemendi rike alajaama andmehõive- ja juhtimissüsteemis on vältimatu, mistõttu tuleb leida lahendusi kahjude minimeerimiseks võimalike rikete esinemise korral. Kõrge häiringukindluse tase on saavutatav täielikult dubleeritud süsteemide korral, mis sisaldavad dubleeritud andureid, kontaktoreid, kontrollereid, sidevõrke ja SCADA rakendusi. Seejuures on aga arusaadav, et selline dubleeritud süsteem on praktikas kasutamiseks liiga kallis. Sellest tulenevalt tuleb leida alternatiivseid lahendusi tõstmaks alajaama juhtsüsteemi häiringukindlust. [22]

Häiringukindluse tõstmiseks on kõik alajaama juhtsüsteemis kasutatavad seadmed tööstusliku disainiga. Samas on alajaama andmehõivesüsteemis olulisel kohal füüsilised sideühendused seadmete vahel vask- või valguskaabli abil, mis võivad kergesti kahjustuda. Sellest tulenevalt on suur tähtsus iseparanevate arvutivõrkude kujundamisel.

Tulenevalt *ethernet*-põhiste kohtvõrkude kasutamisest alajaama andmehõivesüsteemis on võimalik rakendada erinevaid arvutivõrkude häiringukindluse tõstmise meetodeid. Enamikel võrguseadmetel on mitu erinevat häiringukindluse mehhanismi, mille rakendamiseks ei ole vaja muud, kui mõnda lisanduvat kaablit ning tarkvara seadistamist. Alajaamades kasutatavad kohtvõrgu häiringukindluse protokollid töötavad OSI-mudeli (*Open System Interconnection*) teise kihi baasil. See tähendab, et kohtvõrgu häiringukindluse protokolliga kontrolli ja ümberlülitusi teostab vaadeldavasse kohtvõrku kuuluv kommutaator. [22]

Tabelis 2.1 on esitatud rakenduste nõutavad taastusajad. Kui rakenduse töö taastub nõutava aja jooksul, siis loetakse funktsioon saadaval olevaks (*available*). Kui taastumine kestab kauem, kui maksimaalselt lubatud aeg, siis on tegemist rikkega. Seejuures on oluline rõhutada, et sideühenduse taastumine peab olema kiirem, et tagada rakenduse taastumine nõutud aja jooksul. [21]

Esitatud tabelist selgub, et mõõteväärtuste ja latikaitse väljalülituskäsu edastamisel ei tohi olla viiteid sideühenduse rikke korral. Sellest tulenevalt kasutatakse tänapäeval nimetatud signaalide edastamiseks elektrilist signaali vaskkaabli vahendusel. See tähendab, et edastatav signaal ei läbi lisanduvaid seadmeid, mistõttu on kõrvaldatud signaali katkemine mõne seadme rikke tõttu. Alajaamas paiknevad IED-d vahetavad omavahel informatsiooni lülitite asendite,

automaatikafunktsioonide olekute ja rakendumiste kohta üldjuhul andmesidevõrgu vahendusel. See tähendab, et IEC 61850 standardi kohaselt peab sellise informatsiooni vahendamise korral olema tagatud sideühenduste taastumine nelja millisekundi jooksul alates rikke esinemisest. Selline piirang seab ranged nõuded andmesidevõrgu häiringukindlusele.

**Tabel 2.1. Rakenduste ja sideühenduste nõutavad taastusajad [21]**

Sideühendus	Rakenduse taastusaeg	Sideühenduse taastusaeg
SCADA – IED (klient-server)	800 ms	400 ms
IED-IED (blokeeringud)	12 ms	4 ms
Väljalülituskäsk (välja arvatud latikaitse korral)	8 ms	4 ms
Latikaitse väljalülituskäsk	< 1 ms	Viiteta
Mõõteväärtused	Kuni mõni mõõtmisintervall	Viiteta

Häiringukindluse tõstmiseks kasutatakse erinevaid liiasusprotokolle, mille eesmärgiks on tagada tõrkekindlus võrgu mõne elemendi (seadme või sideühenduse) rikke korral. Häiringukindluse tehnoloogiate kõige tähtsamaks parameetrik on süsteemi taastusaeg (*system recovery time*). Taastusaeg on ajaperiood, mis kulub süsteemi normaaltöö taastamiseks peale mistahes rikke esinemist. Taastusaja puhul on oluline omadus deterministlikkus ja lõpliku väärtuse olemasolu. [20]

Süsteemi taastusaeg sõltub suurel määral tõrkesiirde ajast, mis on määratud liiasusprotokollide tööpõhimõttest ja võrgutopoloogiast. Süsteemi taastusaeg hõlmab süsteemi töö taastamiseks kuluvat aega mistahes rikke korral, kuid tõrkesiirde aeg käsitleb võrgu töö taastamiseks kuluvat aega sellise rikke korral, mille kõrvaldamine on automaatselt tagatud liiasustehnoloogiatega. Näiteks, kui häiringukindluse tehnoloogiad on ette nähtud taastama süsteemi tööd üksiku rikke korral, siis võrdub süsteemi taastusaeg tõrkesiirde ajaga. Kui sellises süsteemis esineb samaaegselt mitu riket, siis ei ole võimalik süsteemi tööd taastada tõrkesiirde abil ning on vaja inimese sekkumist. Sellisel juhul on võimalik mõõta ainult süsteemi taastusaega. [20, 22]

## 2.2. Häiringukindluse tagamine võrgu ümberseadistamise teel

Kommutaatorite tööpõhimõte seisneb informatsiooni edastamises portide vahel. Kommutaator uurib igat kaadrit (*frame*) ning salvestab selle MAC aadressi ja pordi, mille kaudu kaader kommutaatorisse jõudis. Selle tulemusena kaardistab kommutaator pidevalt temaga seotud arvutivõrku. Kui kommutaatorisse saabuv kaader on mõeldud antud MAC aadressiga seadmele, siis teab kommutaator, millise pordi kaudu seda kaadrit edastada tuleb. Kui sihtkoha

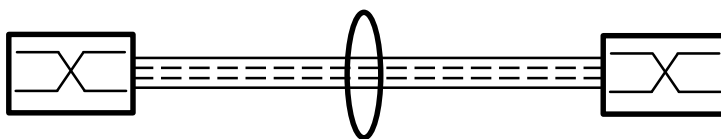
MAC aadress on kommutaatorile tundmatu, siis edastatakse antud kaader kõigist kommutaatori portidest. [23]

Sellest tulenevalt ei tohi *ethernet*-põhised arvutivõrgud sisaldada silmuseid (*loops*), sest viimased põhjustavad informatsiooni lõputut ringlemist koormates asjatult sidevõrku. See tähendab, et informatsioonil võib olla üksainus võimalik teekond kahe seadme vahel. Häiringukindluse tõstmiseks on aga vaja alternatiivset teekonda, et tagada informatsiooni kohale jõudmine ka siis, kui põhikanalis esineb rike. Seetõttu tuleb luua mitu füüsilist ühendust seadmete vahel, kindlustades seejuures, et ainult üks neist ühendustest on korraga aktiivne. Enamike häiringukindluse protokollide puhul monitooritakse sidekanaleid ning kui avastatakse rike, siis lülitatakse tagavarakanalile. Kirjeldatud ümberlülitusmehhanismid põhinevad rikke avastamisel ja võrgu ümberseadistamisel, et taastada kõik sideühendused – antud protseduurid võtavad aega. [22]

### Ühenduste aheldamine

Häiringukindluse tõstmise üheks lihtsaimaks meetodiks on ühenduste aheldamine (*Link aggregation*). Sideühenduste aheldamise kontrolli protokoll (*Link Aggregation Control Protocol*) IEEE 802.1ad võimaldab ühendada kommutaatorid omavahel mitme paralleelse kaabliga, mis moodustavad ühe virtuaalse ühenduse (vt joonis 2.1). Sellise virtuaalse ühenduse ribalaius on üksikute ühenduste ribalaiuste summa. Ühe sidekanali rikke korral jäävad teised ühendused tööle väiksema ribalaiusega. Antud meetod annab paremaid tulemusi, kui paralleelsete ühenduste rajamisel kasutatakse füüsiliselt erinevaid teekondi, vähendades seeläbi mitme sidekanali samaaegse rikke tõenäosust. [22]

N füüsilist ühendust = 1 virtuaalne ühendus



*Joonis 2.1. Sidekanalite aheldamise põhimõte [22]*

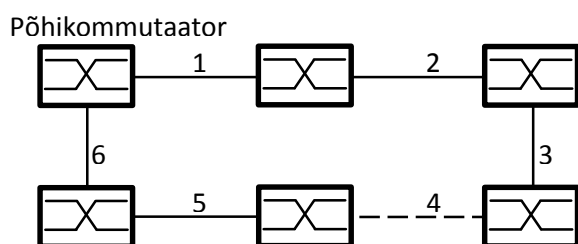
### Täispuuprotokoll

Üheks esimeseks häiringukindluse tõstmise protokolliks oli täispuuprotokoll (*STP - Spanning Tree Protocol*), mis arendati välja juba 1990. aastate alguses ning on määratud IEEE 802.1D standardiga. Antud protokoll on mõeldud tõrkesiirde (*failover*) tagamiseks arvutivõrkudes. Täispuuprotokoll suudab tagada tõrkesiiret erinevate arvutivõrkude topoloogiatega korral, kuid antud protokollide tõrkesiirde aeg võib ulatuda kuni 10 sekundini. Tulenevalt pikast võrgu ümberseadistamise ajast ei ole STP kasutatav alajaama andmehõivesüsteemides. Lisaks on

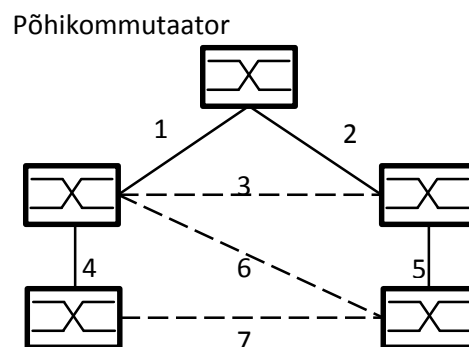


STP rakendatavus raskendatud suurte arvutivõrkude korral, kuid kõrgepinge alajaama kohtvõrgu puhul ei ole see piirang määrava olulisusega. [22]

Täispuuprotokolli tööpõhimõte seisneb võrguelementide vaheliste ühenduste kaardistamises, mille tulemusena luuakse puulaadne struktuur iga võrguseadme jaoks. Seejärel lülitatakse välja sellised ühendused, mis ei kuulu puu hulka ning mille korral moodustuvad silmused (vt joonis 2.2 ja 2.3). Kommutaatorite vaheliseks kommunikatsiooniks ja optimaalse teekonna loomiseks kasutatakse kindlaid kaadreid, mida nimetatakse BPDU-deks (*Bridge Protocol Data Unit*). Seejuures on üks kommutaator seadistatud põhikanaliks (*root bridge*), millest lähtuvalt puulaadset ühendusskeemi koostama hakatakse. Kui võrgutopoloogia muutub, kasutatakse muutusest teavitamiseks topoloogia muutumise teavitamise BPDU-d (*Topology Change Notification BPDU*), mille tulemusena kaardistatakse uuesti seadmete vahelised ühendused ja aktiveeritakse alternatiivsed teekonnad, et taastada kõik võrguühendused. [22]



Joonis 2.2. STP tööpõhimõtte ringvõrgu korral [22]



Joonis 2.3. STP tööpõhimõtte segavõrgu korral [22]

### Kiire täispuuprotokoll

Suures osas on STP asendunud kiire täispuuprotokolliga (*RSTP – Rapid Spanning Tree Protocol*). RSTP, mis on täispuuprotokolli edasiarendus, defineeriti esimest korda 1998. aastal avaldatud IEEE 802.1w standardis. RSTP üheks peamiseks eeliseks STP ees on parem rakendatavus suurte arvutivõrkude korral. Kui STP võimaldab kasutada maksimaalselt seitset kommutaatorit mistahes kahe seadme vahel, siis RSTP on rakendatav ka topoloogiate korral, kus kahe seadme vahele jääb kuni 20 kommutaatorit. Teiseks oluliseks eeliseks on tõrkesiirde kiirus, mis on RSTP puhul ligikaudu üks sekund. Siinkohal on oluline rõhutada, et nii STP kui ka RSTP korral ei ole tõrkesiirde aeg deterministlik, vaid sõltub konkreetse arvutivõrgu topoloogiast ning esinenud rikke asukohast. Lihtsate ringvõrkude korral on võimalik RSTP liiasusprotokolli kasutades saavutada edukas tõrkesiire isegi 100 ms jooksul. [22]

Täispuuprotokolli tugevuseks on see, et võrgutopoloogia valikuga on võimalik kujundada arvutivõrk, mis on häiringukindel ka mitme samaaegse rikke korral. Näiteks joonisel 2.2

esitatud ringvõrgu korral suudab võrk jätkata tööd ainult ühe samaaegse rikke korral. Kui lisaks peaks veel teine ühendus katkema (näiteks ühendused 3 ja 5), siis on kommutaator või terve võrguosa isoleeritud. Joonisel 2.3 on esitatud alternatiivne topoloogia, mille korral kasutatakse mitut varuühendust. See tagab häiringukindluse mitme samaaegse rikke korral. Näiteks kui kanalid 4 ja 6 peaksid katkema, siis on võrgu ümberseadistamise teel võimalik jätkuvalt tagada arvutivõrgu täisfunktsionaalne töö. Samas ei ole ka alternatiivse topoloogia korral tagatud n-2 kriteerium, kuna kanalite 4 ja 7 samaaegne rike isoleerib kommutaatori täielikult. [22]

Täispuuprotokollide nõrkuseks on tõrkesiirde aja määramatus. Arvutivõrgu topoloogia valiku ja oskusliku seadistamisega on võimalik vähendada tõrkesiirdeks kuluvat aega, kuid seejuures jääb tõrkesiirde aeg siiski sõltuma rikke esinemise kohast ja kasutatavast võrgutopoloogiast. [22]

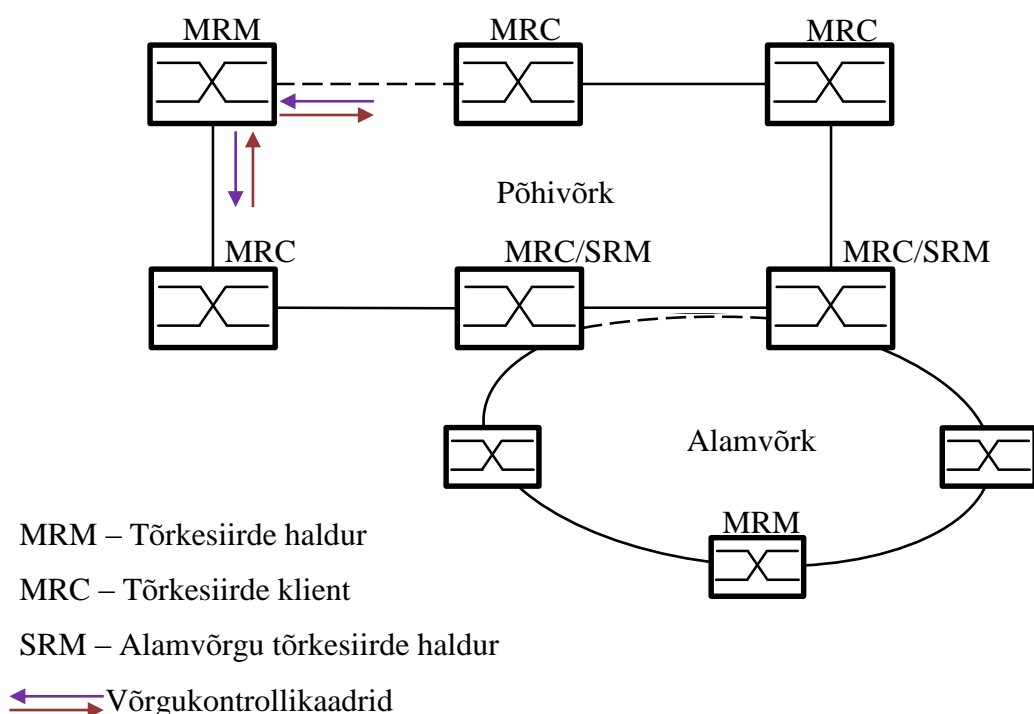
### **Meedia liiasusprotokoll**

STP ja RSTP on algselt ettenähtud kommerts võrkude tarbeks ning neid protokolle toetavad kõik hallatavad kommutaatorid. Tööstuslikest kommutaatoritest enamik toetab lisaks ka meedia liiasusprotokoll (MRP – *Media Redundancy Protocol*), mille kujundamisel on peetud silmas just tööstuslike rakendusi. MRP valmis Siemensi ja Hirschmanni koostöös ning on kirjeldatud IEC 62439 standardis. Meedia liiasusprotokoll on ettenähtud ainult ringvõrkudele ning see suudab tagada deterministlikku tõrkesiiret. [22]

MRP tõrkesiirdel on kindel aeg seetõttu, et selle protokoll puhul ei ole vaja igal kommutaatoril osaleda võrgu järk-järgulises ümberseadistamises, nii nagu see on täispuuprotokoll korral. Selle asemel on võrgus määratud tõrkesiirde haldur (MRM – *Media Redundancy Manager*), mis saadab ühest pordist välja spetsiaalseid kaadreid ning saab need teise pordi kaudu kätte. Seejuures edastatakse kaadreid mõlemas suunas. Samal ajal on MRM-i üks portidest normaalsele infoliiklusele suletud. Kõik ülejäänud kommutaatorid toimivad tõrkesiirde klientidena (MRC – *Media Redundancy Client*). MRC-d edastavad tõrkesiirde haldurile informatsiooni nendega seotud ühenduste olekute kohta ning teevad ümberlülitusi vastavalt MRM-i poolt saadetud konfiguratsiooni kaadritele. [22]

Meedia liiasusprotokoll korral on tõrkesiirde aeg ringvõrgus olevate kommutaatorite arvust põhimõtteliselt sõltumatu, sest ümberseadistamise kaadreid saadetakse kõigile võrgu elementidele samaaegselt ning neid saab käidelda kõigis seadmetes üheaegselt. Selle tulemusena on MRP korral tõrkesiirde aeg ligikaudu 200 ms. Tüüpilistes arvutivõrkudes võib tõrkesiirde aeg jääda isegi alla 80 ms. [22]

MRP rakendamise miinuseks on selle kasutatavus ainult ringvõrkude korral. Nagu eelnevalt mainitud, ei suuda ringvõrgud jätkata tööd kahe samaaegse rikke korral. MRP protokoll võimaldab kasutada alamringvõrke, mille korral kahe ringvõrgu ühenduspunktides olevad kommutaatorid määratakse alamvõrgu tõrkesiirde halduriteks (*SRM – Subring Redundancy Manager*). Joonisel 2.4 on näidatud kahe kommutaatori abil alamringvõrgu liitmine põhiringvõrguga. Sellisel juhul peab antud alamvõrgus olema veel vähemalt üks kommutaator, mis toimiks tõrkesiirde haldurina (MRM) alamvõrgus. Siinkohal tuleb rõhutada, et alamvõrkude liitmise korral tuleb alam- ja põhivõrgus kasutada erinevaid virtuaalseid kohtvõrke (*VLAN – Virtual Local Area Network*), mistõttu tekib vajadus edasise seadistamise järel, et tagada informatsiooni liikumine põhi- ja alamvõrgu vahel. [22]



*Joonis 2.4. MRP tööpõhimõte alamvõrgu korral [22]*

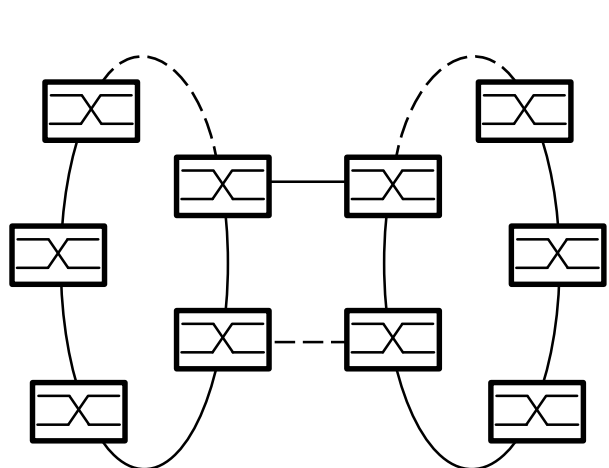
### Tootjapõhised liiasusprotokollid

Mitmel tööstuslike kommutaatorite tootjal on väljatöötatud oma häiringukindluse meetmed, kuid sellised tootjapõhised liiasusprotokollid ei ole ühilduvad teiste tootjate seadmetega. Tabelis 2.2 on esitatud mõned tootjapõhised liiasusprotokollid koos olulisemate tehniliste andmetega. Elektrivõrkude ehitamise ja haldamise üheks peamiseks suunaks on võimaldada standardite kasutamise avatud konkurentsi nii uute rajatiste ehitamisel kui ka olemasolevate rekonstrueerimisel. Sellest tulenevalt ei ole tootjapõhiste häiringukindluse tagamise meetmete kasutamine elektrivõrkudes otstarbekas.

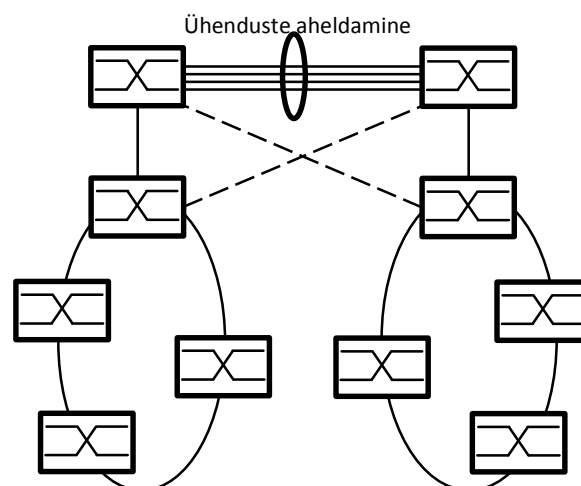
Tabel 2.2. Tootjapõhised liiasusprotokollid [22, 23]

Tootja	Tehnoloogia	Tõrkesiirde aeg	Võrgu suurus	Topoloogia
Advantech	X-Ring	< 10 ms	30	Ring
Hirschmann	HiPER Ring	< 500 ms	200	Ring
	Fast HiPER Ring	< 60 ms	200	Ring
Moxa	Turbo Ring	< 20 ms	250	Ring
N-Tron	N-Ring	30 ms	250	Ring
ORing	O-RSTP	20 ms	40	Ring, täht, kombineeritud
	O-Ring	< 10 ms	250	Ring
	Open-Ring	Määramata	250	Ring
Rockwell Automation	Cisco REP	20...250 ms	Määramata	Ring, täht
Weidmüller	Turbo Ring	< 20 ms	Määramata	Ring
Westermo	Cisco REP	< 20 ms	200	Ring
Siemens Ruggedcom	eRSTP	<800 ms	160	Ring

Tootjapõhistest häiringukindluse meetmetest tasub eraldi mainida ringvõrkude kaksik-sidestust (*Ring coupling*) ja kaksik-pöördumist (*Dual-homing*). Mõlemal meetodil on tõrkesiirde aeg ligikaudu 200 ms. Antud tehnoloogiaid võib kasutada ka iseseisvana, kuid enamasti rakendatakse neid koostöös mõne teise liiasusprotokolliga. Peamiselt kasutatakse neid mitme ringvõrgu omavahel kokku ühendamiseks või ringtopoloogiaga alamvõrkude liitmiseks põhivõrguga. Tööpõhimõte seisneb tagavarakanalite olemasolus ning neile ümberlülitumises tõrke korral. Üldjuhul on nii põhi- kui ka varukanal ühendatud erinevate kommutaatoritega, et säilitada võrgu töö ka kommutaatori rikke korral. [24]



Joonis 2.5. Kaksik-sidestuse võrgutopoloogia põhimõte [24]



Joonis 2.6. Kaksik-pöördumise võrgutopoloogia põhimõte [24]

### 2.3. Häiringukindluse tagamine ilma võrgu ümberseadistamiseta

Eelmises alapeatükis välja toodud häiringukindluse tagamise protokollidel on kolm olulist nõrkust. Esiteks käsitlevad nad häiringukindlust kommutaatori või võrgu tasemel ja ei käsitle täpsemalt lõppseadmeid. Kui sideühendus seadme ja kommutaatori vahel katkeb, siis ei ole seade enam võimeline informatsiooni edastama ning sellest tulenev mõju sõltub konkreetse seadme funktsioonist. Teiseks pakuvad nad häiringukindlust sideühendustele, aga mitte tervele kommutaatorile. Kui kommutaatoris peaks tekkima rike, siis on kõik antud kommutaatoriga seotud seadmed võrgust eraldatud. Kolmandaks kulub neil rikke kõrvaldamiseks teatud aeg, mis paljudel juhtudel ei ole deterministlik vaid sõltub võrgutopoloogiast ja rikke asukohast. [24]

Kõrgepingealajaamas kasutatavad mikroprotsessorreleed edastavad informatsiooni nii horisontaalselt kui ka vertikaalselt IEC 61850 sideprotokolli alusel. Antud protokolli kohaselt on võimalik teostada mõõteandmete kogumist ja edastamist kuni 256 korda ühe võrgusagedusliku tsükli jooksul ehk kuni 12 800 korda sekundis. Sellest tulenevalt on kohtvõrgu tõrkesiirde aeg äärmiselt suure tähtsusega. Seejuures tuleb rõhutada, et kõrgepingealajaamades paiknevate arvutivõrkude puhul on häiringute riskitase tunduvalt kõrgem tulenevalt äikesest, lühistest või lülitustest tingitud löökvoolude ja elektromagnetiliste impulsside kahjulikust toimest sidevõrkudele ning –seadmetele. [24]

Selleks, et vajalik informatsioon ei jääks edastamata, tuleb tagada võrgu häiringukindlus ilma tõrkesiirdeta. IEC 62439-3 standard esitleb kahte uut standardiseeritud tehnoloogiat, mis võimaldab kasutada kahte iseseisvat ühendust mistahes kahe seadme vahel. Sellisel viisil on võimalik saavutada täielik häiringukindlus, mis tuleneb võrgu ümberkonfigureerimise vajaduse kaotamisest. [24]

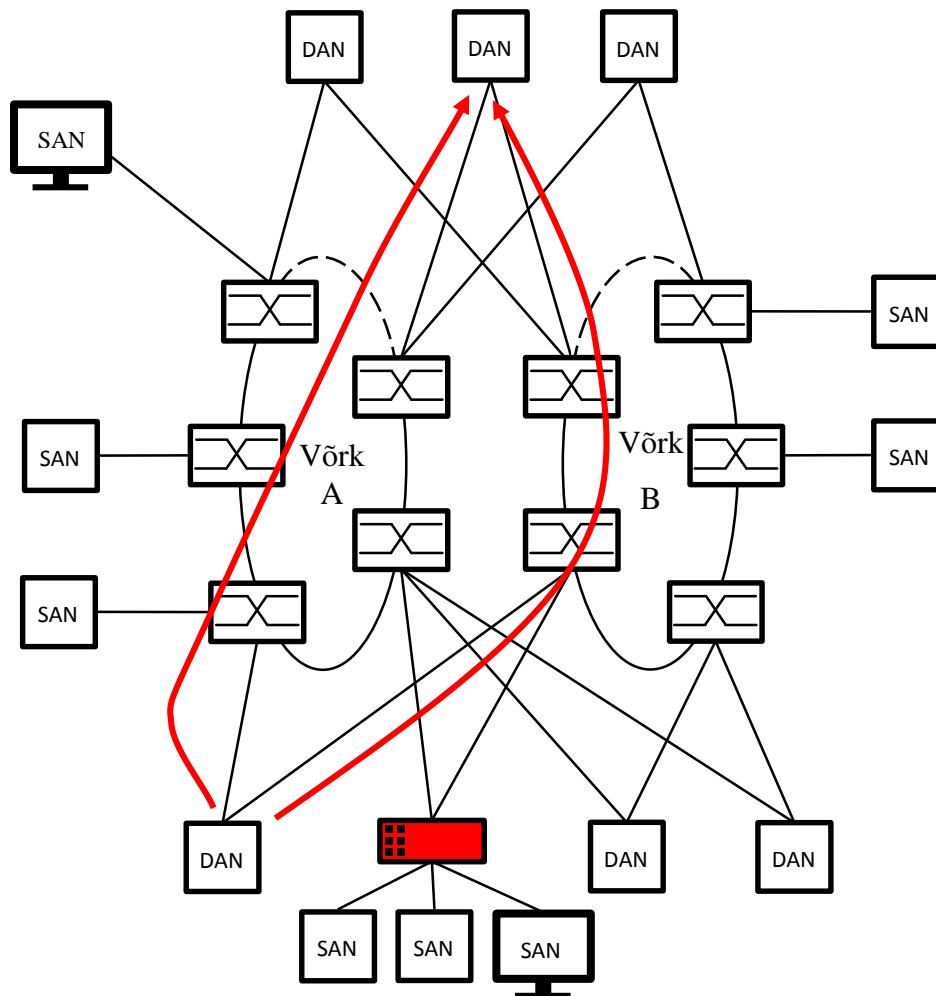
#### **Paralleel-liiasusprotokoll**

Paralleel-liiasusprotokolli (*PRP – Parallel Redundancy Protocol*) korral on lõppseade ühendatud arvutivõrguga kahe iseseisva sidekanali abil. Üldjuhul on sellisel juhul lõppseade ühendatud kahe eraldiseisva arvutivõrguga A ja B, mis on rikete esinemise seisukohast üksteise suhtes sõltumatud. Antud kaks arvutivõrku võivad olla identsed või omada erinevat topoloogiat. Seejuures on lõppseadme MAC- ja IP-aadressid nii võrgus A kui ka B identsed. Samuti võib neis võrkudes kasutada teisi eelnevalt käsitletud häiringukindluse tehnoloogiaid. Seejuures ei pea lõppseade olema teadlik võrgu omadustest, mis tähendab, et lõppseadme konfigureerimine võrgu seisukohast lähtudes ei ole vajalik. [24, 25]

PRP funktsionaalsusega lähtesõlm (*source node*) saadab igast kaadrist välja kaks koopiat – ühe koopia kummastki pordist. Mõlemad koopiaid läbivad oma sõltumatud teekonnad ning jõuavad väikese ajalise nihkega sihtseadmeni. Kaadri on lähtekohast juurde lisatud järjekorra number, mille alusel on võimalik kindlaks teha, kas sihtkohta jõudev kaader on esimene või hiljem kohale jõudnud koopia. Sihtkoha sõlm (*destination node*) võtab esimesena kohale jõudnud kaadri vastu ning heidab teise koopia kõrvale. Kirjeldatud protsessi tulemusel on tagatud kõigi kaadrite (vähemalt ühe koopia) sihtkohta jõudmine eeldusel, et kahest sõltumatust võrgust vähemalt üks on töökorras. Antud tehnoloogia korral ei ole võimalik rääkida tõrkesiirdest, sest puudub vajadus võrgu ümberseadistamiseks. Seejuures võimaldab protokoll pidevalt kontrollida võrgu korrasolekut ning avastada esinevaid rikkeid väga lühikese ajaga. [24]

PRP tehnoloogia kasutamiseks peab PRP liiasusprotokoll olema võimaldatud ainult lõppseadmetes. Samas võivad kommutaatorid olla standardsed ega pea omama PRP funktsionaalsust. PRP funktsionaalsusega lõppseade on kaksik-sidestatud sõlm (*DAN – Double Attached Node*), mis osaleb kahe võrgu töös samade võrgukaardi parameetritega. [26] Standardne seade omab ühendust ainult ühe võrguga, mistõttu on tegemist üksik-sidestatud sõlmega (*SAN – Single Attached Node*). Arvutivõrku A ühendatud SAN-seade on võimeline suhtlema ainult teiste võrku A ühendatud seadmetega ega oma ligipääsu võrguga B seotud seadmetele. Lisaks puudub üksik-sidestatud seadmel tagavara teekond, et tagada häiringukindlus võrgu rikke korral. Selleks, et tagada informatsioonivahetus erinevates võrkudes asuvate SAN-seadmete vahel või tõsta SAN-seadme häiringukindlust, on võimalik kasutada spetsiaalset seadet *RedBox* (*Redundancy Box*). Paljudel juhtudel on DAN funktsionaalsusega ainult kõige kriitilisemad seadmed ning kõik muud seadmed on ühendatud andmehõivesüsteemiga ainult ühe sidekanaliga või *RedBoxi* kaudu. *RedBox* tagab PRP funktsionaalsuse kõigile temaga ühendatud SAN-seadmetele, luues ise edastatavatele kaadritele vajalikud koopiaid. Sellisel juhul on võrgu kõige nõrgemaks lüliks sidekanal lõppseadme ja *RedBoxi* vahel. [24, 25, 26]

Joonisel 2.7 on esitatud paralleel-liiasusprotokolli tööpõhimõte. DAN seadmete puhul edastatakse sama sisuga kaadrid kahe sõltumatu võrgu (A ja B) vahendusel sihtkohta. Kui esimene kaader jõuab sihtseadmesse, siis võetakse see töötlemisse. Teise koopia jõudmisel tehakse kindlaks, et üks selline kaader on juba vastu võetud, misjärel antud koopia eemaldatakse võrgust. Üksik-sidestatud seadmete ühendamiseks kahe võrguga tuleb kasutada *RedBoxi*. Seejuures võib võrkudes A ja B olla kasutusel samaaegselt mõni muu liiasusprotokoll, näiteks RSTP.



*Joonis 2.7. PRP tööpõhimõte [24]*

PRP peamiseks nõrkuseks on vajadus kahe eraldiseisva arvutivõrgu järele. See tähendab, et paigaldada tuleb kaks korda rohkem võrguseadmeid, mis muudavad antud lahenduse kalliks. Samas on PRP tehnoloogia rakendamisel järgmised majanduslikud eelised:

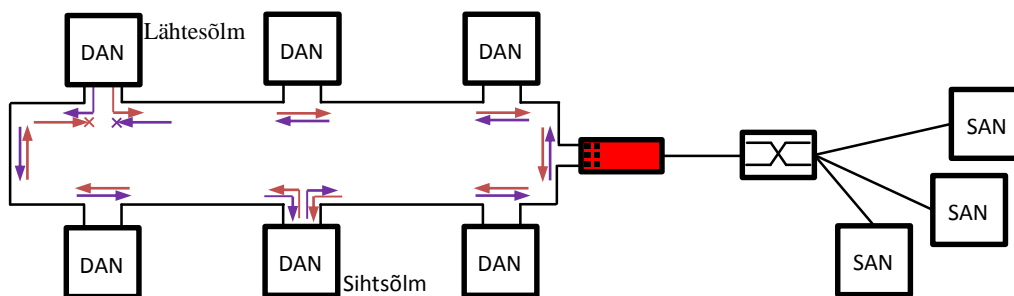
- hooldustöödelt on võimalik säästa tulenevalt rikke esinemise väiksemast tõenäosusest;
- PRP pakub staatilist häiringukindlust, mis võimaldab hoida kokku võrgu seadistamise kuludelt;
- PRP puhul on võimalik kasutada standardseid võrguseadmeid;
- kriitilised ja vähemkriitilised seadmed saab liita ühe ühise võrguga, selle asemel, et välja ehitada kaks eraldiseisvat süsteemi.

### **Kõrgvalmiduslik sujuv ring**

Kõrgvalmiduslik sujuv ring (*HSR – High-availability Seamless Ring*) protokoll korral on DAN-seadmed ühendatud omavahel kahe sidekanaliga, moodustades seeläbi ringvõrgu. See tähendab, et HSR liiasusprotokoll kasutamine on võimalik ainult ringtopoloogia puhul.

Seejuures on võimalik HSR ringvõrk ühendada HSR *RedBoxi* abil tavalise kommutaatoriga või kasutada kommutaatorit, mis toetab HSR protokollit. Lisaks on võimalik kasutada HSR *RedBoxi* SAN-seadmete ühendamiseks HSR võrguga. [24]

Sarnaselt PRP protokollile saadetakse ka HSR-i korral ühest kaadrist välja samaaegselt kaks koopiat. Üks koopia liigub mööda ringvõrku ühes suunas ning teine koopia teises suunas. See tähendab, et informatsiooni dubleerimise tulemusena väheneb sellise võrgu kasutatav ribalaius kaks korda. Kindla sihtkohaga kaadrid eemaldatakse võrgust sihtseadme poolt. Multi- ja laiedastuskaadri (*multicast* ja *broadcast*) saabumisel DAN-seadme ühte porti edastatakse see teise porti kaudu mööda ringvõrku edasi. Selliste kaadrite võrgust kõrvaldamise eest vastutab lähteseade, mis tähendab, et kaader kustutatakse lähteseadme poolt siis, kui see on läbinud kogu ringvõrgu ning jõudnud tagasi lähteseadmeni. [26] Multi- ja laiedastuskaadri edastamise põhimõte on kirjeldatud joonisel 2.8.



**Joonis 2.8. HSR tööpõhimõte [24]**

HSR liiasusprotokolli kasutamise peamiseks eeliseks on (nagu ka PRP korral) tõrkesiirde puudumine. Samas ei ole HSR-i puhul tulenevalt võrgu ringtopoloogiast võimalik tagada häiringukindlust kahe samaaegse rikke korral. Peamiselt kasutatakse HSR-i tööstuslikes süsteemides, mille puhul on oluline informatsiooni kao vältimine, mis tuleneb tõrkesiirde puudumisest. Üheks selliseks süsteemiks on kõrgepingealajaama andmehõivesüsteem. HSR-i puhul on aga lisanduvaks probleemikohaks vajalik võrgukiirus. Kiiruse probleem tuleneb asjaolust, et kogu informatsioon läbib kõiki seadmeid kaks korda, mistõttu võib olla vajalik arvutivõrgu kiiruse suurendamine kuni 1 gigabitini sekundis. Kõik HSR võrku kuuluvad seadmed osalevad iga kaadri edastamises, millest tulenevalt võib lõppseadme tark- või riistvara rike põhjustada häiringuid andmesidevõrgu töös. [24, 25]

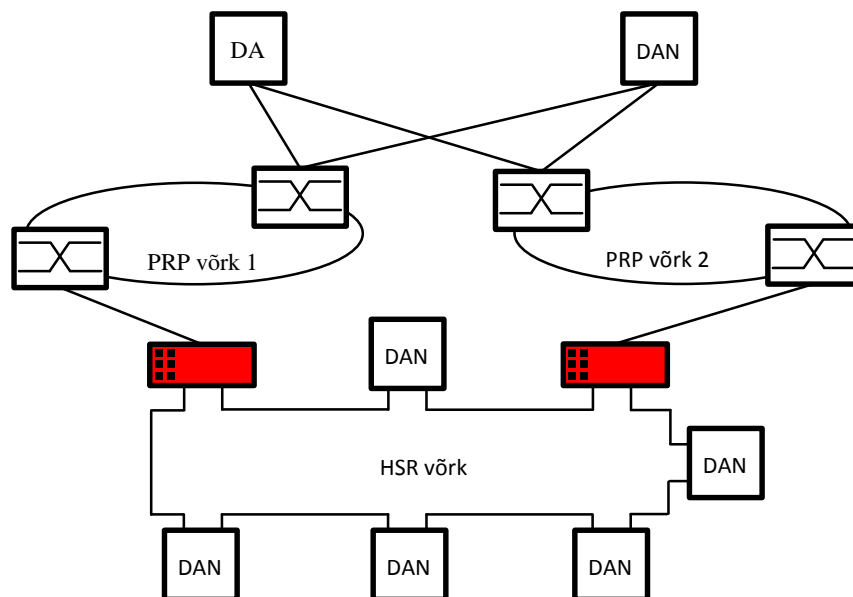
HSR on rakendatud riistvara tasemel, mis tähendab, et OSI-võrgumudeli kõrgematel tasemetel töötavad rakendused ja protokollistik ei pea olema teadlikud kasutatavast liiasusmeetmetest. Samas on vajadus spetsiaalse riistvara järele üheks peamiseks takistuseks HSR-i kasutamiseks arvutivõrkudes. PRP puhul ei ole vaja spetsiaalset riistvara, kuna see töötab standardsete



arvutivõrkude kommuteerimistehnoloogiate baasil. Samas pakub HSR sarnaselt PRP-le täiendavaid võimalusi majanduslikuks kokkuhoiuks [24]:

- hooldustöödelt on võimalik säästa tulenevalt rikke esinemise väiksemast tõenäosusest;
- HSR pakub staatilist häiringukindlust, mis võimaldab hoida kokku võrgu seadistamise kuludelt;
- kriitilised ja vähemkriitilised seadmed saab liita ühe ühise võrguga, selle asemel, et välja ehitada kaks eraldiseisvat süsteemi.

HSR protokollis on defineeritud kahekordne *RedBox*, mida nimetatakse ka *QuadBox*-iks. *QuadBox*i abil on võimalik ühendada omavahel kokku mitu HSR ringvõrku. Seeläbi on võimalik kasutada keerulisi topoloogiaid, mis võivad sisaldada ka ringvõrke ringvõrkudes. Lisaks on võimalik kasutada HSR ringvõrke ainult kriitiliste süsteemide jaoks (näiteks alajaama IED-de ühendamine andmehõivesüsteemiga) ning luua *RedBox*i abil ühendus ülejäänud võrguga, milles kasutatakse RSTP või MRP liiasusprotokolli. Kahe *RedBox*i kasutamisel on võimalik HSR silmusvõrk liita isegi PRP liiasusprotokolli kasutava võrguga (vt joonisel 2.9). [24]



**Joonis 2.9. HSR ja PRP segavõrgu topoloogia [24]**

### 3. Aja sünkroniseerimine

Alajaamast dispetšiteenistusele edastatava informatsiooni puhul on lisaks informatsiooni sisule oluline ka signaali tekkimise aeg. Selleks, et informatsiooni oleks võimalik arhiivis õigele kohale paigutada ning esinenud sündmusi analüüsida, varustatakse kõik edastatavad signaalid ajamärgendiga. Seejuures peab aeg olema igas elektrivõrgu punktis sama ehk sünkroonne, et erinevatest elektrivõrgu osadest edastatavaid signaale oleks võimalik omavahel kõrvutada. Aja sünkroniseerimiseks on erinevaid võimalusi, millest enim kasutatakse aja sünkroniseerimist GPS-i kaudu.

GPS-i vahendusel aja sünkroniseerimiseks kasutatakse GPS-antenniga varustatud ajaserverit (*time-server*). Ajaserver määrab aja GPS-i vahendusel ning edastab selle sidekanali kaudu kõigile teistele seadmetele. Ajaserveril kasutatakse vajadusel töökindluse tagamiseks kahte toiteplokki. Lisaks jälgitakse pidevalt ajaserveri seisukorda ning rikke ilmnemisel edastatakse sellekohane signaal dispetšiteenistusele. Peamiselt kasutatakse alajaamas esmase ajaserverina just GPS-ajasünkroniseerimisel põhinevat seadet.

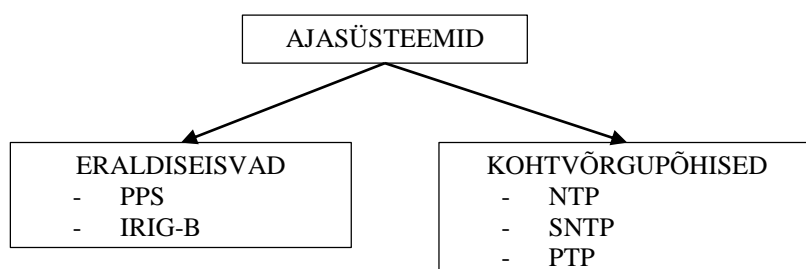
Tagavara võimalusena on võimalik kasutada sideprotokolli teel aja sünkroniseerimist. Selleks kasutatakse sideühendust alajaama ja dispetšikeskuse vahel. Sellisel juhul edastab dispetšikeskus perioodiliselt IEC 60870-5-104 sideprotokollistikus sisalduva aja määramise telegrammi kaugterminalile, millesse seadistatakse ajaserver. Teised alajaama seadmed sünkroniseerivad oma aega kohtvõrgu vahendusel kaugterminali ajaserveri kaudu. Sideprotokolli teel aja sünkroniseerimise täpsus on oluliselt väiksem kui GPS-il põhineva sünkroniseerimise korral. Seetõttu kasutatakse sideprotokolli vahendusel aja sünkroniseerimist pigem tagavara variandina juhul, kui peamise ajaserveriga peaks midagi juhtuma.

Ajaserver edastab teistele seadmetele aega kindlaksmääratud aja sünkroniseerimise standardite alusel. Peamistelt kasutatavateks standarditeks on NTP (*Network Time Protocol*), SNTP (*Simple Network Time Protocol*), PTP (*Precision Time Protocol*), IRIG (*Inter Range Instrumentation Group*). Nimetatud ajasünkroniseerimise standardite peamisteks erinevusteks on kasutatav sidekanal ning sünkroniseerimistäpsus. Siinkohal tuleb rõhutada, et tänapäevased rakendused seavad ranged nõuded ajasünkronisatsiooni täpsusele. Alajaamas on seadmeid, mille puhul parandab täpne ajasünkroniseerimine nende toimimist ning seadmeid, mis ei ole võimelised ilma täpse ajasünkronisatsioonita oma funktsiooni täitma. Diferentsiaalkaitse funktsiooni töötamiseks on voolusensorite kasutamisel nõutavaks ajasünkronisatsiooni täpsuseks 100  $\mu$ s. [13]

Häiremeeriku (*Fault Recorder*) ülesandeks on registreerida elektrisüsteemis esinevate rikete analüüsiks vajalik informatsioon riketele eelneva ja järgneva süsteemiseisundi kohta. Esinenud rikete analüüsimisel kasutatakse võrgu erinevatest punktides saadud andmeid, mistõttu on nõutud häiremeerikute ajasünkroniseerimine 1 millisekundi täpsusega. Lisaks kasutatakse laialdaselt lühisekoha kauguse määramise seadmeid, mis töötavad lainepeegelduse põhimõttel. Need seadmed mõõdavad aega, mis kulub laine peegelduse jõudmiseks liini lõppu või lühise kohani. Täpse kauguse arvutamiseks on oluline tagada antud seadme ajasünkronisatsioon ühe mikrosekundi täpsusega. Laimõotesüsteemi rakendamisel sünkroniseeritud faasimõõtmiste korral on nõutavaks ajasünkronisatsiooni täpsuseks samuti üks mikrosekund. [13, 27]

### 3.1. Aja sünkroniseerimise standardid

Kõige lihtsam viis aja sünkroniseerimiseks on spetsiaalse perioodilise signaali edastamine, mille abil on võimalik tagada kõigi seadmete relatiivne sünkronisatsioon. Peamiseks selliseks kasutatavaks signaaliks on sekund-impulss (PPS – *One Pulse Per Second*). Seejuures ei edastata sekund-impulsiga informatsiooni aja kohta, vaid signaali seadmete siseste kellade reguleerimiseks. Veidi keerulisem on kasutada spetsiifilist ajakoodi sisaldavat signaali, millest levinum on IRIG-B (*Inter Range Instrumentation Group, Type B*). Erinevalt sekund-impulsist, sisaldab IRIG-B ajakood täpset informatsiooni kellaaja kohta. Eelnevalt mainitud kaks ajasüsteemi vajavad sünkronisatsiooni tagamiseks eraldiseisvat sidevõrku. Lisaks on välja töötatud ajasüsteemid, mille korral on võimalik kasutada alajaama üldist andmesidevõrku. Selliste protokollide hulka kuuluvad NTP (*Network Time Protocol*) ja IEEE1588 ehk PTP (*Precision Time Protocol*). [13] Ajasüsteemide jagunemist on kujutatud joonisel 3.1

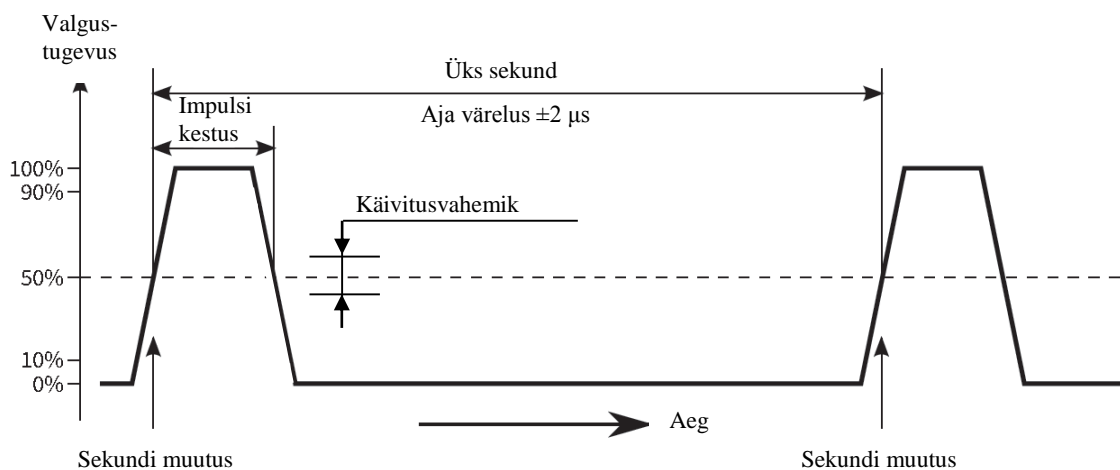


Joonis 3.1. Ajasüsteemide jagunemine [27]

#### Eraldiseisvad ajasüsteemid

Ajalooliselt on kõrgepingealajaamades kasutatud eraldiseisvaid ajasüsteeme, mis kasutavad spetsiaalselt aja sünkroniseerimiseks ettenähtud sidekanaleid ja seadmeid. Enim kasutatavad on koaksiaal-, keerdpaar- ja valguskaablid. Eraldiseisvatest ajasüsteemidest kasutatakse kõige laialdasemalt sekund-impulsi meetodit ja IRIG-B ajakoodi. [27]

Sekund-impulsi (PPS) meetod võimaldab täpset tugisünkronisatsiooni (*synchronisation reference*), kuid ei sisalda kellaaja (*time-of-day*) informatsiooni. Antud meetod on hetkel piisav mõõteandmete protsessiini rakenduste jaoks, kuid tõenäoliselt tekib tulevikus vajadus ka kellaaja informatsiooni järele. Sarnaselt IRIG-B ajasüsteemile tuleb ka PPS korral kasutada eraldiseisvat edastussüsteemi, mis võib koosneda nii vask- kui ka valguskaablitest. Kõige sagedamini kasutatav PPS spetsifikatsioon tuleneb IEC 60044-8 standardist, mis käsitleb elektroonilisi voolutrafosid (*Instrumental transformers – Part 8: Electronic current transformers*). Antud spetsifikatsioonile viitab ka IEC 61850-9-2 standardil põhinev mõõteandmete protsessiini teostamise juhised. Joonisel 3.2 on esitatud IEC 61850-9-2 põhise mõõteandmete protsessiini ajasünkroniseerimiseks kasutatava PPS meetodi tööpõhimõte. Impulsi tõusuaja (*rise time*) mõju ajasünkroniseerimisele võib jätta kõrvale, kui maksimaalne käivitushälve on  $\pm 10\%$  ning impulsi tõusuage ei ületa 200 nanosekundit. Impulsi kestus mõõdetuna 50% tasemelt peab jääma vahemikku  $10\mu\text{s}$  ja  $500\text{ ms}$ . Ajaserveri sünkronisatsiooni täpsus peab olema üks mikrosekund ning lõppseadme poolt edastatavate sündmuste ajamärgendite täpsus peab olema vähemalt neli mikrosekundit. Seejuures eeldatakse, et andmesidevõrk võib lisada kuni kahe mikrosekundilise viite, mille tulemusel võib lõppseadme ajavärelus (*jitter*) olla  $\pm 2$  mikrosekundit. [27, 28]



**Joonis 3.2. PPS tööpõhimõte [27, 28]**

Kõige levinum kõrgepingealajaamades kasutatav ajasünkroniseerimise meetod on IRIG-B ajakood, mis kasutab eraldiseisvat edastusvõrku. IRIG ajakoodid on kirjeldatud IRIG Standard 200-04 dokumendis, mis jaotab kasutatavad ajakoodid uuendussageduse alusel erinevateks tüüpideks. IRIG ajakoodide tüübid ja neile vastavad uuendussagedused on esitatud tabelis 3.1. [28]

**Tabel 3.1. IRIG ajakoodide tüübid [28]**

Tüüp	Uuendussagedus	Intervall
A	1000 pps	1 ms
B	100 pps	10 ms
D	1 ppm	1 min
E	10 pps	100 ms
G	10 000 pps	0,1 ms
H	1 pps	1 s

Antud ajakoodi on võimalik edastada moduleerimata kujul vaskkaabli (koaksiaal või keerdpaar) või valguskaabli abil ning amplituudmoduleeritud kujul 1 kHz sagedusega koaksiaalkaabli kaudu kandesignaali abil. IRIG-B ajakoodi on aastate jooksul täiustatud peamiselt IEEE poolt, mille tulemusena on võimalik IRIG-B ajakoodiga lisaks kellaajale edastada informatsiooni aastaarvu, ajavööndi, suve- ja talveaja ning aja kvaliteedi kohta. Moduleerimata IRIG-B kasutamisel on võimalik saavutada sünkroniseerimistäpsus alla 1 mikrosekundi, ligikaudu mõnekümne nanosekundi tasemele. [13, 27]

IRIG-B ajakoodil on mitu erinevat võimalikku edastusformaati, mis võib teha erinevate tootjate seadmete ühildamise keeruliseks. Edastusformaatide erinevused seisnevad peamiselt modulatsiooni kasutamises ning selles, kas edastatakse kohalikku aega või koordineeritud universaalaega (*UTC – Temps Universel Coordonné*). Tänapäevased releekaitse- ja automaatikaseadmed suudavad enamasti vastu võtta kõiki IRIG-B ajakoodide formaate. Samas eksisteerib siiani seadmeid, mille korral on IRIG-B formaatide kasutamine piiratud. Lisaks tuleb antud asjaoluga arvestada vanade alajaamade ajasüsteemide uuendamisel. [27]

Eraldiseisvate ajasüsteemide eeliseks on see, et andmeside alajaama seadmete ja SCADA vahel ei mõjuta aja sünkroniseerimise täpsust. Peamiseks puuduseks on aga kõrgem hind, mis tuleneb lisanduvatest seadmetest, kaabeldusest ja dokumentatsioonist. IRIG-B ja PPS ajakoode on lihtsam edastada elektriliste signaalidena, sest seeläbi on võimalik kasutada signaali edastamist mitmesse erinevasse punkti. Teisalt pakub valguskaabli kasutamine galvaanilist isolatsiooni ning kõrvaldab induktiivse ja mahtuvusliku interferentsi võimaliku mõju. Samas on võimalik valgussignaali edastada ainult kahe seadme vahel. See tähendab, et alajaama kõigi seadmete ajasünkroniseerimiseks tuleb kasutada eraldi jaotureid või mitme väljundiga ajaservereid. [27]

Signaaliedastusel esinev viide nii vask- kui ka valguskaablite kasutamisel on ligikaudu viis nanosekundit meetri kohta. IEC 61850-9-2 juhiste kohaselt võib maksimaalne aja värelius olla kaks mikrosekundit, mille ületamisel tuleb tekkiv viga kompenseerida. Antud limiit ületatakse, kui kaablite pikkus on üle 400 meetri, mis tähendab, et vea kompenseerimine on oluline

eelkõige suuremates alajaamades. Aja vareluse kompenseerimine on manuaalne tegevus, mis tuleb teostada iga lõppseadme jaoks eraldi. [27]

### **Andmesidevõrgul põhinevad ajasüsteemid**

*Ethernet*-põhised kohtvõrgud on alajaamades laialdaselt levinud ning neid on võimalik kasutada seadmete ajasünkroniseerimiseks. Võrgupõhiste ajasüsteemide peamiseks eeliseks on olemasoleva kaabelduse ja seadmestiku kasutamisest tulenev kulude kokkuhoid. Teisalt on tarvis konkreetseid ajasüsteemide protokolle, mis võimaldaks erinevate tootjate eritüüpi seadmeid liita ühise ajasüsteemiga. [27]

Võrgupõhistest ajasüsteemidest on enim levinud NTP ja PTP. Mõlemad nimetatud protokollid on võimelised tulenevalt kahesuunalisest kommunikatsioonist ajaserveri ja kliendi vahel edastusviidet kompenseerima. Antud ajasüsteemide korral on võimalik kasutada mitut ajaserverit, mis suurendab aja sünkroniseerimise töö- ja häiringukindlust. Lisaks on mitme ajaserveri kasutamisel võimalik teostada hooldustöid ilma ajasünkronisatsiooni ning sellest sõltuvate funktsioonide kaotamiseta. [27]

NTP ajasüsteemid on kõrgepingealajaamades laialdaselt kasutusel ning nende abil on võimalik tagada sünkroniseerimise täpsus 1...4 millisekundit. Seejuures tuleb parima sünkroniseerimistäpsuse saavutamiseks pöörata tähelepanu alajaama kohtvõrgu topoloogia. Alajaama andmehõivesüsteemi seisukohast on antud täpsusklass releekaitse- ja automaatikaseadmete jaoks piisav. Samas ei suuda NTP tagada mikrosekundilist täpsust, mis on nõutav mõõteandmete protsessiini kasutamise korral. NTP suurimaks eeliseks võrreldes IRIG-B ajakoodiga on asjaolu, et edastatav aeg on alati seotud UTC ajaga. Ka alajaamades enim kasutatavad andmesidestandardid IEC 61850 ja IEEE 1815 (DNP3) nõuavad ajamärgendite sidumist UTC ajaga. Üldjuhul kuvatakse alajaamade käidu mugavuse eesmärgil releekaitse- ja automaatikaseadmete ekraanidel kohalikku aega, mis saadakse ajavööndi (*timezone*) või ajanihke (*time-offset*) seadistamisega lõppseadmes. Ka suve- ja talveaja kasutamine tuleb seadistada lõppseadmes. [27]

NTP ajasüsteemi baasil on loodud SNTP (*Simple Network Time Protocol*), mis kujutab endast NTP lihtsustatud varianti. SNTP kasutab täpselt sama TCP/IP võrgu UDP paketi sturktuuri, mida kasutatakse ka NTP korral. Ajasüsteemide erinevus seisneb selles, et SNTP puhul kasutatakse lihtsustatud algoritme, mistõttu on sünkroniseerimise täpsus võrreldes NTP-ga tunduvalt väiksem. Algoritmide peamine erinevus seisneb vigade kontrollimises ning aja korrigeerimise meetodis. NTP ajasüsteemis kasutatakse samaaegselt mitut ajaserverit, et

määrata täpne aeg ja selle alusel juhtida seadme ajanihet. Algoritm teeb kindlaks, kas aja väärtus on piisavalt täpne, kasutades selleks erinevaid meetodeid, mille hulka kuuluvad ka kokkulangevustegurite määramine ja vastuoluliste ajaserverite väljaselgitamine. Selle tulemusel suurendatakse või vähendatakse seadme ajatriivi kiirust, mistõttu on seadme aeg alati täpne ning ei esine ajahüppeid. SNTP puhul kasutatakse üldjuhul ainult ühte ajaserverit. Häiringukindluse tõstmiseks on võimalik seadistada ka tagavaraserver, kuid selle poole pöördatakse aja määramiseks ainult põhiserveri rikke korral. SNTP korral kontrollib algoritm, kas erinevus seadme ja süsteemi aja vahel ületab seatud piirmäära. Kui piirmäär ületatakse, siis muudetakse seadme aega selliselt, et see langeks kokku süsteemi ajaga. Selle tulemusel esinevad pidevad ajalised hüpped. Tulenevalt SNTP oluliselt väiksemast täpsusest on soovitatav antud ajasüsteemi kasutada ainult sellisel juhul, kui seadmete täpne sünkronisatsioon ei ole vajalik. [29]

IEEE 1588-2008 standard spetsifitseerib PTP ajasüsteemide teise generatsiooni, mida tuntakse ka PTPv2 nime all. Antud protokoll võimaldab väga täpset ajasünkronisatsiooni tulenevalt spetsiaalsete võrguseadmete kasutamisest, mis registreerivad täpse aja, mil PTP sünkronisatsioonikaadrid jõuavad seadme võrgukaardile. Sellist meetodit tutvustati esmakordselt IEEE 1588-2002 standardis, mis kujutas endast suurt läbimurret ajasüsteemide arengus. Seni lisati sündmustele ajamärgendid tarkvara poolt, mis tähendas, et ajamärgendite lisamine kuulus rakenduste kihi ülesannete hulka. See tähendab, et informatsiooni filtreerimisest ja (lahti)pakkimisest tulenev viide oli osa ajasünkronisatsiooniveast. IEEE1588 ajasüsteemi korral lisatakse ajamärgend kohtvõrgu füüsilises kihis riistvara abil, mis kasutab ära *Ethernet*-põhise meedia kaudu ligipääsu MAC-aadressile (*Media Access Control Address*). Selline meetod kõrvaldab andmetötlusest tekkiva viite, mis läbi on võimalik saavutada ajasünkroniseerimise täpsuseks ligikaudu 10 nanosekundit. See informatsioon suudab kompenseerida reaallajaliste süsteemide ja teiste protsesside tööst tulenevate viidete määramatusi, mis võivad pärineda nii ajaserverist kui ka lõppseadmest. PTPv2 ajasüsteemi täpsuse saavutamiseks on kasutusele võetud spetsiaalne läbipaistev kell (*transparent clock*), mis kujutab endast kommutaatorit, mille ülesandeks on mõõta aega, mis kulub PTP sünkronisatsioonikaadri seadme läbimiseks. Antud aeg sõltub teistest protsessidest ja andmesidevõrgu koormusest ning informatsioon viite kestusest lisatakse sünkronisatsioonikaadri. Selline meetod võimaldab kompenseerida kommutaatoris tekkivat viidet ning parandab PTP ajasüsteemi jõudlust ühtse kohtvõrgu kasutamisel. Ajamärgendeid genereeriv riistvara ei mõjuta mingil määral samas kohtvõrgus töötavaid teisi sideprotsesse ega

sideprotokollide tööd. Sellest tulenevalt on võimalik ajasünkroniseerimiseks kasutada sama füüsilist porti, mida kasutatakse andmesideks. PTP ajasünkroniseerimise funktsioon tõstab mõnevõrra võrguseadmete hinda, kuid võimaldab kasutada olemasolevat kaabeldust. Samuti on PTP funktsioon saadaval enamikes alajaamades kasutatavates releekaitse- ja automaatikaseadmetes. PTP ajasüsteem võimaldab kasutada mitut ajaserverit (*master*), kuid protkoli tasemel selgitatakse välja põhiserver (*grandmaster*), mille puhul on tagatud suurim täpsus. Kui põhiserveri töös peaks esinema rike, siis valitakse alternatiivsete ajaserverite seast välja uus suurima täpsusega ajaserver, mis võtab üle põhiserveri rolli. Kuigi sellise ümberkonfigureerimise kestus ei ole deterministlik, võtab see üldlevinud võrkude korral aega vähem kui 5 sekundit. [27, 30]

PTPv2 ajasüsteemis kasutatakse informatsiooni vahetamiseks nelja erinevat sõnumiklassi [27, 30]:

1. sünkronisatsioonisõnumid (*sync messages*) – antud sõnumid sisaldavad ajaserverilt pärinevat informatsiooni aja väärtuse kohta sekundites ja nanosekundites alates 1970. aasta 1. jaanuari südaööst;
2. naaberseadmete viitesõnumid (*peer delay messages*) – antud sõnumeid vahetatakse üksteisega vahetult seotud võrguseadmete vahel, et hinnata edastusest tekkivat viidet iga ühenduse jaoks;
3. jätkusõnumid (*follow-up messages*) – antud sõnumid sisaldavad eelmise sünkronisatsioonisõnumi saatmise aja täpset märgendit koos korrigeeriva informatsiooniga, mis kujutab endast kõigi ajaserveri ja kliendi vahele jäävate läbipaistvate kellade ja edastusviidete summat ning see esitatakse nanosekundites ja nanosekundite murdosades;
4. teavitussõnumid (*announce messages*) – antud sõnumid sisaldavad informatsiooni aja täpsuse kohta ning muud protokollipõhist teavet.

Siinkohal tuleb märkida, et enamused ajaservereid ei toeta PRP ega HSR liiasusprotokolle, mistõttu tuleb nende liitmiseks kohtvõrguga kasutada *RedBoxe*. See teeb süsteemi kallimaks ega paku häiringukindlust *RedBoxi* ja ajaserveri vahelise sideühenduse või ajaserveri rikkele. Häiringukindluse tõstmiseks on võimalik kasutada kahte eraldiseisvat ajaserverit. RSTP liiasusprotokollide kasutamise puhul ei ole piiranguid ajaserverite kasutamisel. Ajasüsteemi häiringukindluse tõstmiseks hinnatakse PTPv2 korral naaberseadmete viitesõnumite abil kõigi ühenduste korral tekkivat edastusviidet ning seda ka selliste ühenduste korral, mis on mõne liiasusprotokollide alusel tavaliikluseks suletud. Seeläbi on sidevõrgu rikke tulemusel võimalik



koheselt võtta arvesse alternatiivsete teekondade viiteid, mis läbi säilib ajasünkronisatsiooni täpsus. [27]

### 3.2. Ajasüsteemide võrdlemine

Alajaama andmehõivesüsteemi üheks ülesandeks on tagada releekaitse- ja automaatikaseadmete tööks vajaliku informatsiooni olemasolu ja õigsuse kõrval ka selle õigeaegsus. See tähendab, et alajaamas kasutatavad seadmed peavad olema üksteise ning teiste elektrivõrgus kasutatavate seadmetega ajaliselt sünkroniseeritud. Seoses releekaitse- ja sideseadmete arenguga on võimalik aina enam viia protsesse digitaalsele kujule, mis nõuab ka täpsemat ja häiringukindlamat ajasünkronisatsiooni. Hetkel pakutavatest ajasüsteemidest on parimate võimalustega PPS, IRIG-B ning PTPv2, mis pakuvad parimat sünkronisatsiooni täpsust. Seejuures on kõigil ajasüsteemidel oma eelised ja puudused.

PPS on mainitud IEC 61850-9-2 standardis kui peamine ajasünkroniseerimise meetod protsessiini digitaliseerimise korral. Sellest olenemata on sekund-impulsi meetodi peamiseks puuduseks see, et ajasignaali ei sisalda informatsiooni kellaaja kohta. See tähendab, et PPS ajasüsteemi saab kasutada ainult seadmete omavahelise suhtelise sünkronisatsiooni tagamiseks. Küll aga ei ole võimalik seda kasutada seadmete ajaliseks sünkroniseerimiseks. Kuna tänapäevased protsessiini rakendused vajavad toimimiseks täpset ajalist sünkronisatsiooni, siis nähakse ette teiste ajasüsteemide lisamist protsessiini käsitletavatesse standarditesse. PPS ja IRIG-B ajasüsteemi peamiseks eeliseks on suur töökindlus, mis tuleneb eraldiseisva edastusvõrgu kasutamisest. See tähendab, et ajasüsteemi sidekanalis edastatakse ainult konkreetset signaali, mis võimaldab vastuvõtja täpset häälestamist spetsiifilise signaali jaoks. Sekund-impulssüsteemi ja IRIG-B suurimaks puuduseks on täiendava kaabelduse teostamise ning manuaalse kalibreerimise vajadus. Lisaks tuleb antud kahe ajasüsteemi kasutamisel pöörata tähelepanu edastusvõrgu rikete tõenäosusele, sest antud ajasüsteemil puuduvad meetmed häiringukindluse tõstmiseks. PTPv2 ajasüsteemi suurimaks eeliseks IRIG-B ees on alajaama kohtvõrgu kasutamine, mis kõrvaldab vajaduse täiendava kaabelduse järele. Samuti on võimalik tõsta ajasüsteemi häiringukindlust kohtvõrgupõhiste liiasusprotokollide rakendamise ja mitme ajaserveri kasutamise abil. Lisaks ei ole vaja PTPv2 ajasüsteemi korral manuaalselt kalibreerida edastusviidete kompenseerimist. Samas on võimalik kasutada PTPv2 ajasüsteemi ainult siis, kui kohtvõrgus kasutatavad kommutaatorid toetavad antud protokollid, mis võib muuta seadmed kallimaks. Samuti tuleb tähelepanu pöörata

alajaama andmeside potentsiaalsele mõjule ajasüsteemile, kuna kasutatakse sama sidevõrku. PPS, IRIG-B ja PTPv2 omadused on eraldi välja toodud tabelis 3.2. [13, 27, 30]

**Tabel 3.2. PPS, IRIG-B ja PTPv2 ajasüsteemide peamised omadused [13, 27, 30]**

	<b>PPS</b>	<b>IRIG-B</b>	<b>PTPv2</b>
Sünkroniseerimise täpsus	ca 20 ns	ca 20 ns	ca 10 ns
Sidevõrk	Eraldiseisev edastusvõrk	Eraldiseisev edastusvõrk	Alajaama kohtvõrk
Täiendavad seadmed	Signaalijaoturid	IRIG-B jaoturid	Täiendavaid seadmeid vaja ei ole, kuid kohtvõrgu seadmed peavad toetama PTPv2 protokoll
Sisaldab informatsiooni kellaaja kohta (aeg, päev, aasta)	Ei	Jah	Jah
Kalibreerimine	Vajab viidete manuaalset kalibreerimist	Vajab viidete manuaalset kalibreerimist	Viidete kalibreerimine toimub automaatselt
Töökindlus	Ajasüsteemi töökindlus on väga suur, sest eraldiseisva edastusvõrgu kasutamisel ei oma alajaama kohtvõrgu töö mingit mõju ajasüsteemile.	Ajasüsteemi töökindlus on väga suur, sest eraldiseisva edastusvõrgu kasutamisel ei oma alajaama kohtvõrgu töö mingit mõju ajasüsteemile.	Ajasüsteemi töökindlus on suur, kuid ajasüsteemi tööd mõjutab vähesel määral alajaama kohtvõrgu koormus.
Edastusvõrgu häiringukindlus	Ajasüsteemi edastusvõrk ei ole häiringukindel. Samaaegselt ei ole võimalik kasutada mitut ajaserverit.	Ajasüsteemi edastusvõrk ei ole häiringukindel. Samaaegselt ei ole võimalik kasutada mitut ajaserverit.	Edastusvõrgu häiringukindlus on sama, mis alajaama kohtvõrgul tulenevalt kasutatavatest liiasusprotokollidest (RSTP, MSTP, PRP, HSR).
Mitme ajaserveri kasutamise võimalus	Ei	Ei	Jah

## 4. Võrreldavad andmehõivesüsteemid

Käesolevas peatükis käsitletakse kõrgepingealajaama andmehõivesüsteemi erinevaid lahendusi. Esmalt antakse ülevaade hetkel kasutatavast andmehõivesüsteemist ning seejärel tutvustatakse kahte alternatiivset lahendust. Antud peatükis ei käsitleta alternatiivsete andmehõivesüsteemide rakendamise meetmeid ja kasutatavaid seadmeid, vaid antakse süsteemidest põhimõtteline ülevaade.

### 4.1. Hetkel kasutatav andmehõivesüsteem

Järgnevalt kirjeldatakse lõputöö kirjutamise ajal uutes rajatavates kõrgepingealajaamades enim kasutatavat telemaatikavõrgu topoloogiat. Tähelepanu pööratakse nii võrgu sisulisele struktuurile kui ka seadmete paiknemisele alajaamas.

#### Ülesehitus ja tööpõhimõte

Kõrgepingealajaamade andmehõivesüsteemides toimub informatsiooni järkjärguline kogumine ning edastamine kõrgemale tasemele. Esimene tase on informatsiooni algallikas, milleks on enamasti primaarseadmed. Viimased väljastavad elektrilisi signaale, mis on võimalik funktsiooni alusel jagada kaheks: põhisignaalid ning abisüsteemide signaalid. Põhisignaalid on sellised signaalid, mis mõjutavad otseselt primaarseadme tööd. Põhisignaalide hulka kuuluvad näiteks lülitite asendisignaalid, alarõhu häiresignaalid, rikkesignaalid (näiteks võimsuslülitite vedru vinnastamata) ning mõõtetrafode mõõtesuuruste signaalid. Abisüsteemide signaalide alla kuuluvad näiteks kütte ja valgustuse ning võimsuslülitite mootori abitoite rikke signaalid. Võimsuslülitite mootori abitoite rike ei kuulu põhisignaalide hulka seepärast, et ilma mootori toeteta on võimalik lülitit lülitada välja, sisse ja uuesti välja. Kui võimsuslülitil ei ole enam energiat lülituste tegemiseks, siis genereeritakse vedru vinnastamata alarm, mis kuulub põhisignaalide hulka. Abisignaalide hulka kuuluvad ka informatsiooni usaldusväarsuse kinnitamiseks vajalikud signaalid nagu näiteks pingetrafo kaitselüliti asendisignaal. Kui pingetrafo kaitselüliti on väljas, siis puudub pinge kohtterminali pingesisenditel, millest võib järeldada, et pinge primaarpoolel on samuti null. Selline ekslik tõlgendus võib käivitada alapingekaitse ning tekitada pingekontrollil põhinevate funktsioonide ebaõiget talitust. Primaarseadmetelt kogutakse elektrilised signaalid kaablite abil lahtri-põhistesse klemmkappidesse.

Teiseks informatsiooni kogumise tasemeks on lahtripõhine klemmkapp (*Link Box*), mida nimetatakse ka marssaliboksiks (*Marshalling Box*). Klemmkapi eesmärk on koondada kokku

kõigi antud lahtris asuvate primaarseadmete signaalid ning edastada need järgmisele tasemele. Sellisel viisil on võimalik hoida kokku kaablite maksumuselt, sest ei ole vaja iga primaarseadme ühendamiseks tõmmata pikka kaablit juhtimishoonesse. Selle asemel ühendatakse primaarseadmed klemmkappi ning sealt edasi kasutatakse juba mitmesoonelisi kaableid, võimaldades seeläbi vähendada kaablite kogumahtu. Lisaks paiknevad klemmkappides teatud ahelate korral esimesed kaitseaparaadid. Lülitel on oma ajamikapp, milles on kaitselülid mootori abitoite, kütte ja valgustuse ning signaaliahelate kaitseks. Seevastu on pingetrafo sekundaarahelate kõige pingetrafopoolsem kaitselüliti just klemmkapis. See tähendab, et pingetrafo ja klemmkapi vaheline ühendus on kaitsmata, mistõttu peab klemmkapp paiknema rikke tõenäosuse vähendamiseks pingetrafole võimalikult lähedal. Kui lahtripõhist klemmkappi ei ole võimalik pingetrafole piisavalt lähedale paigutada, siis kasutatakse eraldiseisvat pingetrafo klemmkappi, kuhu ühendatakse pingetrafo signaalid ning edastatakse need lahtripõhisesse klemmkappi. Lisaks on lahtripõhises klemmkapis kõige volutrafopoolsem sekundaarahelate lühistamise võimalus.

Kolmandaks tasemeks on releepaneel (*Relay Panel*) ehk releekapp (*Relay Cubicle*) juhtimishoones. Kui klemmkapp koondab signaale peamiselt geograafilise asendi põhised, siis releepaneel koondab signaale vastavalt kohtterminali infovajadusele. See tähendab, et releepaneel sisaldab kõiki vajalikke signaale, mis on tarvis antud releekapis oleva kohtterminali tööks. Siinjuures võib releepaneel sisaldada signaale ka teiste lahtrite primaarseadmete ja mõõtesuuruste kohta. Näiteks sisaldab väljuva liini juhtimisterminali paneel mõõteinformatsiooni lattide pingetrafoolt ning signaale lattide maanduslüli asendi kohta. Releepaneelis on lisaks signaalide koondamisele teostatud signaalide esmased loogilised tehted. Peamiselt kasutatakse signaalide paljundamist ning loogilisi JA/VÕI tehteid.

Käsitletud kolm informatsiooni kogumise ja edastamise taset moodustavad andmehõivesüsteemi protsessisiini. Nagu eelnevast kirjeldusest selgub, toimub kogu informatsioonivahetus protsessisiinis elektriliste signaalide vahendusel. Releepaneelis asuv kohtterminal on esimene mikroprotsessorpõhine seade, mis võimaldab signaalide digitaliseerimist, töötlemist ning edastamist andmesideprotokollide vahendusel. See tähendab ühtlasi ka seda, et kõigi sündmuste ajamärgendid genereeritakse kohtterminali poolt. Sellest tulenevalt tekib lisanduv viga sündmuste täpse tekkimise aja määramises, mida põhjustab ühenduskaablite ja –klemmide takistusest tulenev signaali viide.

Neljandaks tasemeks on alajaama kaugterminal, mis saab vajaliku informatsiooni teistelt seadmetelt alajaamasiini vahendusel. Alajaamasiin kujutab endast tööstuslike kommutaatorite

ning vask- või valguskaablite abil koostatud kohtvõrku, millesse on ühendatud kõik kaug- ja kohtterminalid ning automaatika-, ajasünkroniseerimise ja muud seadmed.

Kohtvõrgu häiringukindluse tõstmiseks kasutatakse RSTP liiasusprotokolli. Lisaks on alajaama seadmed funktsioonide alusel jaotatud kommutaatorite vahel, et vähendada kommutaatori rikkest tulenevat kahju. Näiteks on erinevate kommutaatoritega ühendatud põhi- ja reservkaitsed. Seejuures on kõik kasutatavad seadmed SAN-tüüpi ehk omavad ainult ühte ühendust kohtvõrguga. Elektromagnetiliste mõjude (voolu- ja pingepulsid, müra, häiringud) minimeerimiseks kasutatakse alajaamade kohtvõrkudes võimalusel valguskaableid.

Vertikaalne infovahetus kohtterminalide ja kaugterminali vahel toimib IEC 61850 sideprotokolli alusel. Kohtterminalide omavaheliseks horisontaalseks infovahetuseks kasutatakse IEC 61850 sideprotokolli ainult automaatikafunktsioonideks vajaliku informatsiooni korral. Ülejäänud horisontaalselt edastatava info puhul tuleb võrguettevõtete nõuete kohaselt kasutada elektrilisi signaale [31]. Ajasünkroniseerimiseks kasutatakse GPS referentskella ja sisemise ostsillaatoriga NTP ajaserverit, mis edastab aega alajaama kohtvõrgu vahendusel. Võrguettevõtte nõuete kohaselt tuleb tagada alajaama seadmete ajaline sünkronisatsioon  $\pm 1$  ms täpsusega [32].

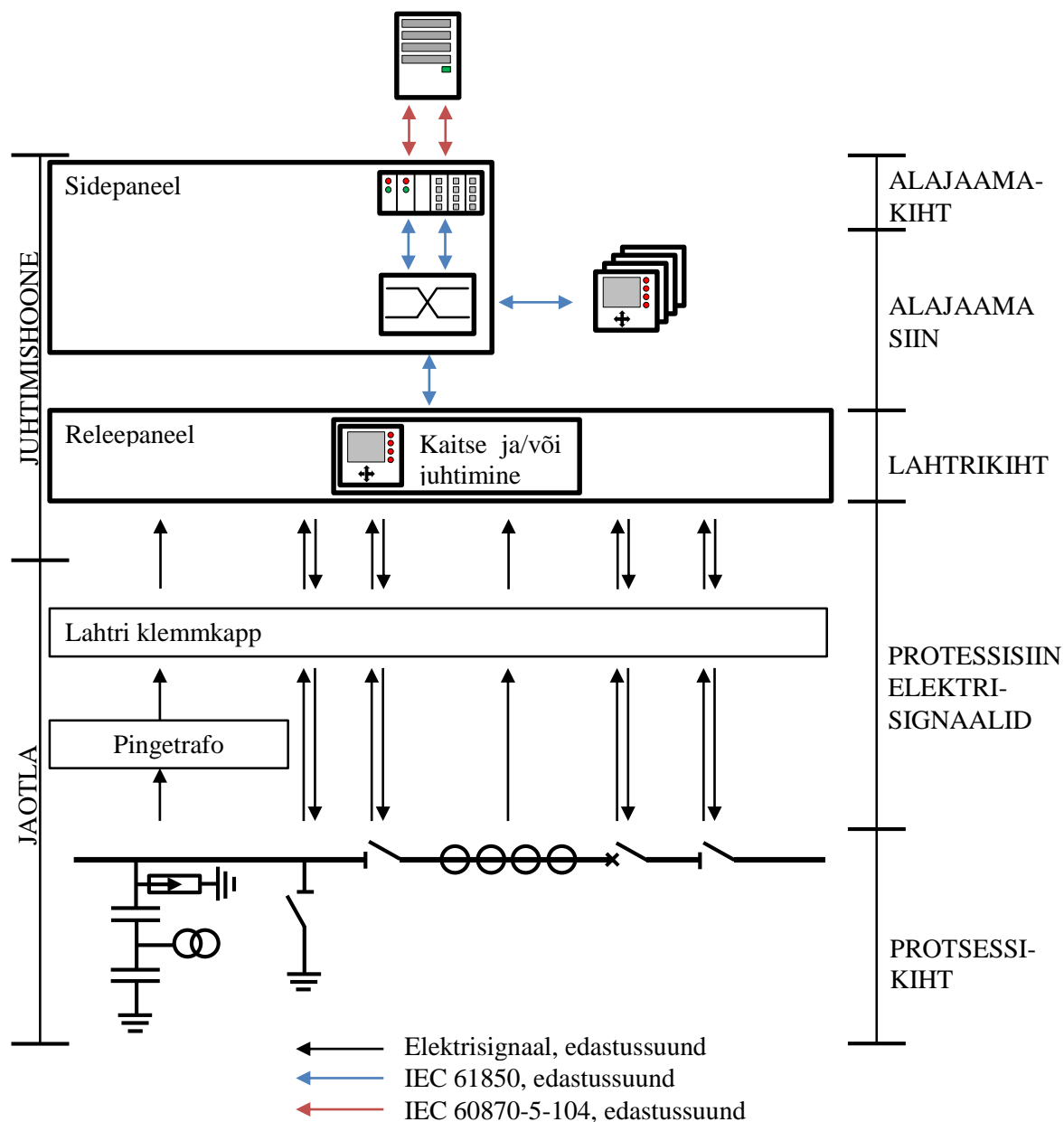
Viiendaks informatsiooni edastamise tasemeks on võrguettevõtte dispetšiteenistus. Neljanda ja viienda taseme vaheline infovahetus toimib IEC 60870-5-104 sideprotokolli alusel. Põhivõrgu alajaamade informatsiooni edastamiseks dispetšiteenistusele kasutatakse üleriigilist sidevõrku, mida haldab Televõrgu AS [33]. Jaotusvõrgu ajalaamade korral kasutatakse sageli Elion AS-i poolt hallatavat sidevõrku.

Kõrgepingelajaamades hetkel kasutatava telemaatikavõrgu topoloogia ja toimimispõhimõtte kuni neljanda informatsiooni edastamise tasemeni on esitatud joonisel 4.1. Värviga on eristatud elektriliste signaalide ning sideprotokolli vahendusel edastatav informatsioon. Noole suund viitab informatsiooni liikumise suunale. Siinjuures tuleb tähelepanu pöörata sellele, et sideprotokolli kasutamise korral toimub mõlemasuunaline infoedastus ühes ja samas sidekanalis. Elektrisignaali korral tuleb iga signaali jaoks kasutada eraldiseisvat kanalit.

### **Töö- ja häiringukindlus**

Eelmises punktis kirjeldatud andmehõivesüsteemi peamiseks eeliseks on selle tõestatud töökindlus, mis tuleneb antud süsteemi laialdasest rakendamisest. Elektriliste signaalide edastamisel primaarseadmetelt kohtterminalidele võib esineda teatavaid elektromagnetilisi

häiringuid. Samas on signalist müra ja häiringute eemaldamine programmeeritud kohtterminalide sisendblokkide tarkvarasse.



**Joonis 4.1. Hetkel kasutatava kõrgepingealajaama andmehõivesüsteemi tööpõhimõte**

Elektriliste signaalide puhul on võimalik ühes kaablisoones edastada ainult ühte signaali. See tähendab, et ühe kaablisoonelise rikke korral katkeb ainult üks signaal ning ülejäänud informatsioonivoog saab normaalselt jätkuda. Samas aga ei ole mitmesoonelises kaablis ainult ühe soone katkemine eriti tõenäoline. Üldjuhul tekib rike mehaanilise vigastuse tõttu terves kaablis korraga. Elektriliste signaalide edastamisel on igal signaalil oma kindel marsruut. See tähendab, et ei ole võimalik katkenud signaali edastada mööda alternatiivset teekonda ilma inimese sekkumiseta. Alajaama andmehõivesüsteemi laiendamise võimaldamiseks jäetakse

igasse rohkem kui seitsmesoonelisse kaablisse vähemalt kaks reservsoont [34]. See tähendab, et signaalikaablite üledimensioneerimise määr võib ulatuda kuni 28 protsendini.

Elektriliste signaalide kasutamisel ei monitoorita edastusvõrku, et avastada võimalikke rikkeid. Ainsaks erandiks on võimsuslüliti väljalülitusahelad, mille korral teostatakse pidevat korrasoleku kontrolli spetsiaalsete väljalülitusahelate kontrollreleede abil (*Trip Coil Supervision Relay*). See tähendab, et alajaama andmehõivesüsteemi toimimises ei saa olla kindel, sest puudub tehnoloogia, mis võimaldaks majanduslikult otstarbekalt monitoorida kogu elektriliste signaalide edastusvõrku. Antud riski maandamiseks teostatakse enne alajaama pingestamist ja üleandmist laiaulatuslikud testimised, mille raames kontrollitakse kõiki ühendusi. See on aga aja- ja ressursikulukas protsess. Lisaks tähendab see ainult seda, et testimise hetkel kõik töötas, ega suuda anda lõplikku vastust süsteemi toimimise kohta teatud aja möödudes. Elektriliste signaalide edastamise rusikareegli kohaselt on signaali olemasolu alarmeeriv nähtus. See tähendab, et normaalolukorras ei ole ükski alarmsignaali aktiivne ning signaal aktiveeritakse alles häire esinemisel. Siinkohal ei pruugi signaal sihtkohta jõuda, kui mõni ühendusklemm on lahti või kehvasti kinnitatud, kaablisoon vigastatud või kohtterminali sisend rikkis. Sellisel juhul eksisteerib samaaegselt kaks väärarusaama: 1) eeldatakse, et alajaama andmehõivesüsteem toimib ricketeta ning 2) arvatakse, et alajaamas ei ole ühtegi häiringuolukorda.

### **Maksumus**

Antud andmehõivesüsteemi korral on iga signaali edastamiseks vaja eraldiseisvat kaablisoont primaarseadmest klemmkapini, klemmi klemmkapis, kaablisoont klemmkapist releepaneelini, klemmi releepaneelis, juhete releepanelist kohtterminalini, sisendit kohtterminalis. Sellest tulenevalt on ühe lahtri informatsiooni edastamiseks vaja kaableid primaarseadmete ja klemmkapi ning klemmkapi ja releepaneeli vahele. Lisaks on vaja projekteerida ja ehitada nii klemmkapp kui ka releepaneel. Seejuures piirab kasutatavate signaalide arvu kohtterminalis olevate sisendite hulk. Klemmkappide paigutamiseks tuleb rajada vundamendid, suure hulga kaablite paigaldamiseks tuleb rajada kaablikanalid ja paigaldada kaablitorud, releepaneelide paigaldamiseks tuleb projekteerida ja valmis ehitada juhtimishoone. Siinkohal tuleb rõhutada, et juhtimishoone ehitamise vajadus ei tulene ainult releepaneelide kasutamisest, kuid hoone vajaliku suuruse määramisel on releepaneelidel suur mõju. Toodud kirjeldusest ilmneb mitmete funktsioonide dubleerimine, millel on oluline tähtsus alajaama ehitusmaksumuses.

### **Käidu mugavus**

Hetkel kasutataval andmehõivesüsteemil põhinevate alajaamade käidu mugavus tuleneb kogemustest ning kehtivatest käidukorralduse juhenditest, mis on koostatud just sellist tüüpi alajaamu silmas pidades. Tänapäevaste automatiseeritud ja kaugloetavate alajaamade puhul ei ole käidukorraldajal põhjust väga tihti alajaamas käia. Sisendi käidukorraldusele annab üldjuhul dispetšiteenistus, tuues välja alajaamas esinenud lühised ning tekkinud rikked, mida ei ole võimalik kaugjuhtimise teel kõrvaldada. Sellisel juhul teostab käidukorraldaja primaarseadmete ülevaate ning püüab vajadusel kõrvaldada sekundaarahelates esinenud rikkeid. Alajaamast ülevaate saamiseks on kõige hõlpsam jälgida juhtimishoones olevate kohtterminalide ekraanidel esitatud informatsiooni lülitite asendite, mõõtesuuruste ja alarmide kohta. Suuremates alajaamades on kasutusel eraldi juhtimisarvutid, mille kasutajaliidese vahendusel on võimalik kiiresti ja ülevaatlikult luua objektiivne pilt alajaama seisundist. Lisaks kasutatakse alajaama alarmide esitamiseks eraldiseisvat signalisaatorit [35]. Signalisaatori eesmärk on koondada kokku alajaamas esinevate rikete signaalid ning teavitada asjaosalisi, et alajaamas on kuskil tekkinud teatud tüüpi rike. Seejuures ei võimalda signalisaator eristada, millises alajaama osas rike esineb. Sellest tulenevalt kontrollib käidukorraldaja alajaama minnes kõigepealt, kas signalisaatoril põleb mõni alarmeeriv tuluke ning seejärel uurib vastavate funktsioonidega kohtterminalide abil rikke kohta täpsemat informatsiooni.

Elektriliste signaalide rikete otsimisel ja kõrvaldamisel on võimalik kasutada multimeetrit ning kontrollida mööda signaaliahelat, kust kohast alates signaal ära kaob või ekslik signaal tekib. Multimeeter on lihtsa ülesehitusega ning väga laialdaselt kasutatav tööriist, mis ei vaja erilisi teadmisi ega tarkvara. Seetõttu on multimeetriga rikkete otsimine lihtne ja võrdlemisi kiire meetod. Samas ei ole võimalik multimeetriga erinevaid signaale üksteisest eristada. See tuleneb elektriliste signaalide edastamise omapärast, mille kohaselt edastatakse kõiki signaale alajaama abitoitepingega. See tähendab, et signaali olemasolul eksisteerib pinge ning vastasel juhul on pinge väärtuseks null volti. Sellest tulenevalt ei ole võimalik koondsignaali alusel eristada, milline alamsignaali koondsignaali esile kutsub.

## **4.2. Protsessiini digitaliseerimisel põhinev andmehõivesüsteem**

Antud alapeatükis kirjeldatakse kõrgepingealajaama telemaatikavõrgu sellist topoloogiat, milles elektrilised signaalid digitaliseeritakse juba protsessiinis. Digitaliseerimiseks kasutatakse spetsiaalset seadet, mida nimetatakse koondamisüksuseks (*Merging Unit*). Koondamisüksuse ülesanne on digitaliseerida primaarseadmetelt tulevad analoogsignaaliid (nii



binaar- kui ka mõõtesignaalid) ja edastada need alajaama kohtvõrgu vahendusel sihtseadmetele ning samuti edastab koondamisüksus releekaitse- ja automaatikaseadmete juhtimiskäsu primaarseadmetele läbi digitaal-analoog muunduri [36].

### **Ülesehitus ja tööpõhimõte**

Sarnaselt hetkel kasutatavale andmehõivesüsteemile, toimub ka koondamisüksuse rakendamisel informatsiooni järk-järguline kogumine ja edastamine läbi viie taseme.

Koondamisüksuse kasutamisest tulenev peamine muutus seisneb primaarseadmetelt tulevate elektrisignaalide digitaliseerimises mitte alles juhtimishoones asuvas kohtterminalis, vaid juba jaotlas asuvas lahtri klemmkapis. See tähendab, et protsessiini teatud osas edastatakse informatsiooni sideprotokolli vahendusel. See loob palju uusi võimalusi, kuid püstitab samal ajal ka tehnilisi raskusi, mis tuleb süsteemi ladusa toimimise tagamiseks lahendada. Koondamisüksusega informatsiooni vahetamiseks kasutatakse dokumendis “*Implementation Guidelines for Digital Interface to Instrument Transformers using IEC 61850-9-2*” sätestatud sideprotokolli, mida nimetatakse ka IEC 61850-9-2LE (*Light Edition*) protokolliks.

Koondamisüksuse algupärane eesmärk oli võimaldada mittekonventsionaalsete mõõtetrafode kasutamist. Sellest tulenevalt olid tähtsaimateks edastatavateks suurusteks mõõtesignaalid, mida tuleb digitaalkujul edastada diskreetsignaali (*Sampled Values*) abil. Diskreetsignaali mudel on defineeritud IEC 61850-7-2 standardis. IEC 61850-9-2 peatükk käsitleb diskreetsignaali mudeli edastamist ISO/IEC 8802-3 kohaselt, mis defineerib süsteemide vahelise informatsiooni vahetamise põhimõtted LAN ja WAN võrkudes, sealhulgas ka kasutatava kaadri struktuuri. IEC 61850-9-2 standardiosa kirjeldab kogu diskreetsignaali edastamise viisi ning seda üldistatud tasemel. Üldistusest tuleneva määramatuse kõrvaldamiseks töötati välja IEC 61850-9-2LE. Antud tehnilises juhendis defineeriti täpselt, milliseid valikuid tuleks teha juhul, kui standard näeb ette erinevaid võimalusi. See tähendab, et määrati kasutatavad loogilised seadmed (*LD – Logical Devices*), loogilised sõlmed (*LN – Logical Nodes*) ja informatsiooni vahetamise andmestik (*Datasets*), millest tuleb lähtuda vastavate seadmete tootmisel. Nimetus LE tuleneb sellest, et kasutatakse ainult osa IEC 61850 standardis defineeritud võimalustest. Nii ei sisalda näiteks IEC 61850-9-2LE sideprotokoll kaitsefunktsioonide teostamiseks või võimsuslüliti seisukorra monitoorimiseks vajalikke elemente. [36, 37, 38]

Tabelis 4.1 on esitatud peamised suurused, mis ei olnud kindlalt paika pandud IEC 61850-9-2 standardis ning mis määrati IEC 61850-9-2LE tehnilises juhendis.

**Tabel 4.1. IEC 61850-9-2LE juhistes tehtud tehnilised täpsustused [39]**

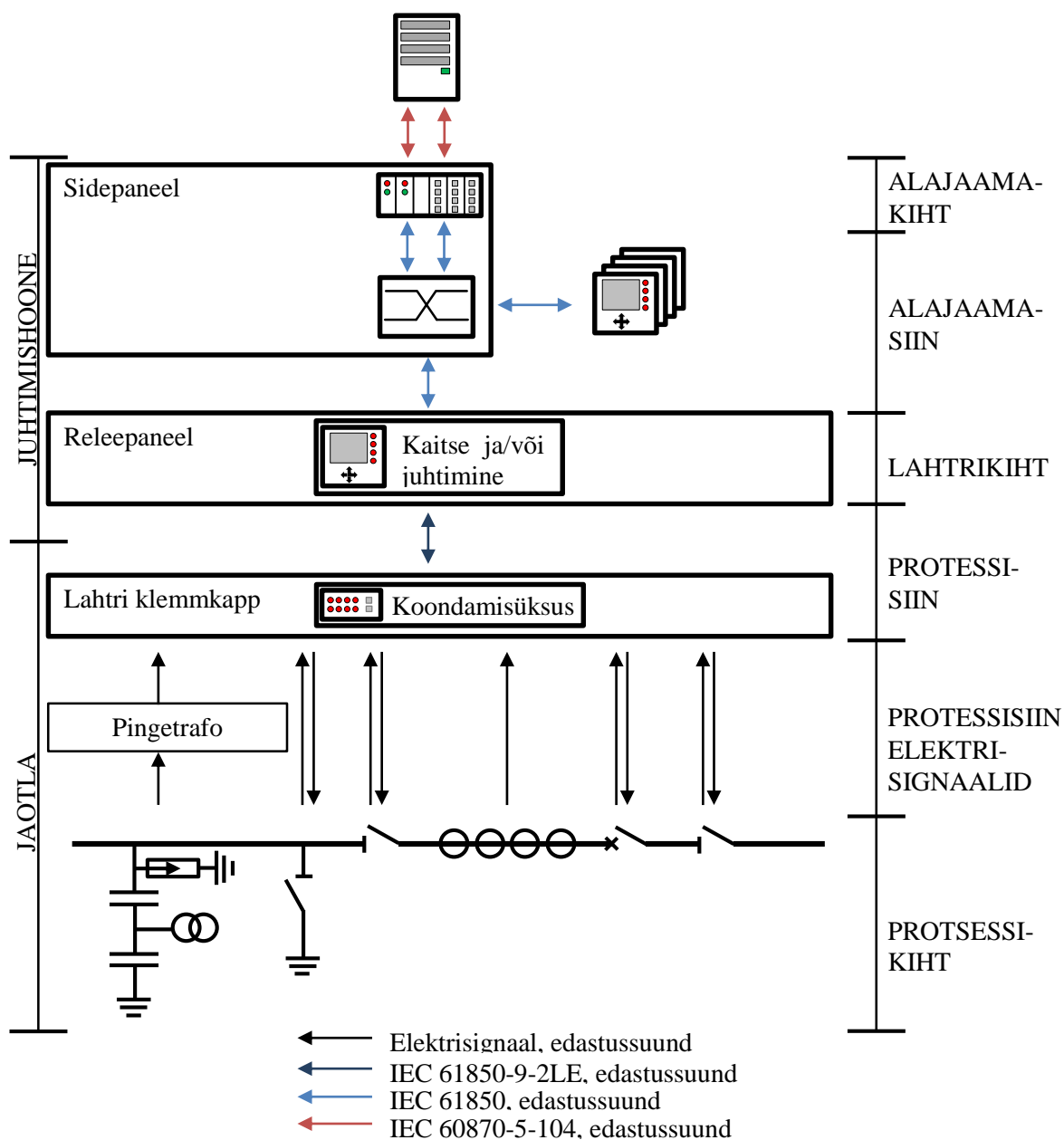
Parameeter	IEC 61850 standard	IEC 61850-9-2LE tehniline juhis
Analoogmõõtmiste diskreetimise sagedus	Vabalt valitav parameeter	80 mõõtmist ühe tsükli jooksul kaitsefunktsioonide ja mõõtmiste korral 256 mõõtmist ühe tsükli jooksul energiakvaliteedi mõõtmise korral
Andmepaketi ( <i>Dataset</i> ) sisu	Konfigureeritav	Kolmefaasiline vool + neutraalivool Kolmefaasiline pinge + neutraalipinge
Ajasünkronisatsioon	Ei ole defineeritud	Optiline sekundimpulss (PPS)
Koondamisüksus kui loogiline seade ( <i>Logical device</i> )	Sisu ja nimetus ei ole spetsifitseeritud	Spetsifitseeritud reeglid loogilise seadme nimele (LD) ja neis sisalduvatele loogilistele sõlmedele (LN)

Koos signaalide digitaliseerimisega lahtri klemmkapis genereeritakse ka sündmuste ajamärgendid juba koondamisüksuse poolt. See tähendab, et sündmusele lisatav ajamärk langeb suurema täpsusega kokku sündmuse esinemise reaalse ajaga.

Joonisel 4.2 on kujutatud koondamisüksuse kasutamisel põhineva andmehõivesüsteemi ülesehitust ja tööpõhimõtet. Jooniselt on näha, et primaarseadmetelt edastatavad signaalid konverteeritakse digitaalkujule lahtri klemmkapis asuvas koondamisüksuses. Informatsioon koondamisüksuselt kohtterminalile edastatakse alajaama kohtvõrgu vahendusel fiiberoptilise kaabli kaudu, kasutades IEC 61850-9-2LE sideprotokolli. Juhtimishoonesisene infovahetus toimub sarnaselt hetkel kasutatavale andmehõivesüsteemile IEC 61850 kohaselt. Informatsioonivahetus dispetšiteenistusega toimub IEC 60870-5-104 sideprotokolli vahendusel.

### **Väljakutsed**

Tulenevalt ajamärgendite genereerimisest koondamisüksuse poolt, tuleb tagada koondamisüksuse täpse ajaline sünkroniseeritus. Ajasüsteemi projekteerimisel tuleb silmas pidada, et diskreetsignaalide edastamiseks on vajalik väga suur sünkroniseerimistäpsus, mis tähendab, et tuleb kasutada suurt täpsust võimaldavaid seadmeid. Käesoleval hetkel on võimalik vajalik sünkroniseerimistäpsus saavutada PPS, IRIG-B või PTPv2 ajasüsteemide kasutamisel. Ajasüsteemi suurem täpsus tähendab teisest küljest ka suuremat maksumust. Lisaks tähendab see seda, et ajasüsteem tuleb viia alajaama juhtimishoonest väljapoole.



**Joonis 4.2. Protsessisiini digitaliseerimisel põhineva andmehõivesüsteemi tööpõhimõte**

Informatsiooni vahetamiseks koondamisüksuse ja kohtterminali vahel kasutatakse alajaama kohtvõrku. Sellest tulenevalt tuleb sarnaselt ajasüsteemile laiendada ka alajaama kohtvõrku väljapoole juhtimishoonet. Samas tuleb tagada alajaama kohtvõrgu töö- ja häiringukindlus õigete võrguelementide, -topoloogia ja liiasusprotokollide kasutamisega.

Alajaamades kasutatav koondamisüksus on oma koostekvaliteedilt tööstuslik seade, mille raketeta töötamiseks tuleb tagada vastavad töötingimused. Kui koondamisüksus paigutada lahtri klemmkappi, siis muutuvad klemmkapi konstruktsioonilised tingimused tunduvalt olulisemaks. Enim tuleb tähelepanu pöörata temperatuurile külma talve ja kuumade suve korral ning niiskusele ja tolmu. Lisaks võib olla vajalik klemmkapi mõõtmete suurendamine.

Olenemata tehnilisest keerukusest on tõenäoliselt suurim väljakutse võrguettevõtetele loa saamine koondamisüksusel baseeruva andmehõivesüsteemi rakendamiseks Eesti alajaamades.

### **Võimalused**

Koondamisüksuse kasutamisel on võimalik hoida kokku dubleerimisest tulenevaid kulusid. Hetkel kasutatava andmehõivesüsteemi korral on iga signaali jaoks kaabel primaarseadmest klemmkappi, klemmid klemmkapis, kaabel klemmkapist releepaneeli, klemmid releepaneelis, juhtmed releepaneeli klemmidelt kohtterminali sisenditele. Koondamisüksuse kasutamine võimaldab elimineerida klemmkapist releepaneeli minevad kaablid, klemmid releepaneelis ning juhtmed releepaneeli klemmidelt kohtterminali sisenditele. See tähendab, et koondamisüksuse kasutamine aitab vähendada sekundaarkaablite mahtu. Hetkel kasutatava andmehõivesüsteemi korral on iga signaal edastatud klemmkapist kohtterminalile eraldiseisva kaablisooone kaudu, jättes igasse enam kui seitsmesoonelisse kaablise kaks soont varuks [34]. Koondamisüksuse kasutamisel edastatakse kogu vajalik informatsioon ühe fiiberoptilise kaabli abil. Seejuures ei teki probleeme elektromagnetilise interferentsiga, elektrilise lühise tekkimisega ega pingelanguga. Lisaks on võimalik lihtsamalt lisada signaale ja kohandada infoedastust tänu programmeerimise võimalusele ja sidekanalis edastatava informatsiooni piirangu puudumisele.

Samuti võimaldab koondamisüksuse kasutamine hoida kokku releepaneeli maksumuselt. Peamine kulude kokkuhoiu allikaks on ärajäävad klemmid ja juhtmed. Tulenevalt klemmide märkimisväärselt vähenemisest on võimalik ühte releepaneeli paigutada rohkem kohtterminalile, mille tulemusena väheneb releepaneelide koguarv. Lisaks on võimalik märkimisväärselt säästa releepaneelide projekteerimisele kuluva ressursi arvelt.

### **Töö- ja häiringukindlus**

Koondamisüksuse kasutamine peaks suurendama alajaama andmehõivesüsteemi töökindlust. Üheks töökindlust suurendavaks aspektiks on elementide arvu vähendamine. Mida vähem on süsteemis komponente, seda väiksem on rikke tõenäosus. Lisaks toimub koondamisüksuste pidev monitoorimine, mis võimaldab varakult avastada siderikkeid ning võtta vastu vajalikke meetmeid side taastamiseks. Seejuures on töökindluse seisukohast esmatähtis koondamisüksuse enda riketeta töö. Kuna kogu informatsioon liigub läbi koondamisüksuse, siis tekib koondamisüksuse enda või tema sidekanali rikke korral täielik informatsioonikadu. Sellise olukorra tekkimise tõenäosus tuleb tehniliste lahendustega viia miinimumi ning töötada välja meetmed rikke tekkimisel esinevate kahjulike ilmingute vähendamiseks.

## **Näidisprojekt**

Digitaalse protsessiini esimene edukas implementeerimine väljaspool Hiinat viidi ellu 2011. aastal Austraalias Loganlea alajaamas elektrivõrguoperaatori Powerlink ja ABB koostöös. Powerlink on üks Austraalia elektrivõrguoperaatoritest, mis omab suuremat osa Austraalia idaranniku ülekandevõrgust. Loganlea 275/110 kV alajaama rekonstrueerimise käigus uuendati täielikult alajaama andmehõivesüsteem, kuid primaarseadmed jäeti samaks. Antud projekti käigus võeti esmakordselt kasutusele IEC 61850-9-2LE põhine diskreetsignaali protsessiini koos kommutaatoritel põhineva kohtvõrguga. Loganlea alajaamas tegi digitaalse protsessiini rakendamise võimalikuks varasem ühisprojekt ABB-ga, kus alajaama ehitamise käigus kasutati kompaktsed gaasisolatsioonsüsteemi iPASS (*Intelligent Plug And Switch System*). iPASS kujutab endast ühtses kestas paiknevat moodulit, mis sisaldab võimsus-, lahk- ja maanduslülitit ning mittekonventsionaalseid voolutrafosid läbiviikudes. Seeläbi oli võimalik kasutada mittekonventsionaalsete voolutrafode jaoks väljatöötatud koondamisüksuseid. Siinkohal tuleb rõhutada, et projekti teostamise ajal ei olnud saadaval konventsionaalsete voolutrafode jaoks mõeldud koondamisüksuseid.

### **4.3. Protsessiini minimeerimisel põhinev andmehõivesüsteem**

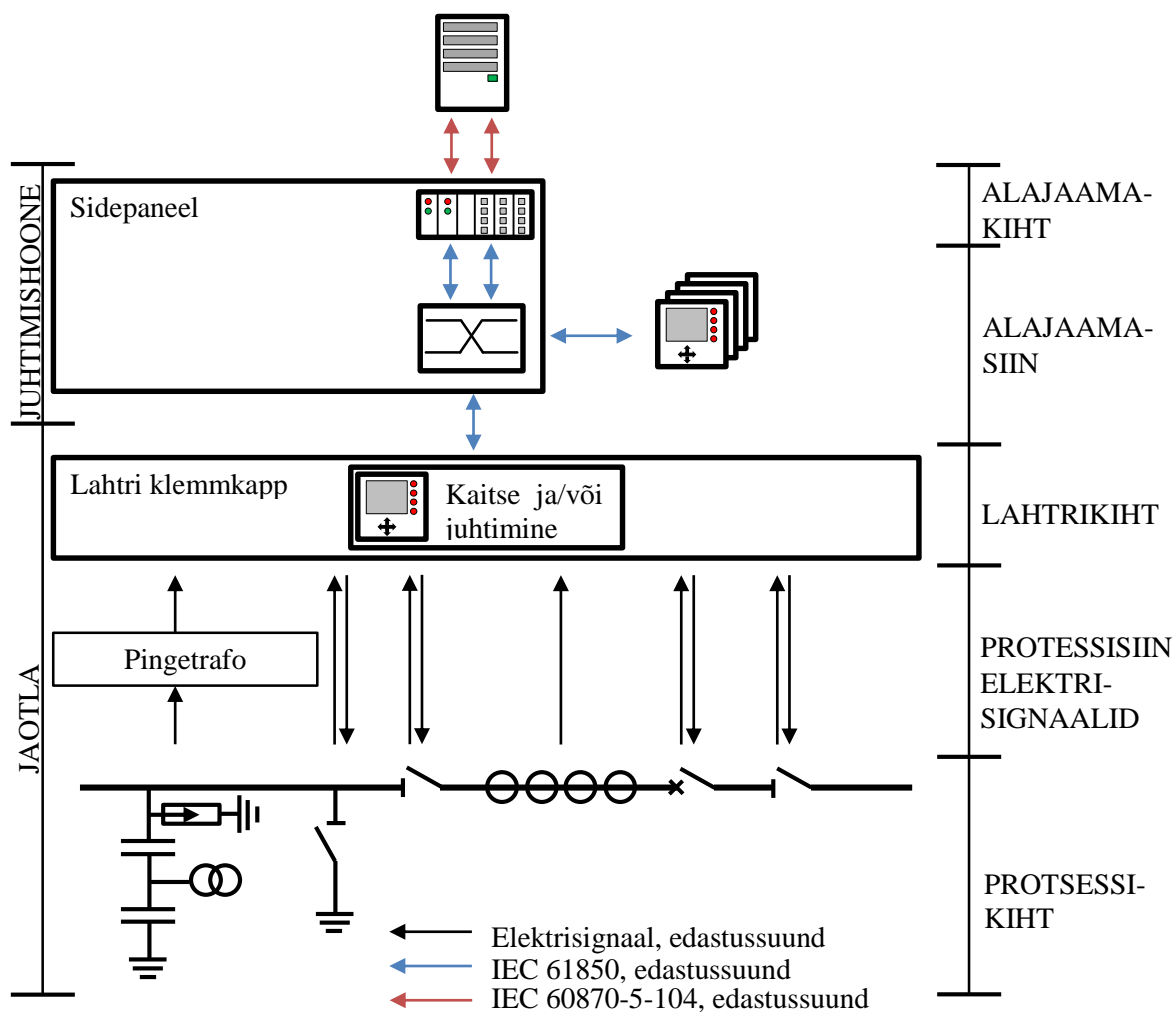
Käesolevas alapeatükis kirjeldatakse protsessiini minimeerimise võimalusi ning sellest tulenevaid muutusi andmehõivesüsteemi topoloogias ja toimimispõhimõtetes. Eelmises peatükis kirjeldati koondamisüksuse rakendamise põhimõtteid kõrgepingealajaama andmehõivesüsteemis. Nagu selgus, on koondamisüksuse kasutamiseks vaja laiendada ajasüsteemi ja alajaama kohtvõrku välijaotlas asuva klemmkapini. Samuti tuleb pöörata tähelepanu koondamisüksuse töö- ja häiringukindlusele nii seadme enda kui ka sideühenduste seisukohast. Koondamisüksusel põhineva andmehõivesüsteemi edasiarendusena oleks võimalik elimineerida koondamisüksused ning asendada need lahtri klemmkapis asuvate kohtterminalidega. Sideühenduste ja ajasüsteemi seisukohast ei ole vahet, kas klemmkapis asub koondamisüksus või kohtterminal.

### **Ülesehitus ja tööpõhimõte**

Sarnaselt eelnevalt kirjeldatud andmehõivesüsteemidele, toimub ka vaadeldava lahenduse korral informatsiooni järk-järguline kogumine ja edastamine. Erinevalt eespool vaadeldud süsteemidest koosneb antud andmehõivesüsteem ainult neljast tasemest.

Kohtterminali lahtri klemmkappi paigutamisel digitaliseeritakse primaarseadmetelt tulevad elektrisignaalid digitaalsignaalideks lahtri klemmkapis sarnaselt koondamisüksusele.

Erinevuseks on see, et kui koondamisüksus digitaliseerib informatsiooni ainult edastamise eesmärgil ning edastatava informatsiooni põhjal tehakse otsuseid juhtimishoones asuvas kohtterminalis, siis antud juhul tehakse otsused juba klemmkapis. Sellest tulenevalt on võimalik elimineerida üks informatsiooni edastamise tase läbi klemmkapi ja releepaneeli tasemete ühildamise.



**Joonis 4.3. Protsessisiini minimeerimisel põhineva andmehõivesüsteemi tööpõhimõte**

Käsitleva kõrgepingealajaama andmehõivesüsteemi ülesehitust ja tööpõhimõtet on kujutatud joonisel 4.3. Esitatud jooniselt on võimalik näha, et informatsiooni edastamiseks kasutatakse ainult nelja taset: primaarseadmete tase, lahtripõhise klemmkapi tase, kaugterminali tase ja dispetsiteenistuse tase. Protsessisiin on tunduvalt lühem võrreldes eelnevalt käsitletud andmehõivesüsteemidega. Seejuures ei edastata protsessisiinis andmeid digitaalselt, millest tulenevalt ei kohaldu mõõtesignaali diskreetimisest tulenevad nõuded. Informatsiooni vahetus dispetsiteenistusega toimub IEC 60870-5-104 sideprotokolliga kohaselt.

## **Väljakutsed**

Käsitletava andmehõivesüsteemi rakendamise üheks peamiseks väljakutseks on kohtterminalidele vajalike töötingimuste tagamine. Sealjuures on kõige olulisem viia klemmkapi konstruktsioon vastavusse kohtterminali nõuetega. Releekaitset kasutatakse põhi- ja reservkaitsefunktsioonide jaoks enamasti eraldi kohtterminale. See tähendab, et klemmkappi tuleb paigutada vähemalt kaks kohtterminali. Kuuma suveperioodil vajaliku töötemperatuuri säilitamiseks võib olla vajalik kohtterminalide paigutamine eraldiseisvatesse klemmkappidesse. Nii klemmkapi mõõtmete suurendamine kui ka eraldiseisvate klemmkappide kasutamine kujutab endast lisanduvat kulu.

Lisaks muudab kohtterminali klemmkappi paigutamine alajaama käidukorralduse keerulisemaks. Hetkel kasutatava andmehõivesüsteemi korral on kohtterminalid juhtimishoones üksteise kõrval ning hooldustööde korral on võimalik operatiivselt erinevate kohtterminalide vahel liikuda. Välijaotla klemmkappidesse laiali paigutatud kohtterminalide korral on selline tegutsemine keerulisem. Samas on võimalik kohtterminale seadistada, sündmuste arhiive alla laadida, lülitusoperatsioone teostada ning terminali seisundi kohta informatsiooni saada kaughalduse teel. Selleks otstarbeks tuleb lisada alajaama juhtimishoonesse juhtimisarvuti. Enamasti ei ole eraldiseisev juhtimisarvuti elektrivõrgu operaatori poolt nõutud, mistõttu kujutab see endast täiendavat kuluallikat. Kui kohtterminalide haldamise ja hooldamise töid on suuresti võimalik teostada kaughalduse teel, siis releekaitse- ja automaatikafunktsioonide testimist saab teostada ainult välijaotlas kohapeal.

## **Võimalused**

Antud andmehõivesüsteem võimaldab kõige kriitilisema ühedussiini – protsessiini – märkimisväärset lühendamist. Nii hetkel kasutatava kui ka koondamisüksusel põhineva andmehõivesüsteemi korral ulatub protsessiini jaotlas asuvast primaarseadmest kuni juhtimishoones asuva kohtterminalini. Protsessiinis edastatakse releekaitse- ja automaatikafunktsioonide toimimiseks vajalikku informatsiooni. Seejuures ei sisalda protsessiini informatsiooni talletamise võimalust. See tähendab, et näiteks protsessiini ajutise rikke korral ei rakendu või rakenduvad valesti vajalikud kaitse- või automaatikafunktsioonid. Mida lähemale viia kohtterminal, kui informatsiooni talletamise ja töötlemise põhiseade, primaarseadmetele, seda väiksem on protsessiinis esinevate rikete tõenäosus. Kohtterminali sidekanali katkemise korral suudab relee jätkada oma ülesande täitmist ning ühenduse taastamisel edastatakse seni sisemällu talletatud signaalid.

Kohtterminal vajab toimimiseks ajasünkroniseerimist ja sideühendust. See tähendab, et sarnaselt koondamisüksuse kasutamisele tuleb laiendada ajasüsteemi ja alajaama kohtvõrku väljapoole juhtimishoonet lahtri klemmkapini. Seejuures ei ole aga nõutav ajasünkronisatsiooni äärmiselt suur täpsus, kuna protsessisiinis ei edastata informatsiooni digitaalsel kujul. See tähendab, et antud andmehõivesüsteemile ei kohaldu mõõtesignaalide diskreetimisest tulenevad nõuded. Samas genereeritakse sündmuste ajamärgendid lahtri klemmkapis ehk primaarseadmetele lähemal, mis tagab sündmuse ajamärgendi ning sündmuse reaalse tekkimise aja suurema kokkulangevuse. Lisaks tuleb pöörata tähelepanu kohtvõrgu töö- ja häiringukindlusele, võrgu topoloogiale ning kasutatavatele liiasusprotokollidele.

Antud andmehõivesüsteemi suurim majanduslik kokkuhoid tuleneb eraldiseisvate relepaneelide eemaldamisest. See tähendab, et hoitakse kokku nii relepaneelide ehitus- kui ka projekteerimiskuludelt. Lisaks on relepaneelide puudumise korral võimalik märkimisväärselt vähendada alajaama juhtimishoone suurust, mis võimaldab langetada hoone ehitusmaksumust. Samuti on võimalik sekundaarkaablite mahtu märkimisväärselt vähendada ning kokku hoida koondamisüksuse maksumuselt.

Kohtterminali kasutamisega lahtri klemmkapis on võrreldes koondamisüksusega veelgi paremad laiendamise ja signaalide lisamise võimalused tulenevalt kohtterminali suuremast võimekusest. Vajalikku informatsiooni on võimalik teiste kohtterminalidega vahetada IEC 61850 sideprotokollis defineeritud GOOSE (*General Object Orientated Substation Events*) sõnumitega, mida on samuti võimalik igal ajahetkel lihtsasti lisada või muuta ning seda ka kaughalduse vahendusel.

Antud meetod suurendab ajalaama andmehõivesüsteemi töökindlust. Protsessisiinis elektriliselt edastatavate signaalide sidekanaleid ei monitoorita pidevalt (v.a võimsuslüliti väljalülitusahelad). Kohtterminali paigutamise klemmkappi lühendatakse mitte-monitooritavaid ahelaid olulisel määral, mis samaaegselt vähendab rikke tekkimise tõenäosust ning suurendab vea avastamise kiirust. Seejuures toimub kohtterminali sidekanali ühenduse pidev kontrollimine.



## 5. Protsessiini digitaliseerimise tehniline teostus

Käesolevas peatükis tuuakse välja koondamisüksusel põhineva andmehõivesüsteemi teostuse võimalused ja tehnilised lahendused. Seadmete valikul tuginetakse ABB tootekataloogidele ning Elering AS poolt aktsepteeritud toodete loetelule.

### 5.1. Kasutatavad seadmed

Protsessiini digitaliseerimisel põhineva andmehõivesüsteemi keskseks elemendiks on koondamisüksus, mis peab suutma digitaliseerida nii mõõtetrafodelt tulevaid mõõtesignaale kui ka omama digitaalsisendeid ja –väljundeid. Koondamisüksus peab vastama ajasünkronisatsiooni nõuetele ning alajaama kohtvõrgu töö- ja häiringukindluse kriteeriumitele. Lisaks peab koondamisüksus olema tööstusliku konstruktsiooniga ning suutma häireteta töötada rasketes tingimustes ja tugevate elektromagnetväljade mõjupiirkonnas.

#### Mõõtesignaali digitaliseerimise seade – SAM600

2014. aasta Hannoveri messil tutvustati ABB alajaamade digitaliseerimise tootegrupi uusimat tooteseeriat SAM600 [40]. SAM600 näol on tegemist protsessiini sisend-väljundseadmega, mis võimaldab integreerida klassikalised mõõtetrafod alajaama andmehõivesüsteemiga IEC 61850-9-2 sideprotokolli vahendusel [41].

SAM600 tooteseeria seadmed on modulaarse ülesehitusega, mis pakub ohutut, efektiivset ja lihtsasti laiendatavat võimalust voolu- ja pingetrafo de liitmiseks alajaama andmehõivesüsteemiga. SAM600 paigaldatakse primaarseadmetele võimalikult lähedale, millest tulenevalt väheneb sekundaarkaablite maht. Seade on tööstusliku konstruktsiooniga ning ette nähtud töötama rasketes ilmastiku ja elektromagnetilistes tingimustes. [41]

SAM600 tooteseeria on välja töötatud ühe riistvaralise seadmena ühe primaarseadme kohta ehk iga erineva ahela voolu- ja pingetrafo jaoks tuleb kasutada eraldi seadet. Seejuures on oluline, et iga primaarseadme kõik sekundaarahelad lõpetatakse SAM600 seadmes. See tähendab, et lisaks mõõtesignaale ühendatakse SAM600 seadmega ka primaarseadme binaarsed abisignaalid. SAM600 seadmed on eelkõige ettenähtud klassikaliste voolu- ja pingetrafo jaoks, kuid nad on võimelised kombineerima ka mittetraditsioonilisi voolutrafosid (ABB FOCS) klassikaliste pingetrafo dega. [41]

Igal SAM600 seeria seadmepool on mitu sideühenduse porti, mis võimaldab rakendada erinevaid kohtvõrgu topoloogiad ning elimineerib seejuures väliste kommutaatorite vajaduse. Seadmed

on ettenähtud paigaldamiseks DIN-liistule, mis muudab nende installeerimise ja vahetamise kiireks ning mugavaks. Lisaks on tootja sõnul võimalik kõiki SAM600 seadmeid paigaldada nii relepanelidesse kui ka välijaotlas asuvatesse klemmkappidesse. Tabelisse 5.1 on lisatud ABB vastava tootegrupi juhi Stefan Meier'i poolt kinnitatud parameetrid SAM600 tooteseeria töötingimuste kohta.

*Tabel 5.1. SAM600 töötingimused*

Parameeter	Väärtus
Töötemperatuur	-40...+70
Suhteline õhuniiskus	<93%
Seadme kaitseaste	IP20

Joonisel 5.1 on esitatud SAM600 seeria tooted. Jooniselt on näha, et seade koosneb primaarseadme sekundaarahela klemmidest ja muundur-seadmest, pingetrafo korral ka kaitselülitist. Seejuures on võimalik klemme vabalt valida, mis võimaldab kasutada enimlevinud või tulenevalt võrguettevõtte erinõuetest spetsiaalseid klemmide tüüpe. [41]

ABB SAM600 tooteseeriasse kuulub kolm erinevat seadet [41]:

- 1) SAM600-CT – volutrafo signaalide digitaliseerimiseks
- 2) SAM600-VT – pingetrafo signaalide digitaliseerimiseks
- 3) SAM600-TS – ajasünkroniseerimiseks



*Joonis 5.1. SAM600 tooteseeria – vasakult SAM600-CT, SAM600-VT, SAM600-TS [41]*

### **Binaarsignaalide digitaliseerimise seade – RIO600**

RIO600 on ABB Relion seeria toode, mille eesmärk on laiendada IED-de sisend- ja väljundseadmeid, kasutades selleks IEC 61850 sideprotokolli. Lisaks on RIO600 võimeline tuvastama läbivat lühist ning teostama mõõtmisfunktsioone. RIO600 on modulaarse ülesehitusega, mis muudab selle rakendamise kiireks, mugavaks ja säästlikuks. Binaarsignaalide sisendmoodulit on võimalik kasutada, et edastada primaarseadmetelt tulevaid

binaarsignaale kohtterminalile või andmehõivesüsteemi ülemisele kihile. Binaarväljundite mooduli abil on võimalik primaarseadmeid juhtida tuginedes IEC 61850 sideprotokolli kaudu kohtterminalilt saadud käskudele. Lisaks on RIO600 seadmel RTD/mA moodul, mille abil on võimalik ühendada temperatuurikontrollereid (nt trafo õli/mähise temperatuur) ning milliamper väljundiga seadmeid (nt trafo astmelüliti positsioon). Analoogsignaale väljundmooduliga on võimalik juhtida väliseid seadmeid, millel on milliamper sisend (näiteks trafo astmelüliti juhtimine). RIO600 seadmega on võimalik ühendada ka voolu- ja pingesensoreid, kuid mitte konventsionaalseid mõõtetrafosid. Maksimaalselt on võimalik RIO600 seadmega ühendada 40 binaarsisendit ja 40 binaarväljundit. Analoogsisendeid on võimalik ühendada kokku 40 ning analoogväljundeid 16. [42]

Kui kasutada RIO600-t alajaamas lahtripõhise koondamisüksusena, siis tuleb kasutada mittekonventsionaalseid mõõtemuundureid. Käesolevaks hetkeks on mittekonventsionaalsed kõrgepinge mõõtemuundurid (*NCIT – Non-Conventional Instrument Transformers*) tunduvalt kallimad tavapärastest mõõtemuunduritest. 2012. aastal Eleringi poolt Tallinna Tehnikäilikoolilt tellitud uuringu tulemusena leiti, et mittekonventsionaalsed mõõtemuundurid ei suuda väikese fiidrite arvuga alajaamades pakkuda täiendavalt suuremat funktsionaalsust ning pigem tuleks keskenduda alajaamade digitaalsidele üleviimisele rakendades olemasolevaid mõõtemuundureid [43]. Sellest tulenevalt ei vaadelda käesolevas lõputöös mittekonventsionaalsete mõõtetrafodega seotud küsimusi.

Konventsionaalsete mõõtetrafode kasutamise korral on võimalik RIO600-t kasutada peamiselt binaarsignaale sisend-väljundseadmena, teatud rakendustes lisaks ka analoogsignaale sisend-väljundseadmena. Moodulpõhine ülesehitus võimaldab minimeerida üledimensioneerimist ning muudab hilisema laiendamise äärmiselt lihtsaks. RIO600 seadme maksimaalne võimekus on piisav kasutamiseks tavapäraste rakenduste korral.

RIO600 ainsaks miinuseks on optilise väljundi puudumine, mis tähendab, et füüsilise andmekandjana saab kasutada ainult RJ45 otsikuga vaskkaablit. See piirab RIO600 ja alajaama kohtvõrgu kommutaatori vahelist distantsi ning kujutab elektromagnetilisest interferentsist ja pingeimpulssidest tulenevalt täiendavat riski. ABB Vaasa relee tehase esindaja Janne Starck'i sõnul tuuakse turule optilise väljundpordiga RIO600 toode 2015. aasta teises pooles. Sellest tulenevalt vaadeldakse edaspidi RIO600 seadme sellist versiooni, mis on varustatud optilise väljundpordiga. RIO600 on tööstusliku konstruktsiooniga ning ette nähtud töötama rasketes ilmastiku- ja elektromagnetilistes tingimustes [42]. Tabelis 5.2 on välja toodud peamised RIO600 töötingimused ning joonisel 5.2 on esitatud seadme illustratsioon.



**Joonis 5.2. RIO600 [42]**

**Tabel 5.2. RIO600 töötingimused [42]**

Parameeter	Väärtus
Töötemperatuur	-25...70
Suhteline õhuniiskus	<93%
Õhurõhk	86...106 kPa
Kõrgus merepinnast	Kuni 2 000 m
Seadme kaitseaste	IP20

### **Kohtterminalid**

Kuna kohtterminalide valikul ei esine digitaalse protsessiini kasutamisel suuri muutusi võrreldes hetkel kasutatava andmehõivesüsteemiga, siis piirduakse antud peatükis ainult digitaalse protsessiini toe vaatlemisega.

Elering AS poolt heakskiidetud kohtterminalide hulka kuuluvad 330 kV pingestmel kõik REx670 tooteseeria kohtterminalid ning 110 kV pingestmel kõik REx670 ja REx650 tooteseeria kohtterminalid. Keskpingel ja automaatikafunktsioonide jaoks võib kasutada ka REF630 kohtterminali. [31]

Alajaamasiinis kasutatakse sidepidemiseks IEC 61850 sideprotokolli 100BASE-FX füüsilise kihi kaudu ning kaughalduse jaoks kasutatakse TCP/IP protokolliga 100 Mbit/s ühenduskiirusega. Kohtterminali ajamärgendite genereerimise resolutsioon on 1 millisekund. Saavutatav sünkronisatsiooni täpsus on minut-impulss-signaali või SNTP standardi kasutamisel  $\pm 1$ ms. IRIG-B ajasüsteemi kasutamisel on võimalik saavutada sünkroniseerimistäpsus  $\pm 1$   $\mu$ s. [44]

Relion tooteseeria REx650 ja REx670 kohtterminalid toetavad protsessiini IEC 61850-9-2LE kohast kommunikatsiooni 100BASE-FX füüsilise kihi kaudu. REx630 kohtterminalid ei toeta lõputöö kirjutamise ajal digitaalse protsessiini kasutamist. Küll aga on sellekohane tugi REx615 seeria toodetel, mis on oma omadustelt madalama klassi tooted kui REx630. Sellest tulenevalt on põhjust arvata, et järgmise uuenduse käigus tuleb digitaalse protsessiini tugi kõigile ABB Relion tooteseeria kohtterminalidele, mis seda käesoleval hetkel veel ei toeta.

ABB Relion seeria REx670 releed on võimelised töötleva paralleelselt nii elektrilisi kui ka digitaalsete mõõteandmeid [41]. See tähendab, et näiteks trafo diferentsiaalkaitse korral on võimalik kasutada kõrgepingepoolelt mõõteandmete edastamist digitaalse protsessiini kaudu ning madalpingepoolelt elektrilisignaali abil. See tähendab, et alajaama kõrgepingejaotla uuendamisel ei tule teha täiendavaid muudatusi alampingejaotlas.

### **Alajaamakihi seadmed**

Alajaamakihi seadmed jäävad suures osas samaks võrreldes hetkel kasutatava andmehõivesüsteemiga. Alajaama kohtvõrgu kommutaatoritena kasutatakse Elering AS poolt heakskiidetud Ruggedcom RSG2100 [33] modulaarseid manageeritavaid kommutaatoreid ning kaugterminalina ABB RTU560 seeria tooteid [31].

## **5.2. Muudatused lahtri klemmkapis**

Lahtri klemmkappidele esitatud nõuded on kirjeldatud Elering AS tehnilistes nõuetes “602 Requirements for secondary components and connections” [45]. Nõuetes on sätestatud, et klemmkappide kaitseaste peab olema vähemalt IP54, mis tähendab kaitset tolmu ja veepritsmete eest [46]. Ülekuumenemise vältimiseks tuleb klemmkappides tagada klemmkapi loomulik ventilatsioon. Selleks tuleb paigaldada kaks ventilatsioonisüsteemi, mis vastavad IP54 kaitseastmele ning on varustatud ilmastikukindla tolmufiltriga. Ventilatsiooniaugud peavad olema paigaldatud selliselt, et üks on klemmkapi all paremal küljel ning teine üleval vasakul küljel või vastupidi. Klemmkapis peab olema kaks kütteelementi: üks 5-10W võimsusega niiskusevastane kütteelement, mis on pidevalt sisselülitatud, ning teine kütteelement, mida lülitatakse termostaadi abil vastavalt vajadusele sisse ja välja. Termostaadi abil lülitatava kütteelemendi suuruse arvutamine kuulub töö teostaja ülesannete hulka, kuid enamasti jääb kasutatava kütteelemendi võimsus 30-50W vahemikku [45].

***Tabel 5.3. Klemmkapis asuvate seadmete soojusvõimsus***

<b>Seade</b>	<b>Seadme soojusvõimsus</b>	<b>Seadmete arv</b>
RIO600	15 W	1
SAM600	15 W	5
Kütteelement 1	10 W [45]	1
Kütteelement 2	50 W [45]	1

Tabelisse 5.3 on koondatud klemmkapi sisetemperatuuri arvutamise aluseks võetud soojusvõimsused. Käesolevaks hetkeks ei ole teada RIO600 ega SAM600 soojuslik võimsus.

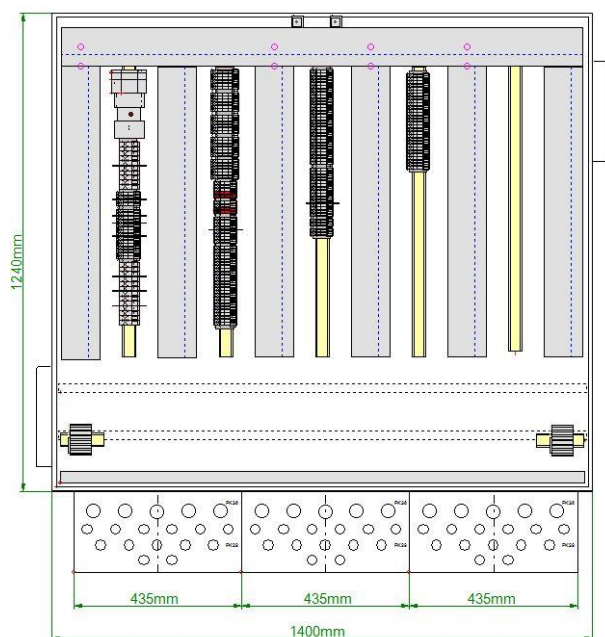
Sellest tulenevalt on antud seadmete soojuslikuks võimsuseks võetud pool ABB REF630 soojusvõimsusest, mille väärtuseks on 30 W [47]. Väliskeskkonna temperatuuriks on võetud vastavalt võrguoperaatori nõuetele  $-40^{\circ}\text{C} \dots +40^{\circ}\text{C}$  [45]. Arvutused on teostatud ABB DOC tarkvara abil ning tulemused koondatud tabelisse 5.4. Arvutuste raportid on lisatud käesoleva lõputöö lisadesse 1.1 kuni 1.4. Arvutustulemustest selgub, et suvel välistemperatuuri  $+40,0^{\circ}\text{C}$  juures on klemmkapi sisetemperatuur  $+47,8^{\circ}\text{C}$ . Kuna nii RIO600 kui ka SAM600 seadmed suudavad töötada kuni  $+70^{\circ}\text{C}$  temperatuuril, siis on klemmkapi tingimused sobivad seadmete töötamiseks. Talvisel perioodil alates  $-35,5^{\circ}\text{C}$  välistemperatuurist on vajalik täiendav kütteelement, et kindlustada klemmkapi sisetemperatuuriks vähemalt  $-25,0^{\circ}\text{C}$ . Välistemperatuuri  $-40,0^{\circ}\text{C}$  korral on klemmkapi sisetemperatuuriks hetkel kasutuselolevate lahenduste korral  $-29,5^{\circ}\text{C}$ , mis on väljaspool RIO600 töötemperatuuride vahemikku. Selleks, et kindlustada RIO600 koondamisüksuse häireteta töö  $-40,0^{\circ}\text{C}$  välistemperatuuri korral, peab täiendava kütteelemendi võimsus olema 100 W. Täiendav kütteelement tuleks varustada eraldiseisva termostaadiga. Koos täiendava kütteelemendiga on tagatud  $-40,0^{\circ}\text{C}$  välistemperatuuri korral klemmkapi sisetemperatuuriks  $-24,9^{\circ}\text{C}$ .

**Tabel 5.4. Klemmkapi sisetemperatuuri arvutustulemused**

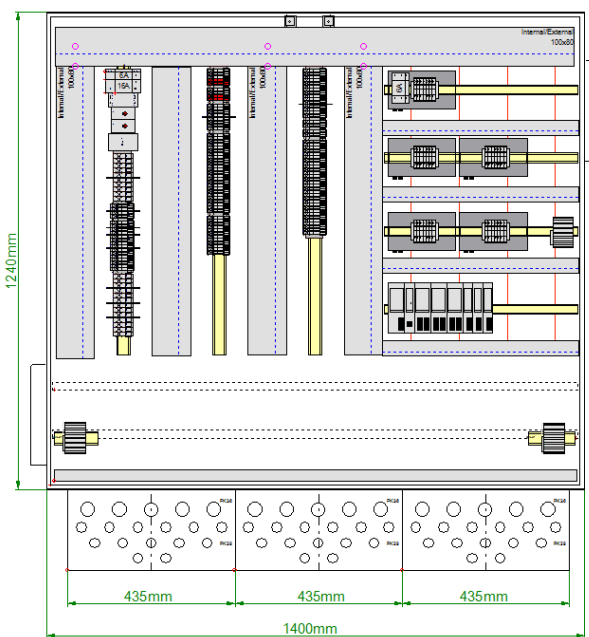
Stsenaarium	Välis-temperatuur	Seadmete summaarne soojusvõimsus	Klemmkapi sisetemperatuur	Lubatav temperatuuri vahemik
Suvi (kütteelement 1 on sisse lülitatud)	$+ 40,0^{\circ}\text{C}$	100 W	$+ 47,8^{\circ}\text{C}$	$-25^{\circ}\text{C} \dots +70^{\circ}\text{C}$
Talv (kütteelemendid 1 ja 2 on sisse lülitatud)	$- 35,5^{\circ}\text{C}$	150 W	$- 25,0^{\circ}\text{C}$	
Talv (kütteelemendid 1 ja 2 on sisse lülitatud)	$- 40,0^{\circ}\text{C}$	150 W	$- 29,5^{\circ}\text{C}$	
Talv 2 (kütteelemendid 1, 2 ja 3 on sisse lülitatud)	$- 40,0^{\circ}\text{C}$	250 W	$- 24,9^{\circ}\text{C}$	

Järgnevatel joonistel on kujutatud muudatusi lahtri klemmkapis tulenevalt koondamisüksuse kasutamisest. Hetkel kasutatava andmehõivesüsteemi puhul on üks võimalik lahtri klemmkapi lahendus esitatud joonisel 5.3 ning koondamisüksuse kasutamise korral joonisel 5.4. Joonistelt on näha, et klemmide arv klemmkapis on tunduvalt vähenenud, sest enam ei ole vaja iga identset signaali klemmidel paljundada, vaid signaali saab edastada sihtstarbeliselt IEC 61850-9-2LE sideprotokolliga kohaselt. Näiteks on võimalik kõigile sihtseadmetele edastada infot lahtri maanduslülitite asendi kohta, kasutades ainult ühte paari klemme ja maanduslülitite positsiooni abikontakte. Varasemalt oli iga seadme jaoks vaja kasutada eraldi klemme ja

abikontakte. Lisaks on joonistelt näha, et lahtri klemmkappi on paigutatud neli SAM600-CT, üks SAM600-VT, RIO600 ning kolmas kütteelement koos termostaadiga.



*Joonis 5.3. Lahtri klemmkapp hetkel kasutatava andmehõivesüsteemi korral*



*Joonis 5.4. Lahtri klemmkapp protsessisüni digitaliseerimisel põhineva andmehõivesüsteemi korral*

### 5.3. Muudatused sekundaarkaablite mahus

Tabelis 5.5 on esitatud alajaama ligikaudne sekundaarkaablite mahu arvutus. Tabelis on välja toodud sekundaarkaablid, mille abil ühendatakse primaarseadmed lahtri klemmkapiga. Siinkohal eeldatakse, et primaarseadmete kõik signaalid tuleb ühendada klemmkapi klemmidele, olenemata sellest, kas kõik signaalid on kasutuses või mitte. Tabelis 5.6 on esitatud sekundaarkaablid lahtri klemmkapist releepaneeli ja tabelis 5.7 liiniga seonduvad sekundaarkaablid lattide pingetrafo klemmkapist releepaneeli. Siinkohal tuleb rõhutada, et arvesse on võetud ainult andmehõivesüsteemiga seotud kaablid. Järgnevates tabelites esitatud ekvivalentne pikkus on saadud kaabli pikkuse ja kaablisoonte arvu korrutamise teel.

Esitatud tabelitest selgub, et ühe liini lõikes moodustavad primaarseadmete ja klemmkapi ühenduskaablid ligikaudu 21%, lahtri klemmkapi ja releepaneeli vahelised kaablid ligikaudu 65% ning liiniga seotud lattide pingetrafo ja releepaneeli vahelised kaablid 14% kogu liini sekundaarkaablitest. Toodud protsendid erinevad sõltuvalt vaadeldava lahtri kaugusest juhtimishoonest, kuid esitatud arvutused on teostatud keskmise liini lahtri kohta. See tähendab, et lähemal või kaugemal asuvate liinide erinevused kompenseerivad üksteist ning siinkohal esitatud tulemust on võimalik üldistada kogu alajaamale. Koondamisüksuse kasutamisel on

võimalik elimineerida kõik lahtri klemmkapi ja releepaneeli ning lattide pingetrafo klemmkapi ja releepaneeli vahelised sekundaarkaablid. See tähendab, et ühe liini sekundaarkaablite mahtu on võimalik vähendada ligikaudu 79% võrra.

*Tabel 5.5. Sekundaarkaablid liini primaarseadmetest lahtri klemmkappi*

Primaarseade	Ahela tüüp	Kaabli-soonte arv	Seadmete hulk	Kaabli-soonte arv kokku	Kaabli pikkus,m	Ekv pikkus,m
Voolutrafo	Voolud	12	3	36	10	360
Pingetrafo	Pinged	2	1	2	5	10
Võimsuslüüti	Juhtimine 1	19	1	19	10	190
	Juhtimine 2	12	1	12	10	120
Lahklüüti	Juhtimine	19	1	19	10	190
Maanduslüüti	Juhtimine	19	1	19	10	190
Liini pingetrafo ja lahtri klemmkapi ühendus	Pinged	4	1	4	20	80
	Signaalid	10	1	10	20	200
<b>KOKKU</b>						<b>1 340</b>

*Tabel 5.6. Sekundaarkaablid liini lahtri klemmkapist releepaneeli*

Primaarseade	Ahela tüüp	Kaabli-soonte arv	Seadmete hulk	Kaabli-soonte arv kokku	Kaabli pikkus,m	Ekv pikkus,m
Voolutrafo	Voolud	4	5	20	65	1300
Pingetrafo	Pinged	2	1	2	65	130
Võimsuslüüti	Juhtimine 1	12	1	12	65	780
	Juhtimine 2	12	1	12	65	780
Lahklüüti	Juhtimine	7	1	7	65	455
Maanduslüüti	Juhtimine	12	1	12	65	780
<b>KOKKU</b>						<b>4 225</b>

*Tabel 5.7. Liiniga seonduvad sekundaarkaablid lattide pingetrafo klemmkapist releepaneeli*

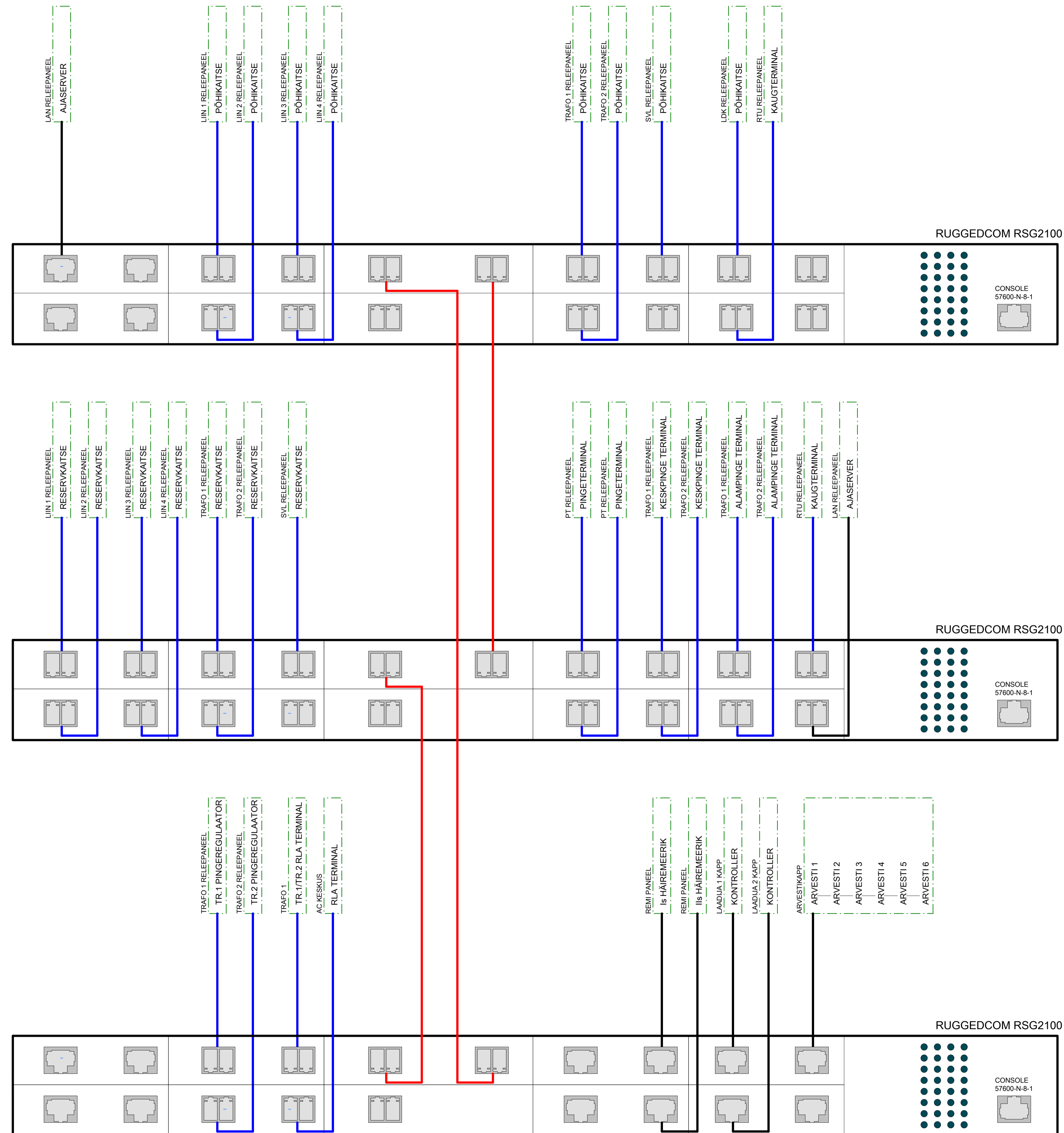
Primaarseade	Ahela tüüp	Kaabli-soonte arv	Seadmete hulk	Kaabli-soonte arv kokku	Kaabli pikkus,m	Ekv pikkus,m
Pingetrafo (Põhikaitse)	Pinged	7	1	7	65	455
Pingetrafo (Reservkaitse)	Pinged	7	1	7	65	455
<b>KOKKU</b>						<b>910</b>



## 5.4. Alajaama kohtvõrgu struktuur

Joonisel 5.5 on esitatud andmehõivesüsteemi alajaamasiini kohtvõrgu struktuur koondamisüksuse kasutamise korral. Antud jooniselt on näha, et alajaamasiinis kasutatakse kolme erinevat kommutaatorit, mis on omavahel ühendatud 1 Gbit/s ringvõrguga. Kuna alajaamasiinis ei edastata diskreetsignaale, siis ei oma tõrkesiirde aeg võrgu häiringukindluse seisukohast suurt tähtsust. Sellest tulenevalt kasutatakse alajaamasiinis RSTP liiasusprotokolli. Seadmed on jagatud kolme erineva kommutaatori vahel tulenevalt seadme otstarbest. Esimese kommutaatoriga on liidetud kõik põhikaitseid, teisega kõik reservkaitseid ning kolmandaga keskpinge-, automaatika- ja muud seadmed. Võimalusel on kasutatud valguskaableid. Kui vastaval seadmel puudub fiiberoptiline väljundport, siis on kasutatud RJ45 pistikuga vaskkaableid. Kommutaatoritena kasutatakse võrguoperaatori poolt heakskiidetud toodet RuggedCom RSG2100 [31]. Alajaamasiini ajaliseks sünkroniseerimiseks kasutatakse välise antenni ja GPS referentskellaga Meinberg Lantime M400 NTP ajasüsteemi [48].

Joonisel 5.6 on esitatud koondamisüksusel põhineva andmehõivesüsteemi protsessisiini sidevõrgu struktuur. Lõputöö kirjutamise hetkel ei ole võimalik kasutada digitaalset protsessisiini võrguoperaatori poolt spetsifitseeritud elektrienergia arvestite (*Landis-Gyr*) ja väliste häiremeerikute (En-El REMI) korral [31]. Seoses IEC 61850-9-2LE toega seadmete valiku pideva laienemisega eeldatakse digitaalse protsessisiini toetamist tulevikus ka elektrienergia arvestite poolt. Sellest tulenevalt on esitatud võrgustruktuuris kasutatud koondamisüksust voolutrafo kõigi nelja mähise jaoks. Tulenevalt diskreetsignaalide edastamisest protsessisiinis tuleb erilist tähelepanu pöörata sidevõrgu häiringukindlusele. Sellest tulenevalt on kasutatud tõrkesiirdeta HSR ja PRP segavõrku, mille põhimõte on kujutatud joonisel 2.9. HSR ja PRP võrkude omavaheliseks ühendamiseks kasutatakse SCALANCE X204RNA EEC võrguseadet, mis on spetsiaalselt ettenähtud töötamiseks tugeva elektromagnetvälja tingimustes [49]. Lõputöö kirjutamise ajal on REx670 ja REx650 tootegrupi kohtterminalidel ainult üks optiline väljundport, mis toetab IEC 61850-9-2LE kohast andmevahetust. Seetõttu tuleb kohtterminalide protsessisiiniga liitmiseks kasutada *RedBox*-i. *RedBox*-ina kasutatakse võrguettevõtte Elering AS poolt heakskiidetud tootja RuggedCom-i seadet RS950G. Kommutaatoritena kasutatakse samu seadmeid, mida alajaamasiini korralgi (RuggedCom RSG2100). Kõik protsessisiini sideühendused on teostatud valguskaablitega. Lisaks on protsessisiini sünkroniseerimiseks kasutatud SAM600-TS seadet, mis edastab PPS ajasignaale fiiberoptilise kaabli kaudu. Häiringukindluse tõstmiseks on protsessisiinis kasutatud kahte SAM600-TS seadet.



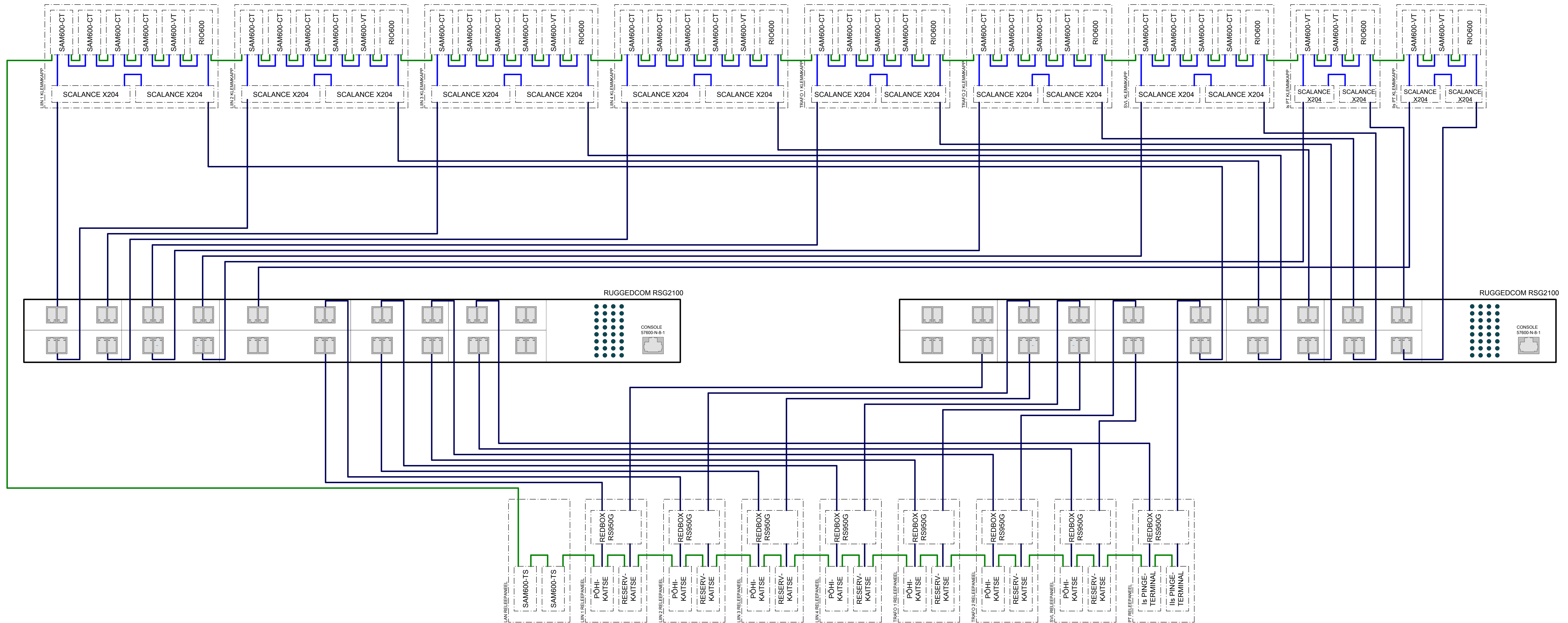
LEGEND

- 1 Gbps, TCP/IP, RSTP, valguskaabel
- 10/100 Mbps, IEC 61850, valguskaabel
- 10/100 Mbps, TCP/IP, vaskaabel

LÕPUTÖÖ			TTÜ
27.05.15	MEELIS MELDER	AAVM	A3
ALAJAAMA KOHTVÕRGU STRUKTUUR KOONDAMISÜKSUSEL PÕHINEVA ANDMEHÕIVESÜSTEEMI KORRAL			JOONIS 5.5

LEGEND

- 10/100 Mbps, IEC 61850-9-2LE, HSR valguskaabel
- 10/100 Mbps, IEC 61850-9-2LE, PRP valguskaabel
- PPS, valguskaabel



## 5.5. Eelised ja puudused

Protsessiini digitaliseerimisega on võimalik märkimisväärselt vähendada alajaama sekundaarahelate mahtu ja projekteerimisele kuluvat aega, kuna vajadus omada iga signaali jaoks eraldiseisvat kaablit on asendatud üheainsa fiiberoptilise sidekanaliga. See teeb lihtsamaks nii informatsiooni jagamise kui hilisemate täienduste või laienduste lisamise. Digitaalne informatsioon protsessiinis edastatakse kas konkreetsele sihtseadmele või *multicast* sõnumitena. Viimase korral paisatakse informatsioon alajaama kohtvõrku, kust selle saab kätte iga seade, mis antud infot vajab. See tähendab, et kui alajaama ehituse hilisemas etapis või alajaama laiendusena tekib tulevikus vajadus informatsiooni edastamiseks mõnele uuele seadmele, siis ei ole vaja lisada klemme, ühenduskaableid ega kaitseseadmeid, vaid piisab uute seadmete õigest seadistamisest. Lisaks ei pea digitaalse protsessiini korral kohtterminali voolu-, ping- ja binaarsisendid olema galvaaniliselt eraldatud, mis võimaldab vähendada kohtterminali maksumust. Ahelate galvaaniline eraldamine on teostatud koondamisüksuses.

Samas võimaldab koondamisüksuse kasutamine vähendada nõudmisi voolu- ja pingetrafo koormustele, kuna mõõtetrafode sekundaarahelad on märkimisväärselt lühemad. Tabelis 5.8 on esitatud voolutrafo peamised parameetrid ning nende põhjal arvutatud küllastusvoolud distantskaitse REL670 häireteta töötamise tagamiseks. Antud arvutused on teostatud lõputöö autori poolt, kuid sisaldavad ABB-sisest konfidentsiaalset informatsiooni, millest tulenevalt ei ole arvutusi siinkohal välja toodud. Maksimaalseks vahekauguseks voolutrafo ja kohtterminali vahel eeldatakse ilma koondamisüksuse kasutamisetä 150 meetrit. Koondamisüksuse kasutamise korral on voolutrafo ja klemmkapi vahekauguseks 10 meetrit. Sekundaarahelates on kasutatud 6 mm<sup>2</sup> ristlõikega vaskaablit. Arvutustulemustest selgub, et 400/1A ülekandesuhte kasutamisel on võimalik tagada distantskaitse häireteta töö ilma koondamisüksuseta kuni 12,6 kA lühiste korral ning koondamisüksuse kasutamisel kuni 16,7 kA lühiste korral. 800/1A ülekandesuhte korral on vastavad lühisvoolud 29,2 kA ja 34,0 kA. Pikemate vahekauguste korral on efekt suurem.

See tähendab, et ilma koondamisüksuse kasutamisetä tekib vajadus väikeste koormustega liinide korral kasutada suuremat ülekandesuhet, et tagada distantskaitse häireteta töö. Suurema ülekandesuhte kasutamine väikeste koormuste korral aga suurendab mõõtetulemuste ebatäpsust ja sellest tulenevalt vähendab releekaitse tundlikkust. Koondamisüksuse kasutamisel on võimalik väikeste koormustega liinide korral kasutada väiksemat ülekandesuhet tunduvalt suuremate võrgus esinevate lühisvoolude väärtuste korral.

Üheks meetodiks, mis võimaldab tõsta maksimaalset lühisvoolu, mille korral distantskaitse töötab häiringuteta, on vähendada voolutrafo sekundaarmähise takistust. See aga tähendab, et voolutrafo koostamisel tuleb suurendada sekundaarmähiste ristlõiget ning kasutada kvaliteetsemat ehk väiksema eritakistusega vaske. See aga tähendab voolutrafo maksumuse märkimisväärset suurenemist.

**Tabel 5.8. Distsantskaitse nõuded voolutrafole näidistingimustel**

Parameeter	Ilma koondamisüksuse kasutamiseta		Koondamisüksuse kasutamise korral	
Vahemaa voolutrafo ja releepaneeli vahel	150 m		10 m	
Sekundaarkaabli ristlõige ja tüüp	6 mm <sup>2</sup> , vask		6 mm <sup>2</sup> , vask	
Tüüp	5P20		5P20	
Ülekandesuhe	400/1	800/1	400/1	800/1
Sekundaarahelate koormus	10 VA	20 VA	10 VA	20 VA
Voolutrafo sekundaarmähise takistus	3 Ω	6 Ω	3 Ω	6 Ω
Maksimaalne lühisvool, mille korral distantskaitse töötab häireteta	12,6 kA	29,2 kA	16,7 kA	34,0 kA

Lisaks on protsessiini digitaliseerimise üheks suureks eeliseks süsteemi integreerimise ja töösse võtmise aja märkimisväärne kokkuhoid. Elektroonilistel seadmetel põhinevat andmehõivesüsteemi on võimalik seadistada ning täies ulatuses testida juba tehases. See tähendab, et alajaamas kohapeal tuleb tagada vajalike sidekanalite olemasolu ning veenduda infovahetuse toimimises. Sellist ulatuslikku ja aeganõudvat testimist, nagu elektriliste signaalide edastamise korral, enam vaja ei ole. Väiksem kasutuselevõtu aeg objektil väljendub lisaks aja säästmisele ka kulude kokkuhoiuse seadistusmeeskonna majutus- ja lähetuskuludelt. Hinnang võimalikule aja kokkuhoiule on esitatud käesoleva lõputöö punktis 7.1.

Protsessiini digitaliseerimisel toimub andmehõivesüsteemi toimimise pidev jälgimine. See tähendab, et iga elektroonilise seadme ning sideühenduse korrasolekut jälgitakse pidevalt, mis võimaldab rikke esinemise korral selle kiiret avastamist ja lokaliseerimist. Selle tulemusena on võimalik hoida kokku hoolduskuludelt, sest puudub vajadus perioodiliste kontroll- või hooldustööde järele. Seejuures on võimalik saada informatsiooni rikke asukoha ja iseloomu kohta dispetšiteenistusest või kaughalduse teel ilma kohapeale minemata. See aga tähendab, et riket kõrvaldama minnes on võimalik töid paremini ette planeerida ning võtta kaasa kõik vajalikud tööriistad ja eritehnika. Häiringukindluse tõstmise tehnoloogiate õige rakendamise tulemusena on võimalik rikke korral esinev kahju viia miinimumini. See tähendab, et kui alajaama andmehõivesüsteemis esineb rike, siis on tänu pidevale monitoorimisele võimalik rike kiiresti avastada ja lokaliseerida ning tänu häiringukindluse tehnoloogiatele suudab süsteem samal ajal edukalt jätkata oma ülesannete täitmist.

Voolu ja pinge väärtuste edastamine digitaalse protsessiini abil fiiberoptiliste kaablite kaudu suurendab elektriohutust alajaamas tehtavate tööde korral, sest hooldemeeskond ei pea enam töötama elektriliste signaalidega. Näiteks võivad valed töövõtted voolutrafo ahelatega töötamise korral viia eluohtlike kõrgepingete tekkimiseni. Lisaks võivad elektriliste signaalide puhul valed töövõtted kahjustada primaarseadmeid.

Testimise, veaotsingu ja hooldustööde korral asendub multimeeter arvutitarkvaraga, mille abil on võimalik jälgida voolude ja pingete ostsillograafe, vektordiagramme, informatsiooni kvaliteeti ning IED-de, ajasünkronisatsiooni ja sideühenduste korrasolekut. Antud muutus eeldab hooldemeeskonna ümberõpet, kuid suurendab tehtavate tööde korral ohutust nii inimestele kui primaarseadmetele.

Protsessiini digitaliseerimine seab karmid nõuded alajaama kohtvõrgule. Esiteks tuleb tagada kohtvõrgu häiringukindlus väga kõrgel tasemel, sest voolu ja pinge väärtused, millele tuginedes töötab releekaitse ning võimsuslüliti väljalülituskäsud lühise lahutamiseks, edastatakse üle kohtvõrgu. See tähendab, et alajaama kohtvõrgu seiskumisel muutub alajaam mitte ainult juhitamatuks vaid ka kaitsetuks. See omakorda tähendab, et protsessiini digitaliseerimise korral tuleb töö- ja häiringukindlust silmas pidada nii protsessiini kohtvõrgu struktuuri loomisel, võrguseadmete seadistamisel kui ka seadmete abitoite projekteerimisel. Seejuures tuleb rõhutada, et olemasolevate tehnoloogiate ja liiasusprotokollide oskusliku kasutamisega on võimalik kindlustada protsessiini kohtvõrgu piisavalt kõrge töö- ja häiringukindlus.

Tabelis 5.9 on esitatud analoogväärtuste mõõtesagedused erinevate funktsioonide korral. Toodud tabelist on näha, et releekaitse ja automaatika jaoks teostatakse analoogväärtuste diskreetimist 80 korda 50 Hz tsüklis. See tähendab, et kohtterminalidele edastatakse voolu ja pinge väärtusi 4000 korda sekundis. Energiakvaliteedi mõõteseadmete olemasolul toimub voolu ja pinge väärtuste edastamine lausa 12 800 korda sekundis. ABB vastava tootegrupi juhi Stefan Meier'i sõnul tekitab üks koondamisüksus infovoo 5 Mbit/s. See tähendab, et alajaama kohtvõrgu läbilaskevõime peab olema piisavalt suur, et tulla toime kõigi koondamisüksuste infokoormusega. Siinjuures tuleb rõhutada, et analoogväärtuste edastamisest tulenev koormus on pidev ning kohtvõrk peab suutma edukalt töötada ka elektrisüsteemi rikete korral, mil informatsioonivahetus intensiivistub märkimisväärselt. Sellest tulenevalt on sätestatud soovituslik piirang, mille kohaselt võib 100 Mbit/s läbilaskevõimega kohtvõrkudes kasutada kuni 10 koondamisüksust. Kui andmehõivesüsteemiga on vaja liita rohkem koondamisüksuseid kui lubatud, siis tuleb suurendada võrgu läbilaskevõimet, mis kujutab endast täiendavaid investeeringuid.

**Tabel 5.9. Diskreetsignaaside edastussagedus**

<b>Funktsioon</b>	<b>Edastussagedus, kordi 50 Hz tsükli jooksul</b>	<b>Edastussagedus, kordi sekundis</b>
Releekaitse ja automaatika	80	4 000
Kommerts- ja energia kvaliteedi mõõtmine	256	12 800

Üks võimalus protsessiini töö- ja häiringukindluse tagamiseks on kasutada eraldiseisvat kohtvõrku protsessiini ja alajaamasiini jaoks. See tähendab, et protsessiinis edastatav informatsioon, mille põhjal teeb releekaitse otsuseid ja edastab need primaarseadmetele ning alajaamasiinis edastatav infovoog, on lahutatud. Sellisel viisil ei mõjuta elektrisüsteemi rikke tagajärjel alajaamasiinis tekkiv andmeedastuse intensiivistumine protsessiini tööd. Lisaks on sellisel juhul võimalik kasutada protsessiinis tõrkesiirdeta liiasusprotokolle HSR või PRP, mille rakendamine on suhteliselt kallis, kuid protsessiinis vältimatu. Alajaamasiinis on aga võimalik kasutada RSTP liiasusprotokolli, mille implementeerimise maksumus on väiksem. Erinevalt protsessiiniist ei kujuta alajaamasiinis edastatava informatsiooni kadu tõrkesiirde korral erilist ohtu, sest tõrkesiirde ajal edastamata jäänud teated edastatakse side taastumisel.

## 6. Protsessisiini minimeerimise tehniline teostus

Käesolevas peatükis tuuakse välja protsessisiini minimeerimisel põhineva andmehõivesüsteemi teostuse võimalused ja tehnilised lahendused. Seadmete valikul tuginetakse sarnaselt eelmisele peatükile ABB tootekataloogidele ning Elering AS poolt aksepteeritud toodete loetelule.

### 6.1. Kasutatavad seadmed

Erinevalt eelmises peatükis käsitletud andmehõivesüsteemile ei ole antud juhul vaja kasutada eraldiseisvat koondamisüksust. Selle asemel kasutatakse tavalisi kohtterminale, mis on Eesti põhivõrguettevõtte poolt juba lisatud aksepteeritavate seadmete loetelusse. Järgnevalt antakse ülevaade kohtterminalide klemmkappi paigutamises tulenevatest muudatustest andmehõivesüsteemi seadmetes.

#### Kohtterminalid

Põhivõrgu alajaamades on võrguettevõtte tehniliste nõuete kohaselt lubatud kasutada ABB Relion tooteperekonna REx670 ja REx650 seeria kohtterminale [31]. Nii REx670 kui ka REx650 seeria kohtterminalid on edukalt läbinud nii külmades kui ka kuumades tingimustes töötamise tüüptestid. Lisaks on tooted edukalt läbinud suure temperatuuri muutumise ning niiskuse testid. Alljärgnevasse tabelisse on koondatud ABB Relion REx670 ja REx650 tooteseeriade edukalt läbitud töökeskkonna tüüptestid ja nende peamised tingimused.

**Tabel 6.1. ABB Relion REx670 ja REx650 tooteseeria töökeskkonna tüüptestid [44]**

Test	Testi parameetrid	Standard
Töötamine külmades tingimustes	16h temperatuuril -25°C	IEC 60068-2-1 (Test Ad)
Ladustamine külmades tingimustes	16h temperatuuril -40°C	IEC 60068-2-1 (Test Ad)
Töötamine kuivades ja kuumades tingimustes	16h temperatuuril +70°C	IEC 60068-2-2 (Test Bd)
Ladustamine kuivades ja kuumades tingimustes	16h temperatuuril +85°C	IEC 60068-2-2 (Test Bd)
Töötamine temperatuuri kiire muutumise tingimustes	5 tsükli -25°C kuni +85°C	IEC 60068-2-14 (Test Nb)
Töötamine püsivates niisketes ja kuumades tingimustes	10 päeva temperatuuril +40°C ja suhtelise niiskuse +93% juures	IEC 60068-2-78 (Test Ca)
Töötamine muutuvates niisketes ja kuumades tingimustes	6 tsükli alates +25°C kuni +55°C ning õhuniiskusest +93% kuni +95%. Ühe tsükli kestus 24h.	IEC 60068-2-30 (Test Db)



Kaitseaste on antud kohtterminalidel eestsuunast IP40. Kõigil muudelt külgedelt on kaitseaste IP20. REx670 ja REx650 seeria kohtterminalide pidevaks tööks nõutav temperatuur on vahemikus  $-10^{\circ}\text{C}$  ...  $+55^{\circ}\text{C}$  ning lubatav õhuniiskus 0...95%. [44]

### **Alajaamakihi seadmed**

Sarnaselt protsessiini digitaliseerimisele jäävad ka siinkohal alajaamakihi seadmed suures osas samaks võrreldes hetkel kasutatava andmehõivesüsteemiga. Alajaama kohtvõrgu kommutaatoritena kasutatakse Elering AS poolt heakskiidetud Ruggedcom RSG2100 modulaarseid manageeritavaid kommutaatoreid ning kaugterminalina ABB RTU560 seeria tooteid [33].

Seoses kohtterminalide klemmkappi paigutamisega tuleb alajaama juhtimishoonesse luua töökoht koos juhtimisarvutiga. Hetkel kasutatava andmehõivesüsteemi korral ei ole võrguettevõtte väiksemate alajaamade puhul nõudnud juhtimisarvuti kasutamist, vaid see nõue on olnud ainult suuremates sõlmalajaamades. Selleks, et käidumeeskonnal oleks võimalik kiiresti ja operatiivselt saada ülevaadet alajaama seisundist (elektrilised parameetrid, võrgu konfiguratsioon, aktiivsed alarmid, sündmuste arhiiv) peab kogu alajaama informatsioon olema koondatud ühte füüsilisse punkti. Parim lahendus selleks on kasutada juhtimisarvutit. Nõuded alajaama juhtimisarvutile on kirjeldatud “501 Requirements for control and monitoring” dokumendis [32].

Antud dokument sätestab, et kasutatav juhtimisarvuti peab olema tööstuslikku laadi, mis tähendab, et seadmel ei tohi olla ühtegi liikuvat osa (kõvaketas, ventilaatorid). Seadme püsिमälu peab olema dubleeritud RAID (*Redundant Array of Independent Disks*) süsteemi abil. Lisaks peab juhtimisarvutil olema vähemalt kaks USB porti ja CD-kirjutaja. Kasutatava monitori diagonaal peab olema vähemalt 19". Arvuti peab olema seadistatud selliselt, et peale toitekatkestust pinge taastumisel taaskäivitub arvuti automaatselt. Arvuti toide tuleb tagada alajaama akudest, mis nõuab muundurite kasutamist. Lisaks tuleb tagada tagavaratoide alajaama vahelduvvoolukeskusest juhul, kui põhitoite muunduris esineb rike. [32]

Kohaliku juhtimisarvuti funktsionaalsuse ja kõigi tehniliste nõuete täitmiseks on võimalik kasutada kolme meetodit:

1. ABB MicroSCADA Pro SYS600

ABB automaatikasüsteemide toode MicroSCADA Pro on Microsoft Windows baasil loodud kasutajaliides alajaamade ja automaatikaprojektide juhtimissüsteemide jaoks. MicroSCADA

Pro SYS600 on äärmiselt võimekas süsteem, ühendades endas kohtvõrgu lüüsi, protokollikonverteri, kaugterminali ja juhtimisarvuti omadused. [48]

Antud süsteem on mõeldud elektrisüsteemi suurte sõlmalaamade või teatud elektrivõrgu osade monitoorimiseks ja juhtimiseks. Sellest tulenevalt on see toode üldjuhul liiga kallis väiksemates alajaamades kasutamiseks. Näiteks on MicroSCADA baasil üles ehitatud kogu Elektrilevi poolt hallatava elektrivõrgu dispetšisüsteem.

## 2. ABB RTU500 HMI

Kasutades alajaama kaugterminalina ABB RTU500 seeria tooteid on võimalik juhtimis- ja jälgimisfunktsioonide jaoks kasutada sidemoodulisse sisseehitatud kasutajaliidese platvormi. RTU500 tooteseeria HMI (*Human Machine Interface*) server loob ligipääsu kaugterminali mälusse salvestatud sündmuste arhiivile ja alarmide loetelule. Lisaks võimaldab see kuvada reaajas informatsiooni alajaama seisundi kohta. HMI vahendusel on võimalik jälgida võrgu konfiguratsiooni ja kõigi alajaama signaalide (nii binaar- kui ka mõõtesignaalid) väärtusi ning täita juhtimiskorraldusi. Tänu lihtsasti kohandatavale visuaalsele kasutajaliidesele on võimalik luua konkreetsele alajaamale vastav lahendus. [51]

HMI kasutajaliidese kuvamiseks tuleb kasutada eraldiseisvat tööstuslikku arvutit, mis vastaks eelnevalt esitatud nõuetele. Kasutada võib eraldi arvutit ja monitori või kombineeritud seadet. Sobivaks tooteks on näiteks Moxa MPC-2190 arvuti 19" ekraaniga [52]. Juhtimisarvutiga on võimalik kasutada standardset hiirt ja klaviatuuri. Antud süsteemi kasutamisel kujutab juhtimisarvuti ligipääsu RTU500 sidemoodulis olevale HMI serverile. Operatiivne informatsioon alajaama seisundi kohta paikneb kaugterminalis dubleeritud sidemoodulites ning kuvatakse HMI kasutajaliidese kaudu juhtimisarvuti ekraanile. Juhtimisarvuti vahendusel on võimalik salvestada sündmuste loetelusid ja arhiivikirjeid, teostada juhtimiskäsklusi ning jälgida mõõtesuuruste trendigraafikuid.

## 3. ABB RTU560 tooteseeria moodul 560HMR01

Kui alajaama kaugterminalina kasutatakse ABB RTU560 tootegrupi modulaarset seadet, siis on võimalik juhtimisarvutina kasutada 560HMR01 moodulit. See tähendab, et kasutajaliidese kasutatakse eelmises punktis kirjeldatud RTU500 tooteseeria HMI liidest, kuid eraldiseisva arvuti asemel kasutatakse RTU560 tootegrupi moodulit. Antud moodul kujutab endast Microsoft Windows 7 Professional operatsioonisüsteemiga tööstuslikku arvutit, mis tagab usaldusväärse ligipääsu RTU500 HMI serverile. 560HMR01 moodulil on kaks RJ45

võrgupesa, SSD püsikälu, neli USB porti hiire, klaviatuuri ja väliste mäluseadmete jaoks, üks VGA väljund monitori jaoks ning üks heliväljund. [53]

Sellise süsteemi kasutamine loob mitmeid eeliseid [53]:

- 560HMR01 toide on tagatud kaugterminali dubleeritud toiteplokkide kaudu alajaama akudest, tõstes seeläbi juhtimisarvuti häiringukindlust;
- 560HMR01 korrasolekut ja toimimist monitoorib RTU560 protsessor kaugterminali sisesiini kaudu ning genereerib rikke esinemise korral alarmsignaali;
- arvuti abiliidestena on võimalik kasutada standardset monitori, hiirt, klaviatuuri ja kõlareid;
- kogu informatsioon alajaama sündmuste kohta säilitatakse RTU560 dubleeritud protsessori püsikälus.

Toodud kolmest lahendusest on töö- ja häiringukindluse seisukohast optimaalseim 560HMR01 mooduli kasutamine koos standardsete abiliidestega.

## 6.2. Muudatused lahtri klemmkapis

Lahtri klemmkappidele esitatavaid nõudeid vaadati lähemalt käesoleva töö punktis 5.2 ning seetõttu ei tooda neid siinkohal uuesti esile. Järgnevasse tabelisse on koondatud protsessiini minimeerimise korral lahtri klemmkapi sisetemperatuuri arvutamise aluseks võetud soojusvõimsused. Tulenevalt häiringukindluse põhimõtetest kasutatakse iga lahtri ja sellega seotud objekti kaitsmiseks kahte eraldiseisvat kohtterminali. Nii järgnevas arvutuses kui ka edaspidi kasutatakse üldistatud kujul kohtterminalidena REx670 seeria tooteid. Klemmkapi sisetemperatuuri arvutustes on väliskeskonna temperatuuriks võetud  $-40^{\circ}\text{C} \dots +40^{\circ}\text{C}$  [45].

*Tabel 6.2. Klemmkapis asuvate seadmete soojusvõimsus*

Seade	Seadme soojusvõimsus	Seadmete arv
REx670	50 W [44]	2
Kütteelement 1	10 W [45]	1
Kütteelement 2	50 W [45]	1

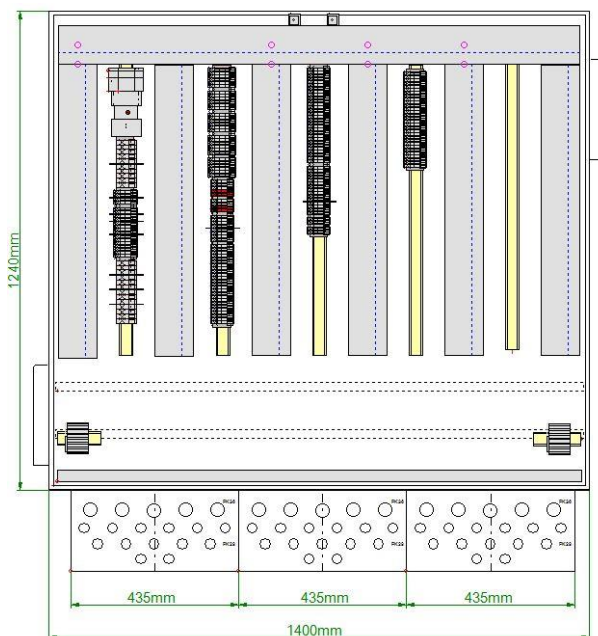
Arvutused on teostatud ABB DOC tarkvara abil ning tulemused on koondatud tabelisse 6.3. Arvutuste raportid on lisatud käesoleva lõputöö lisasse 2.1 kuni 2.4. Arvutustulemustest selgub, et suvel välistemperatuuri  $+40,0^{\circ}\text{C}$  juures on klemmkapi sisetemperatuur  $+48,4^{\circ}\text{C}$ , mis vastab REx670 ja REx650 maksimaalsele lubatavale temperatuurile. Talvisel perioodil on alates

-20,9°C välistemperatuurist vajalik täiendav kütteelement, et kindlustada klemmkapi sisetemperatuuriks vähemal -10°C. Selleks, et tagada nõutav klemmkapi sisetemperatuur -40°C välistemperatuuri korral, peab täiendav kütteelement olema 495W võimsusega. Täiendav kütteelement tuleks varustada eraldiseisva termostaadiga.

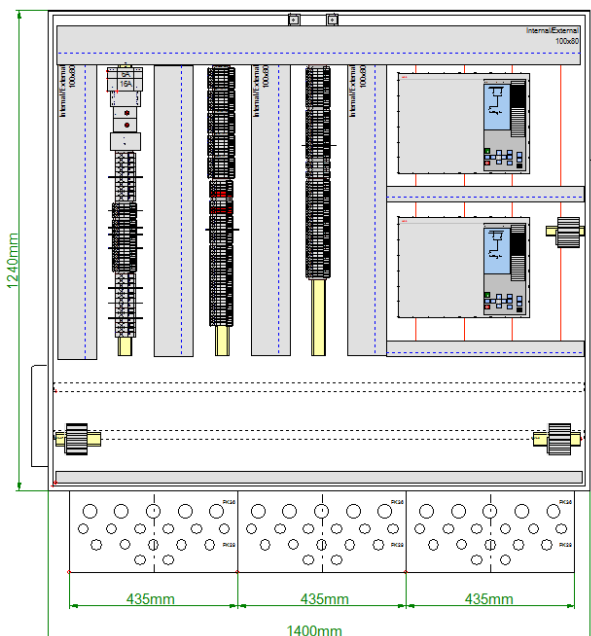
**Tabel 6.3. Klemmkapi sisetemperatuuri arvutustulemused**

Stsenaarium	Välis-temperatuur	Seadmete summaarne soojusvõimsus	Klemmkapi sise-temperatuur	Lubatav temperatuuri vahemik
Suvi (kütteelement 1 on sisse lülitatud)	+ 40,0°C	110 W	+ 48,4 °C	-10°C...+55°C
Talv (kütteelemendid 1 ja 2 on sisse lülitatud)	- 20,9°C	160 W	- 10,0°C	
Talv (kütteelemendid 1 ja 2 on sisse lülitatud)	- 40,0°C	160 W	- 29,1°C	
Talv 2 (kütteelemendid 1, 2 ja 3 on sisse lülitatud)	- 40,0°C	655 W	- 10,0 °C	

Järgnevatel joonistel on kujutatud muudatusi lahtri klemmkapis tulenevalt kohtterminali klemmkappi paigutamisest. Joonisel 6.1 on kujutatud lahtri klemmkappi hetkel kasutatava andmehõivesüsteemi puhul ning joonisel 6.2 on esitatud üks võimalik lahendus kohtterminali klemmkappi paigutamiseks.



**Joonis 6.1. Lahtri klemmkapp hetkel kasutatava andmehõivesüsteemi korral**



**Joonis 6.2. Lahtri klemmkapp protsessiini minimeerimisel põhineva andmehõivesüsteemi korral**

Antud andmehõivesüsteemi puhul koondatakse lahtripõhised signaalid kohtterminali ning edastatakse IEC 61850 sideprotokolli vahendusel alajaama kaugterminalile ja GOOSE-sõnumitega teistele kohtterminalidele. Sellest tulenevalt on võimalik vähendada klemmide arvu klemmkapis. Lisaks näeb jooniselt 6.2 klemmkappi lisatud kahte kohtterminali ning kolmandat kütteelementi koos eraldiseisva termostaadiga.

### **6.3. Muudatused sekundaarkaablite mahus**

Eelnevas peatükis esitatud tabelites 5.5-5.7 on toodud alajaama sekundaarkaablite mahu ligikaudne hinnang hetkel kasutatava andmehõivesüsteemi korral. Esitatud tabelistest selgub, et ühe liini lõikes moodustavad primaarseadmete ja klemmkapi ühenduskaablid ligikaudu 21%, lahtri klemmkapi ja releepaneeli vahelised kaablid igikaudu 65% ning liiniga seotud lattide pingetrafo ja releepaneeli vahelised kaablid 14% kogu liini sekundaarkaablitest. Toodud protsendid erinevad sõltuvalt vaadeldava lahtri kaugusest juhtimishoonest, kuid esitatud arvutused on teostatud keskmise liini lahtri kohta. See tähendab, et lähemal või kaugemal asuvate liinide erinevused kompenseerivad üksteist ning siinkohal esitatud tulemust on võimalik üldistada kogu alajaamale.

Kohtterminali lahtri klemmkappi paigutamisel on võimalik elimineerida peaaegu kõik klemmkapi ja releepaneeli vahelised sekundaarkaablid. Käesoleva lõputöö kirjutamise hetkel ei ole võimalik kasutada kohtterminalile mõõtesignaali digitaliseerimiseks. See tähendab, et voolu- ja pingetrafoide mõõtesignaali edastamiseks lahtrivälisele seadmele (arvesti, latikaitse ja võimsuslüliti tõrkekaitse) tuleb kasutada vaskkaableid. Samuti tuleb vaskkaableid kasutada lattide pingetrafoide mõõtesignaali edastamiseks lattide pingetrafoide klemmkapist vastava lahtri kohtterminalile. See tähendab, et kohtterminali lahtri klemmkappi paigutamise tulemusel on võimalik elimineerida ligikaudu 3 705 ekvivalentset meetrit ehk ligikaudu 57% sekundaarkaablitest ühe lahtri kohta.

### **6.4. Muudatused alajaama juhtimishoones**

Alajaama juhtimishoonele esitatavad nõuded on kirjeldatud Elering AS tehnilises dokumendis "220 Hooned". Juhtimishoone suurus sõltub konkreetsest alajaamast, mistõttu on hoone täpsemad mõõdud esitatud mitte tehnilistes nõuetes, vaid hanke mahus. Juhtimishoone on üldjuhul kaks korrust: põhikorrus ja kaablikorrus. Põhikorruse ruumide minimaalseks kõrguseks peab olema 2800 mm ning see peab olema piisavalt suur, et mahutada kõiki releepaneele ning telekommunikatsiooni ja võimalikke alajaama automaatikasüsteemide kappe.

Lisaks peab hoonesse mahtuma töölaud, tualett, inventari hoiustamise koht ja muud vajalikud ruumid. Kaablikorruse minimaalseks kõrguseks on 2200 mm ning see peab mahutama kaabliredeleid kõigi vajalike ja perspektiivsete seadmete ühenduskaablite jaoks. Lisaks peab alajaama juhtimishoones olema akuruum ja omatarbetafode ruum. [54]

Juhtimishoone käsitlemisel pööratakse käesolevas lõputöös tähelepanu siseruumide paigutusele ning sellest tulenevalt hoone üldgabariitidele. Täpsete ehituslike nõuete ja tehniliste lahenduste uurimine ei kuulu käesoleva lõputöö mahtu. Juhtimishoone sisepaigutuse aluseks on võetud järgnevalt esitatud nõuded:

1. juhtimishoones tuleb kaablid paigaldada kaablikorrusele [54];
2. juhtimishoones tuleb ette näha piisavalt ruumi alajaama perspektiivseks laiendamiseks [54];
3. juhtimishoones tuleb ette näha piisav ruum alajaamas kasutatava inventari jaoks [54];
4. üldlevinud releepaneelide mõõt on 600x1000x2200 mm [54];
5. ruumis peab olema vähemalt 800 mm laiune läbikäik kõigi elektriseadmete hooldamiseks [54];
6. juhul kui releepaneelide ukсед on avatud, peab jääma liikumiseks vähemalt 500 mm vaba ruumi [54];
7. üle 10 m pikkuse juhtimishoone puhul peab sellel olema kaks ust [54];
8. akude paigutamiseks peab alajaama hoones olema eraldi ruum [54];
9. akuruumi uks ei tohi olla välisuks, vaid peab avanema siseruumi [54];
10. omatarbetafo ruum peab olema piisavalt suur, et selles oleks trafo ümber vähemalt ühe meetri laiune teenindusala [54];
11. trepiplatvormi mõõtmed peavad olema vähemalt 2900x1500 mm [54];
12. trepi käiguosa laius peab olema vähemalt 1000 mm [54];
13. uste laius peab olema vähemalt 900 mm [54];
14. 110 kV jõutrafo lahtri juhtimine ja kaitse ning trafo põhikaitse ei või paikneda samas releepaneelis [35];
15. 110 kV õhuliini ja sektsioonide vahelise lahtri põhi- ja reservkaitse koos integreeritud juhtimisfunktsioonidega võivad paikneda samas releepaneelis [35];
16. lattide diferentsiaalkaitse peab paiknema eraldi releepaneelis [35];
17. lattide pingetrafo terminalid peavad paiknema eraldiseisvas releepaneelis [35];
18. häiremeerikud (REMI) peavad paiknema eraldiseisvas releepaneelis [35];
19. sideseadmed ja GPS peavad paiknema eraldiseisvas releepaneelis [35];

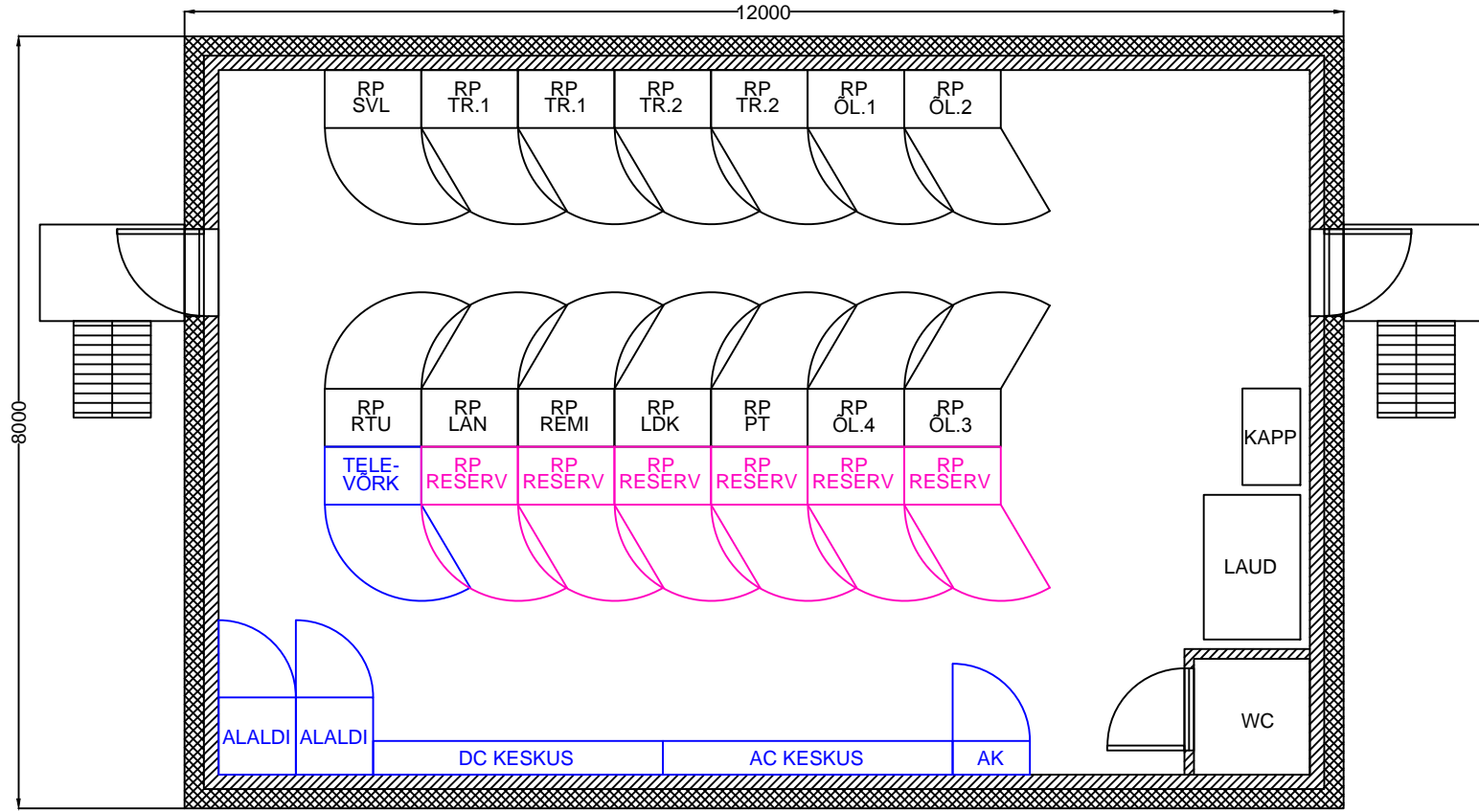
20. kaugterminal peab paiknema eraldiseisvas releepaneelis [35];
21. elektrienergia arvestid peavad paiknema eraldiseisvas paneelis [35];
22. siseruumide paigutamisel tuleb ette näha vaba ruum Televõrk AS sidepaneeli jaoks [35];
23. tüüpiliselt nõutakse ehituse hanke mahus tualettruumi [55], kuigi hanke maht võib alajaamade lõikes erineda, siis antud lahenduse korral eeldatakse siiski tualettruumi vajadust;
24. juhtimishoones peab olema kahe sahtliga töölaud [56];
25. juhtimishoones peab olema dokumendikapp [56].

Joonistel 6.3 ja 6.4 on esitatud vastavalt juhtimishoone põhi- ja kaablikorruse üks võimalikest lahendustest hetkel kasutatava andmehõivesüsteemi korral. Joonistelt on näha, et juhtimishoone üldgabariidid on määratud põhikorruse sisepaigutusega. Antud paigutuse korral on juhtimishoone pikkuseks 12 meetrit ja laiuseks 8 meetrit. Kuna hoone pikkus on suurem kui 10 meetrit, siis tuleb nii põhi- kui ka kaablikorral kasutada kahte sissepääsu. Lisaks tuleb tagada põhikorrusele pääsemiseks kaks treppi koos platvormiga.

Juhtimishoone põhi- ja kaablikorruse sisepaigutus kohtterminalide lahtri klemmkappidesse paigutamise korral on esitatud vastavalt joonistel 6.5 ja 6.6. Jooniselt 6.5 on võimalik näha, et juhtimishoones paiknevad ainult automaatika (AUTOM), kaugterminali (RTU), sideseadmete (LAN), häiremerikute (REMI) ja lattide diferentsiaalkaitse (LDK) releepaneelid. Samuti on vähendatud perspektiivsete releepaneelide arvu, sest alajaama laiendamise korral paigutatakse täiendavad kohtterminalid mitte juhtimisruumi, vaid lahtri klemmkappi, milleks vajaliku vaba ruumiga on arvestatud välijaotla planeerimisel. Tänu releepaneelide väiksemale arvule on võimalik vähendada hoone üldgabariite. Kohtterminalide lahtri klemmkappidesse paigutamisel põhineva andmehõivesüsteemi korral on juhtimishoone pikkus antud sisepaigutuse korral 8,70 meetrit ning laius 6,05 meetrit. Võrreldes traditsioonilise andmehõivesüsteemiga on hoone pikkus vähenenud 3,30 meetri ning laius 2,95 meetri võrra. Kuna hoone pikkus on väiksem kui 10 meetrit, siis võib kasutada ainult ühte sissepääsu. Sellest tulenevalt tuleb paigaldada ka ainult üks trepp koos platvormiga.

Joonistelt 6.4 ja 6.6 on näha, et kaablikorruse sisepaigutuses ei esine erilisi muudatusi. Tulenevalt kuni 57% ulatuses vähenevast sekundaarkaablite mahust ei teki probleeme vajalikul hulgal kaabliredelite mahutamiseks kaablikorrusele. Muude ruumide (aku-, inventari- ja omatarbetrafode ruum) mõõtmed on joonisel 6.6 jäetud samaks võrreldes hetkel kasutatava andmehõivesüsteemi juhtimishoone lahendusega joonisel 6.4.

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

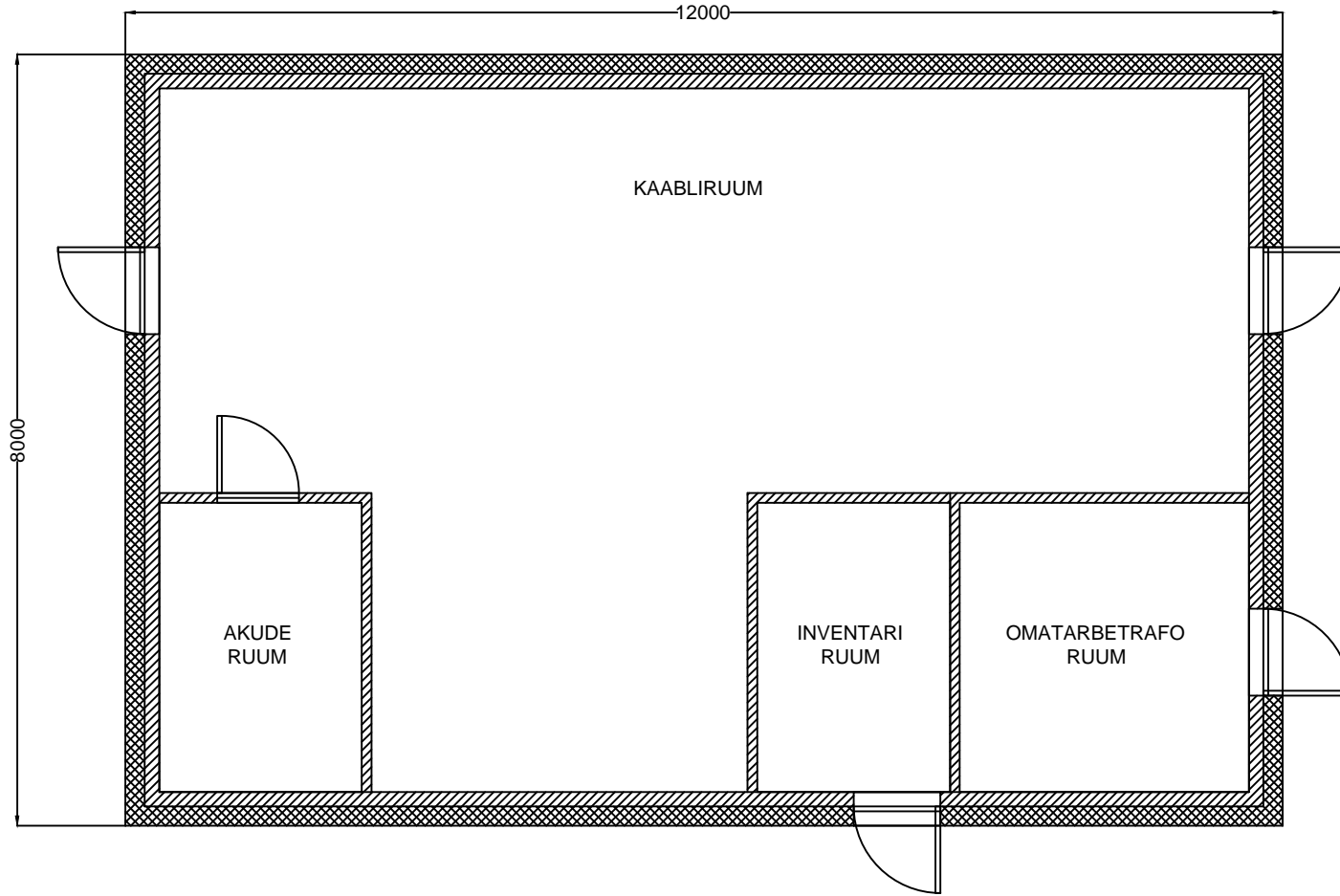
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

LÕPUTÖÖ			TTÜ
27.05.15	MEELIS MELDER	AAVM	1:75
JUHTIMISHOONE PÕHIKORRUS TRADITSIOONILISE ANDMEHÕIVESÜSTEEMI KORRAL			JOONIS 6.3

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



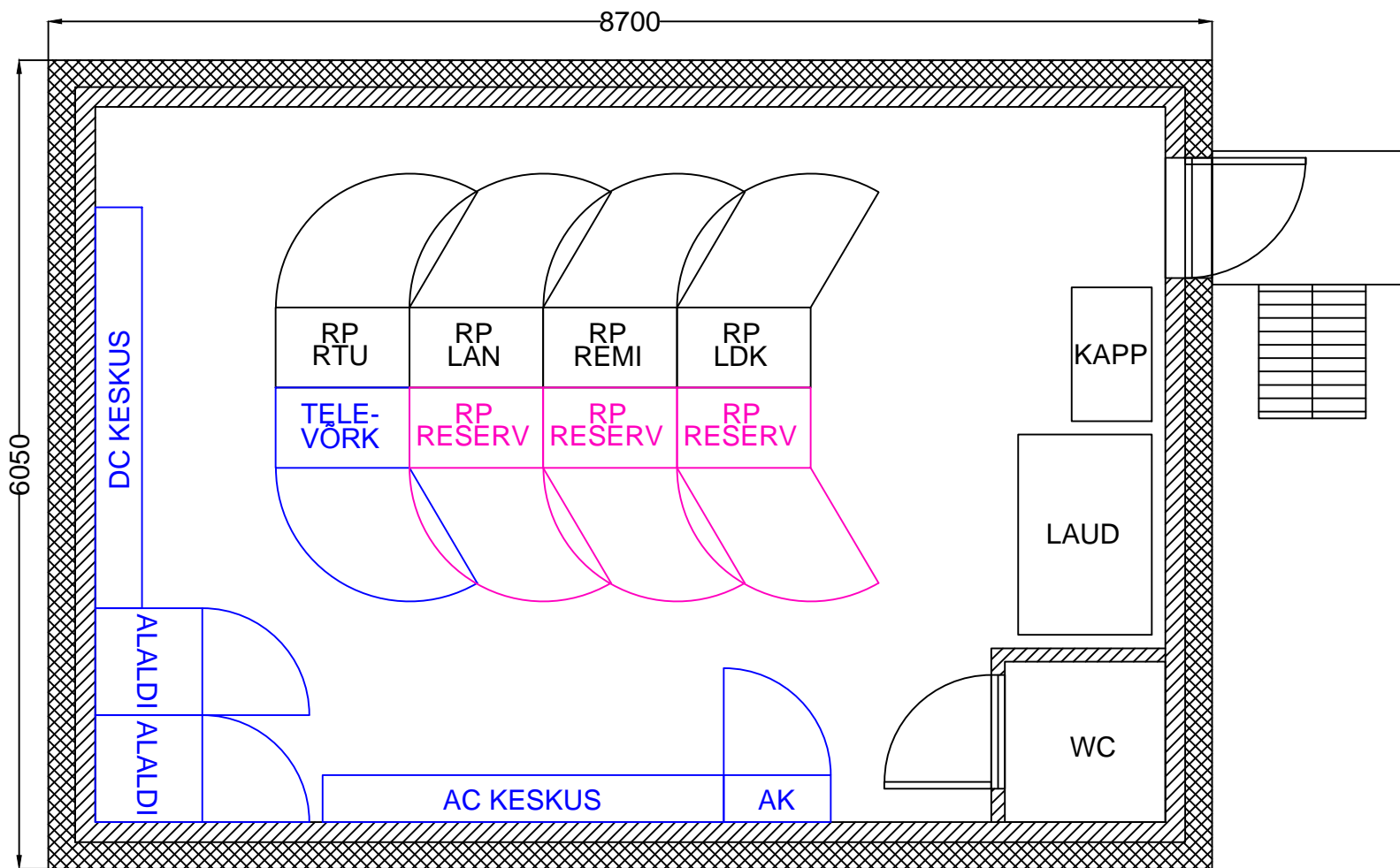
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

LÕPUTÖÖ			TTÜ
27.05.15	MEELIS MELDER	AAVM	1:75
JUHTIMISHOONE KAABLIKORRUS TRADITSIOONILISE ANDMEHÕIVESÜSTEEMI KORRAL			JOONIS 6.4

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



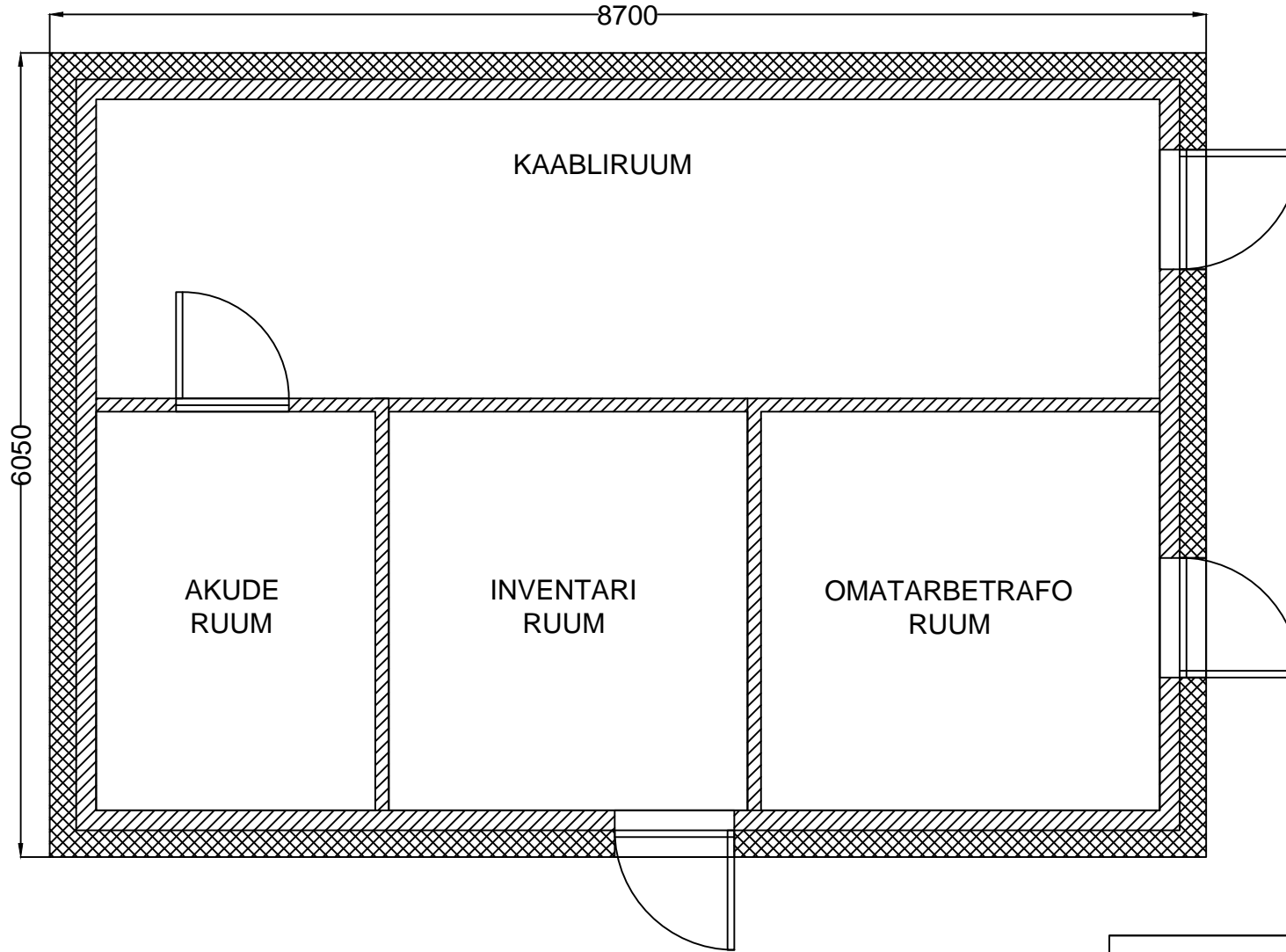
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

LÕPUTÖÖ			TTÜ
27.05.15	MEELIS MELDER	AAVM	1:50
JUHTIMISHOONE PÕHIKORRUS PROTSESSIINI MINIMEERIMISE KORRAL			JOONIS 6.5

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

LÕPUTÖÖ			TTÜ
27.05.15	MEELIS MELDER	AAVM	1:50
JUHTIMISHOONE KAABLIKORRUS PROTSESSISIINI MINIMEERIMISE KORRAL			JOONIS 6.6

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

## 6.5. Alajaama kohtvõrgu struktuur

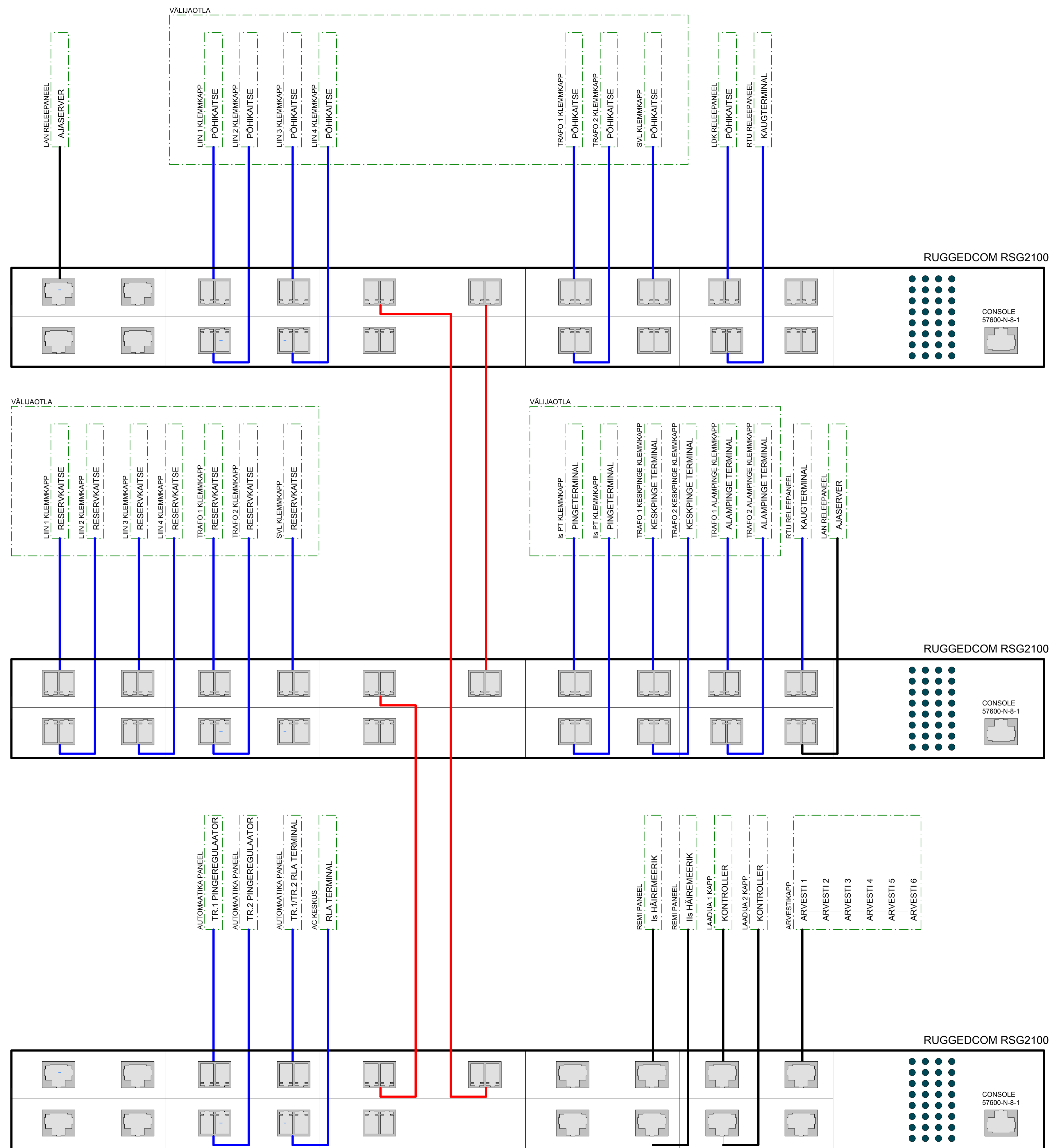
Alajaama kohtvõrgu struktuur protsessiini minimeerimisel põhineva andmehõivesüsteemi korral on esitatud joonisel 6.7. Antud jooniselt on näha, et väljaotlas klemmkappides asuvad kohtterminalid ühendatakse alajaama juhtimishoones asuvate kommutaatoritega fiiberoptiliste kaablite abil. Alajaama kohtvõrgus kasutatakse võrguettevõtte poolt heakskiidetud kommutaatoreid RuggedCom RSG2100 [31]. Alajaama seadmed on funktsioonide alusel jaotatud kolme kommutaatori vahel, et minimeerida kommutaatori rikkest tulenevat kahju. Esimese kommutaatoriga on ühendatud põhikaitse, teisega reservkaitse ning kolmandaga keskpinge-, automaatika- ja muud seadmed. Kommutaatorid on omavahel ühendatud 1 Gbit/s magistraalvõrguga, mille ühendusi kontrollib RSTP liiasusprotokoll. Kuna antud andmehõivesüsteemi korral ei edastata digitaalselt diskreetsignaale, siis ei ole vajadust kasutada tõrkesiirdeta liiasusprotokolle. Kiire täispuuprotokolli kasutamine täidab vajalikud häiringu-kindluse nõuded ning on seejuures rakendatav väiksemate kuludega.

Aja sünkroniseerimiseks kasutatakse Meinberg Lantime M400 NTP ajaserverit koos välise antenni ja GPS referentskellaga [48]. Häiringukindluse tõstmiseks kasutatakse ajaserveril kahte toiteploki ja kahte ühendust alajaama kohtvõrguga. Seejuures on kohtvõrgu ühendused teostatud erinevate kommutaatoritega.

## 6.6. Eelised ja puudused

Sarnaselt protsessiini digitaliseerimisele võimaldab ka protsessiini minimeerimine vähendada märkimisväärselt alajaama sekundaarkaablite mahtu. Lisaks on võimalik vähendada sekundaarahelate projekteerimisele kuluvat aega. Antud andmehõivesüsteemi korral edastatakse digitaalselt ainult lahtripõhiseid binaarsignaale. Mõõtesignaalide edastamiseks tuleb jätkuvalt kasutada vaskkaableid. Sellest tulenevalt ei ole sekundaarkaablite vähenemine nii suur kui koondamisüksuse kasutamise korral. Alajaama laiendamise korral on vajalike binaarsignaalide edastamine uutele seadmetele alajaama kohtvõrgu kaudu võrdlemisi lihtne ning eeldab ainult uute seadmete korrektset seadistamist. Antud topoloogia korral edastatakse protsessikihilt tulev informatsioon kohtterminalile elektriliste signaalide abil, millest tulenevalt peavad kohtterminali sisendid sisaldama galvaanilist eraldust.

Seoses kohtterminali lahtri klemmkappi paigutamisega on võimalik vähendada nõudmisi voolu- ja pingetrafo koormustele tulenevalt sekundaarkaablite lühenemisest. Siinkohal on oluline rõhutada, et vähenevad ainult sama lahtri kaitsefunktsioonide jaoks ettenähtud



LEGEND

- 1 Gbps, TCP/IP, RSTP, valguskaabel
- 10/100 Mbps, IEC 61850, valguskaabel
- 10/100 Mbps, TCP/IP, vaskaabel

LÕPUTÖÖ			TTÜ
27.05.15	MEELIS MELDER	AAVM	A3
ALAJAAMA KOHTVORGU STRUKTUUR "RELEE KLEMMKAPIS" ANDMEHÕIVESÜSTEEMI KORRAL			JONIS 6.7

voolutrafo mähiste nõuded. Kõige suuremaid nõudeid volutrafole seab distantskaitse funktsioon. Tulenevalt lahtripõhiste kaitsefunktsioonide jaoks vajalike volutrafo ahelate lühenemisest paraneb ka volutrafo vastavus distantskaitse häiringuteta töötamise tingimustele. Üldistatult on efekt volutrafo nõutele sama kui koondamisüksuse kasutamise korral (vt punkt 5.5). Siinkohal tuleb aga rõhutada, et volutrafo tehniliste nõuete vähendamisel tuleb lähemalt uurida ka lattide diferentsiaalkaitse ja elektriarvestite häireteta töötamise tingimusi.

Kohtterminalide klemmkappi paigutamine võimaldab vähendada alajaama juhtimishoones asuvate relepaneelide arvu. Alles jäävad ainult süsteemiautomaatika ja alajaama monitoorimisega seotud seadmete paneelid. Sellest tulenevalt on võimalik märkimisväärselt vähendada juhtimishoone suurust, mis võimaldab hoida kokku hoone ehituse maksumuselt. Teisalt tingib kohtterminalide välijaotlas paiknemine vajaduse kohaliku juhtimisarvuti järele. Juhtimisarvuti võimaldab saada lihtsasti ja kiiresti ülevaadet alajaama seisundist (võrgu konfiguratsioon, elektrilised parameetrid, aktiivsed alarmid, sündmuste loetelu). Lisaks on juhtimisarvuti vahendusel võimalik täita vajalikke juhtimiskorraldusi.

Traditsioonilise andmehõivesüsteemi puhul tarnitakse alajaama eelnevalt kokkumonteeritud lahtri klemmkapid ja samuti ka relepaneelid. Seejärel ühendatakse klemmkapid ja relepaneelid omavahel sekundaarkaablite abil. Kohtterminali klemmkappi paigutamisel puudub vajadus relepaneeli järele ning sellest tulenevalt jääb ära ka klemmkapi ja relepaneeli vaheliste sekundaarkaablite ühendamine ja testimine. See tähendab, et antud andmehõivesüsteemi korral on võrreldes traditsioonilise andmehõivesüsteemiga võimalik vähendada süsteemi integreerimise ja töösse võtmise aega. Hinnang võimalikule aja kokkuhoiule protsessiini minimeerimisel põhineva andmehõivesüsteemi kasutamise korral on esitatud käesoleva lõputöö punktis 7.2.

Kohtterminalid on optilise sidekanali abil ühendatud alajaama kohtvõrguga, mis võimaldab sideühenduse toimimise pidevat jälgimist. Traditsioonilise andmehõivesüsteemi puhul ei ole võimalik reaajas jälgida ühtki ühendust ahelas primaarseade-klemmkapp-relepaneel-kohtterminal (v.a võimsuslüli väljalülitusahelad). Tulenevalt antud ühenduste suurest arvust ja ühenduskaablite suurest pikkusest on andmehõivesüsteemi mittemonitooritav osa tunduvalt suurem monitooritavast osast. Kohtterminalide klemmkappi paigutamisel on andmehõivesüsteemi mittemonitooritavaks osaks ainult ühendused primaarseadmest klemmkapis asuva kohtterminalini. Andmehõivesüsteemi pideva jälgimise korral on võimalik esinev rike kiiresti

avastada ja lokaliseerida, mis võimaldab hoida kokku hoolduskuludelt tulenevalt perioodiliste kontrolltööde vajaduse puudumisest.

Tulenevalt sellest, et mõõtesignaale vaadeldava andmehõivesüsteemi puhul ei digitaliseerita, on ka nõuded ajasüsteemile ja kohtvõrgule mõnevõrra väiksemad. Antud andmehõivesüsteemi korral teeb releekaitse oma otsuseid elektriliste sisendsignaalide põhjal. See tähendab, et alajaama kohtvõrgu või ajasüsteemi rike ei oma mõju releekaitse toimimisele. Alajaama kohtvõrgu vahendusel edastatakse sideprotokolli kaudu vaid erinevate lahtrite kohtterminalide vahelist informatsiooni. Sellist informatsiooni kasutatakse näiteks aktiivse sättegrupi valimiseks või lülitustoimingute blokeerimiseks. Need funktsioonid ei ole ajakriitilised ega mõjuta otseselt releekaitse toimimist. Sellest tulenevalt ei ole hädavajalik kasutada HSR või PRP liiasusprotokolle ega äärmiselt täpset ajasüsteemi. Väiksemad nõuded kohtvõrgule ja ajasünkroniseerimisele võimaldavad kokku hoida antud süsteemide maksumuselt.

Sekundaarkaablite vähenemine võimaldab parandada elektriohutust alajaama hooldus- ja käidutööde teostamisel. Siinkohal tuleb rõhutada, et releekaitsega seotud tööde teostamisel puututakse ikkagi kokku elektriliste signaalidega, mis eeldab vajalike ohutusmeetmete rakendamist. Releekaitse seadistamist on võimalik teha kaughalduse teel või kohaliku juhtimisarvuti vahendusel. Küll aga tuleb releekaitse funktsioonide testimist voolu- ja pingegeneraatoriga teostada vahetult kohtterminali juures ehk antud andmehõivesüsteemi puhul väljaotlas. Sellest tulenevalt sõltub testimiste läbiviimine ilmastikuoludest. Üldjuhul ei ole testiseadmed ettenähtud tööks välitingimustes külma ja vihma käes. Samuti ei ole klemmkapi lahtiste uste korral tagatud vajalik kaitseaste kohtterminalide töötingimuste tagamiseks.

## 7. Majandusliku mõju hindamine

Käesolevas peatükis antakse hinnang alajaama kogumaksumuses esinevatele muutustele tulenevalt uute topoloogiliste lahenduste rakendamisest. Järgnevalt tuuakse välja uute andmehõivesüsteemide kasutamisest tulenevad kokkuhoiu võimalused ning täiendavad kulud. Seejärel võetakse esinevad muutused kokku ning hinnatakse uute lahenduste majanduslikku tasuvust tervikuna.

Antud peatükis käsitletavad seadmete, sekundaarkaablite, sideühenduste ja tööde maksumused on konfidentsiaalsed. Sellest tulenevalt ei esitata ühegi kululiigi suurust rahalises vääringus, vaid antakse hinnang protsentuaalsele muutusele võrreldes hetkel kasutatava andmehõivesüsteemi rakendamisega.

### 7.1. Protsessiini digitaliseerimine

Protsessiini digitaliseerimisel põhineva andmehõivesüsteemi teostuse põhimõtted on kirjeldatud käesoleva lõputöö 5. peatükis. Järgnevalt on välja toodud nii koondamisüksuse kasutamisest tulenevad võimalused kulude kokkuhoiuks kui ka täiendavate kulude allikad. Käsitletavate kululiikide majandusliku mõju hinnang on koondatud tabelisse 7.1.

#### Sekundaarkaablid

Peamist kulude kokkuhoidu võimaldab sekundaarkaablite mahu märkimisväärne vähendamine. Protsessiini digitaliseerimise puhul on võimalik elimineerida ligikaudu 79% sekundaarkaableid nagu selgus käesoleva lõputöö punktis 5.3. See tähendab, et paigaldatavad sekundaarkaablid moodustavad vaid 21% hetkel kasutatava andmehõivesüsteemi korral paigaldatavatest sekundaarkaablitest. Täiendavalt on võimalik kulusid kokku hoida sekundaarkaablite paigaldamise ja testimisega seotud töödelt. Kaablite mahu vähenemisest tulenev summaarne kulude kokkuhoid ilma mastaabisäästuga arvestamata on võrdeline muutusega kaablite mahus. See tähendab, et sekundaarkaablite ning nende paigalduse ja testimisega seotud tööde summaarne maksumus protsessiini digitaliseerimisel moodustab ligikaudu 21% vastavast kulust hetkel kasutatava andmehõivesüsteemi korral.

#### Kaablitorud

Elering AS tehniliste nõuete kohaselt tuleb sekundaarkaablid paigaldada maa-alustesse kaablitorudesse, mille minimaalne läbimõõt on 100 mm. Lisaks peab igasse kaablitorusse jätma vähemalt 25% vaba ruumi võimalike laienduste jaoks tulevikus. Sekundaar-, optiliste ja jõukaablite jaoks tuleb kasutada eraldiseisvaid kaablitorusid. [57]



See tähendab, et protsessiini digitaliseerimise korral on võimalik vähendada kaablitorude arvu tänu sekundaarkaablite mahu vähenemisele. Alles jäävad kõik kaablitorud klemmkappide ja primaarseadmete vahel. Juhtimishoone ja klemmkappide vahele jääb alles üks kaablitoru alalis- ja vahelduvvoolu toitekaablite ning üks kaablitoru fiiberoptiliste kaablite jaoks. Ülejäänud kaablitorud on võimalik elimineerida. Tulenevalt kaablitorude arvu vähenemisest on võimalik täiendavalt kokku hoida kaablitorude paigaldustöödelt. Hinnanguliselt väheneb sekundaarkaablite kasutamiseks ettenähtud kaablitorude ja nende paigaldustööde summaarne maksumus ligikaudu 70% võrra.

### **Releepaneelid**

Hetkel kasutatava andmehõivesüsteemi korral tuleb projekteerida nii klemmkapp kui ka releepaneel. Protsessiini digitaliseerimisel on võimalik märkimisväärselt vähendada releepaneelis olevate ühenduste arvu ja sellest tulenevalt ka projekteerimise keerukust. Väiksemate ühenduste arv releepaneelis võimaldab hoida kokku releepaneelide maksumuselt. Lisaks võimaldab releepaneelide projekteerimise keerukuse vähenemine hoida täiendavalt kokku projekteerimisega seotud tööde maksumuselt. Hinnanguliselt võimaldab protsessiini digitaliseerimine vähendada releepaneelide projekteerimise ja tootmisega seotud kulusid 55% võrra võrreldes hetkel kasutatava andmehõivesüsteemiga.

### **Kohtterminalid**

Protsessiini digitaliseerimisel edastatakse informatsioon primaarseadmete seisundi kohta kohtterminali digitaalselt. See tähendab, et kohtterminalil ei ole vaja suurt hulka sisendväljundkontakte. See võimaldab hoida kokku kohtterminali maksumuselt. Hinnanguliselt on võimalik sel viisil vähendada kohtterminalide maksumust 10% võrra võrreldes hetkel kasutatava andmehõivesüsteemiga.

### **Klemmkapid**

Protsessiini digitaliseerimise korral vajalikud muudatused lahtri klemmkappides on välja toodud käesoleva lõputöö punktis 5.2. Antud punktis selgub, et klemmkappi tuleb paigaldada koondamisüksused ning lisaks ka täiendav kütteelement koos termostaadiga. Mõnevõrra väheneb klemmide arv, kuid selle muutuse majanduslik mõju ei ole märkimisväärne. Sellest tulenevalt on lahtri klemmkapi maksumus protsessiini digitaliseerimise korral ligikaudu kaks korda suurem võrreldes hetkel kasutatava andmehõivesüsteemiga.

## **Kohtvõrk**

Käsitletava andmehõivesüsteemi korral jääb alajaamasiini kohtvõrk muutumatuks. Küll aga tuleb lisaks alajaamasiini kohtvõrgule välja ehitada eraldiseisev protsessisiini kohtvõrk, mistõttu tuleb soetada lisaseadmeid ja luua täiendavaid sideühendusi. Alajaama protsessisiini kohtvõrgu struktuur on esitatud joonisel 5.6. Antud jooniselt on näha, et lisaks kommutaatoritele tuleb seoses lõppseadmete tõrkesiirdeta liiasusprotokollide vähese toega kasutada ka *RedBoxe*. Selle tulemusel kujuneb alajaama kohtvõrgu maksumus ligikaudu kaks korda suuremaks võrreldes hetkel kasutatava andmehõivesüsteemiga.

## **Releekaitse seadistamine**

Protsessiini digitaliseerimise korral suurenevad kohtterminalide omavahelise informatsiooni mahud ning lisandub infovahetus koondamisüksustega. Sellest tulenevalt kulub releekaitse infovahetuse seadistamisele rohkem aega kui hetkel kasutatava andmehõivesüsteemi korral. Traditsioonilise andmehõivesüsteemi korral teostatakse kohtterminalide sisendinfo kogumine elektriliste signaalide teel, mis pannakse paika sekundaarahelate projekteerimise käigus. Protsessiini digitaliseerimise korral liigub antud funktsioon projekteerija vastutusalast releainseneri ülesandeks. Sellest tulenevalt suureneb releainseneri töömaht ning kokkuvõttes ka releekaitse seadistamisega seotud kulu. Hinnanguliselt suureneb protsessisiini digitaliseerimisel releekaitse seadistamise maksumus ühe kolmandiku võrra võrreldes hetkel kasutatava andmehõivesüsteemiga.

## **Koolitused ja litsentsid**

Seoses protsessisiini digitaliseerimisega tuleb läbi viia koolitused nii tööde teostajatele kui ka kliendi esindajatele ja käidukorraldusmeeskonnale. Elering AS tehniliste nõuete kohaselt tuleb uut tüüpi seadmete kasutamiseks viia läbi teoreetiline koolitus kümnele ning praktiline koolitus viiele võrguettevõtte töötajale. Lisaks tuleb releekaitsega seotud seadmete korral tagada vajalik tarkvara ja litsentsid kahekümnele kasutajale. [31]

Töö teostajate koolitamine on osa pidevast koolitustegevusest ega kujuta endast täiendavat kulu. Võrguettevõtte esindajate koolitamine on samuti osa pidevast arendustegevusest ega ole käsitletav projektipõhise kuluna. Sellest tulenevalt ei võeta koolituste ja litsentsidega seotud kulusid arvesse protsessisiini digitaliseerimise majandusliku mõju hindamises.

**Tabel 7.1. Protsessiini digitaliseerimise majanduslik mõju**

<b>Kululiik</b>	<b>Protsessiini digitaliseerimine</b>	<b>Hetkel kasutatav andmehõivesüsteem</b>
Sekundaarkaablite ning paigalduse ja testimise maksumus	21%	100%
Kaablitorude ja paigalduse maksumus	30%	100%
Releepaneelide projekteerimise ja tootmise maksumus	45%	100%
Väiksemate sisendväljundkaartidega releed	90%	100%
Klemmkapi maksumus	210%	100%
Alajaama kohtvõrk	200%	100%
Releekaitse seadistamine	135%	100%
Koolitused ja litsentsid	-	-
<b>Summaarne mõju alajaama kogumaksumusele</b>	<b>95%</b>	<b>100%</b>

### **Töösse võtmise aeg**

Protsessiini digitaliseerimise korral on võimalik lühendada süsteemi integreerimise ja töösse võtmise aega. Peamine aja kokkuhoid tuleneb sekundaarkaablite projekteerimise, paigaldamise ja testimise arvelt seoses väiksema kaablite mahuga. Samas tuleneb teatav lisaaeg releekaitse seadistamise keerukuse suurenemisest. Süsteemi töösse võtmise aja summaarne vähenemine on hinnanguliselt 225 tööjõupäeva. Esitatud ajalise kokkuvõidu majanduslik mõju sisaldub eelnevalt käsitletud kululiikide majandusliku mõju hinnangutes ja seega ei tooda seda eraldi välja.

### **Summaarne mõju alajaama maksumusele**

Eelnevalt käsitleti muutusi kululiikide lõikes. Summaarne mõju alajaama kogumaksumusele sõltub suurel määral alajaama suuruselt ja konfiguratsioonist ning sellel põhinevast projekti kulustruktuurist. Hinnanguliselt võimaldab protsessiini digitaliseerimine vähendada uue alajaama kogumaksumust 5-10% võrra, mis on alajaamade ehitusmaksumuse juures märkimisväärne kokkuhoid. Alajaamade juhtsüsteemide ja releekaitse uuendamise projektides on protsessiini digitaliseerimise protsentuaalne majanduslik mõju tunduvalt suurem tulenevalt primaarseadmete ja ehitustööde maksumuse väiksemast osakaalust projekti kogukuludest.

Sellisel juhul võimalab protsessiini digitaliseerimine vähendada projekti maksumust ligikaudu 30-40% võrra.

## **7.2. Protsessiini minimeerimine**

Protsessiini minimeerimisel põhineva andmehõivesüsteemi teostuse põhimõtted on kirjeldatud käesoleva lõputöö 6. peatükis. Käesolevas punktis tuuakse välja kohtterminalide lahtri klemmkappi paigutamisest tulenevad võimalused kulude kokkuhoiuks. Samuti käsitletakse antud andmehõivesüsteemiga kaasnevaid täiendavaid kulusid. Protsessiini minimeerimisel põhineva andmehõivesüsteemi majandusliku mõju hinnang on koondatud tabelisse 7.2.

### **Juhtimishoone**

Protsessiini minimeerimise korral on võimalik märkimisväärselt vähendada juhtimishoone mõõtmeid, mis võimaldavad hoida kokku ehitustööde maksumuselt. Protsessiini minimeerimisel põhineva andmehõivesüsteemi korral esinevaid muudatusi alajaama juhtimishoones on käsitletud käesoleva töö punktis 6.4. Juhtimishoone mõõtmete vähenemine võimaldab hoida kokku nii ehitusmaterjalidelt kui ka töö maksumuselt. Joonistelt 6.3 kuni 6.6 on võimalik näha, et juhtimishoone põrandapindala on protsessiini minimeerimise korral vähenenud rohkem kui 40 m<sup>2</sup> ehk ligikaudu 45% võrra võrreldes hetkel kasutatava andmehõivesüsteemiga. Lisaks tekivad täiendavad kokkuhoidmise võimalused näiteks uste ja treppide arvu vähenemise arvelt. Hinnanguliselt väheneb käsitletava andmehõivesüsteemi puhul alajaama juhtimishoone summaarne maksumus ligikaudu 50% võrra võrreldes traditsioonilise andmehõivesüsteemiga.

### **Sekundaarkaablid**

Sarnaselt protsessiini digitaliseerimisele võimaldab ka protsessiini minimeerimine hoida kokku sekundaarkaablite arvelt. Käesoleva lõputöö punktis 6.3 esitatud hinnangu kohaselt on võimalik vähendada sekundaarkaablite mahtu ligikaudu 57% võrra võrreldes traditsioonilise andmehõivesüsteemiga. Lisaks on võimalik kulusid kokku hoida sekundaarkaablite paigaldamise ja testimisega seotud töödelt. Sekundaarkaablite mahu vähenemisest tulenev kulude kokkuhoid ilma mastaabisäästuga arvestamata on võrdeline muutusega kaablite mahus. See tähendab, et sekundaarkaablite ning nende paigalduse ja testimisega seotud tööde kogumaksumus protsessiini minimeerimisel on ligikaudu 43% antud kulust traditsioonilise andmehõivesüsteemi korral.

## **Kaablitorud**

Võrguettevõtte tehnilisi nõudeid kaablitorudele on käsitletud punktis 7.1. Tulenevalt sekundaarkaablite mahu vähenemisest on võimalik vähendada ka kaablitorude arvu. Kõik kaablitorud klemmkappide ja primaarseadmete vahel jäävad alles. Juhtimishoone ja klemmkappide vahele jääb alles üks kaablitoru abitoiteahelate jaoks ning üks kaablitoru valguskaablite tarbeks. Ülejäänud kaablitorud on võimalik elimineerida. See tähendab, et protsessisiini minimeerimisel kasutatavate kaablitorude arv on võrdne kaablitorude arvuga protsessisiini digitaliseerimisel põhineva andmehõivesüsteemi korral. Hinnanguliselt väheneb sekundaarkaablite kasutamiseks ettenähtud kaablitorude ja nende paigaldustööde summaarne maksumus ligikaudu 70% võrra.

## **Releepaneelid**

Traditsioonilise andmehõivesüsteemi korral tuleb projekteerida nii klemmkapp kui ka releepaneel. Protsessisiini minimeerimisel põhineva andmehõivesüsteemi korral on võimalik mitmed releepaneelid täielikult kõrvaldada. Käesoleva lõputöö punktis 6.4 esitatud hinnangu põhjal on võimalik loobuda kõigist lahtripõhistest releepaneelidest ning alles jäävad ainult side- ja automaatikakapid. Seejuures on oluline märkida, et lisaks tootmiskulule on võimalik kokku hoida ka projekteerimisega seotud tööde maksumuselt. Protsessisiini minimeerimine võimaldab vähendada releepaneelide projekteerimise ja tootmisega seotud kulusid ligikaudu 85% võrra võrreldes hetkel kasutatava andmehõivesüsteemiga.

## **Kohtterminalid**

Sarnaselt hetkel kasutatavale andmehõivesüsteemile toimub protsessisiini minimeerimise korral kohtterminali sisendinfo kogumine elektrisignaali teel. Sellest tulenevalt ei ole võimalik antud juhul vähendada kohtterminalide sisend- ja väljundkaartide arvu ja sellest tulevalt ka kohtterminalide kogumaksumust.

## **Klemmkapid**

Käsitletava andmehõivesüsteemi rakendamiseks vajalikud muudatused lahtri klemmkappides on välja toodud käesoleva lõputöö punktis 6.2. Nimetatud punktis selgub, et kohtterminalidele vajalike töötingimuste tagamiseks tuleb klemmkappi paigutada täiendav kütteelement koos termostaadiga. Siinjuures tuleb rõhutada, et kütteelemendi ja termostaadi maksumus kujutab endast vaid väikest osa klemmkapi hinnast. Kuna kohtterminale käsitletakse eraldi, siis jääb klemmkappide kogumaksumus samale tasemele võrreldes traditsioonilise andmehõivesüsteemiga.

## Kohtvõrk

Protsessiini minimeerimisel põhineva andmehõivesüsteemi korral jääb alajaamasiini kohtvõrk suures osas muutumatuks. Seejuures tuleb aga tagada lahtri klemmkappides asuvate kohtterminalide sideühendused juhtimishoones asuvate sideseadmetega. Lisaks tuleb paigaldada juhtimishoonesse eraldiseisev juhtimisarvuti. Erinevalt protsessiini digitaliseerimisest ei ole käesoleval juhul tarvis rajada eraldiseisvat kohtvõrku protsessiini tarbeks. Sellest tulenevalt suurenevad protsessiini minimeerimise puhul kohtvõrgu ja sideühendustega seotud kulud ligikaudu 25% võrra võrreldes hetkel kasutatava andmehõivesüsteemiga.

## Releekaitse seadistamine, koolitused ja litsentsid

Releekaitse seadistamise seisukohast ei esine protsessiini minimeerimise korral suuri muudatusi võrreldes traditsioonilise andmehõivesüsteemi kasutamisega. Antud juhul kasutatavad seadmed on võrguettevõtte aksepteeritavate seadmete loetelus, mistõttu ei ole vaja viia läbi täiendavaid koolitusi ega soetada uusi litsentse. See tähendab, et releekaitse seadistamise, koolituste ja litsentsidega seotud kulud jäävad protsessiini minimeerimisel samale tasemele võrreldes traditsioonilise andmehõivesüsteemiga.

*Tabel 7.2. Protsessiini digitaliseerimise majanduslik mõju*

Kululiik	Protsessiini digitaliseerimine	Hetkel kasutatav andmehõivesüsteem
Alajaama juhtimishoone	51%	100%
Sekundaarkaablite ning paigalduse ja testimise maksumus	43%	100%
Kaabliitorude ja paigalduse maksumus	30%	100%
Releepaneelide projekteerimise ja tootmise maksumus	14%	100%
Väiksemate sisendväljundkaartidega releed	100%	100%
Klemmkapi maksumus	210%	100%
Alajaama kohtvõrk	125%	100%
Releekaitse seadistamine	100%	100%
Koolitused ja litsentsid	-	-
<b>Summaarne mõju alajaama kogumaksumusele</b>	<b>95%</b>	<b>100%</b>

### **Töösse võtmise aeg**

Protsessisiini minimeerimise korral on võimalik kokku hoida süsteemi integreerimise ja töösse võtmisega seotud aega. Peamine aja kokkuhoiu võimalus tuleneb sekundaarkaablite projekteerimise, paigaldamise ja testimise arvelt seoses väiksema kaablite mahuga. Süsteemi töösse võtmise aja summaarne vähenemine on hinnanguliselt 177 tööpäeva. Esitatud ajalise kokkuhoiu majanduslik mõju sisaldub eelnevalt käsitletud kululiikide majandusliku mõju hinnangutes ja seega ei tooda seda eraldi välja.

Väiksema juhtimishoone ehitamine pakub täiendavat kokkuhoidu alajaama ehitamise kestuses, kuid kuna üldehitustöid teostatakse üldjuhul allhankija poolt, siis ei oma antud ajaline kokkuhoid tähtsust peatöövõtja inimressursi planeerimisel. Hoone ehitamise ajaline kestus sõltub suurel määral objektil töötavate inimeste arvust. Väiksema hoone ehitamise vajadus võimaldab paremat sooritust kriitiliste ajapiirangutega objektidel. Samas võib ehitustööde teostaja kasutada hoone ehitamiseks vähem inimesi, mille tulemusena on ehituseks kuluv aeg sama kui suurema hoone puhul. Sellest tulenevalt ei ole siinkohal arvesse võetud ehitustööde kestuse muutumist.

### **Summaarne mõju alajaama maksumusele**

Eelnevalt käsitleti muutusi kululiikide lõikes. Summaarne mõju alajaama kogumaksumusele sõltub suurel määral projekti kulustruktuurist, mis tuleneb konkreetse alajaama suuruselt ja konfiguratsioonist. Hinnanguliselt võimaldab protsessisiini minimeerimine vähendada uue alajaama kogumaksumust 7-15% võrra.

Alajaamade juhtsüsteemide ja releekaitse uuendamise projektides on protsessisiini minimeerimise suhteline majanduslik mõju suurem tulenevalt primaarseadmete ja ehitustööde maksumuse väiksemast osakaalust projekti kogukuludest. Sellisel juhul võimaldab protsessisiini minimeerimisel põhineva andmehõivesüsteemi rakendamine vähendada projekti maksumust ligikaudu 40-50% võrra.

## Lõputöö kokkuvõte

Elektrivõrgu seisundi hindamiseks vajaliku andmestiku kogumine toimub eelkõige alajaamades, kus mõõdetakse võrgu elektrilisi parameetreid (sagedus, sõlmepinged, liinide voolud, edastatavad võimsused) ning määratakse võrgu konfiguratsioon. Alajaamas vajalike andmete kogumisega tegeleb andmehõivesüsteem, mis vastutab dispetšiteenistusele edastatava info korrektsuse, kvaliteedi ja õigeaegsuse eest. Lisaks vahendab andmehõive-süsteem dispetšeri juhtimiskorraldusi õigetele lülitusseadmetele.

### Alajaama andmehõivesüsteem

Kõrgepingelajaama andmehõivesüsteemi peamisteks elementideks on koht- ja kaugterminalid. Antud seadmed koguvad vajaliku sisendinfo primaarseadmetelt ning infotöötuse tulemusel teevad vajalikke otsuseid. Samuti edastavad kohtterminalid vajalikus mahus informatsiooni andmehõivesüsteemi kõrgemale tasemele. Kaugterminal on alajaama andmehõivesüsteemi keskus, mis koondab kokku kõigi alajaama seadmete poolt edastatava informatsiooni ning edastab selle õiges formaadis dispetšiteenistusele.

Elektrivõrgu seisundi andmehõive toimub tänapäeval suures osas sideprotokollide vahendusel. See tähendab, et ladusa andmevahetuse toimimiseks peavad kasutatavat infomudelit toetama süsteemi kõik seadmed. Esmalt standardiseeriti alajaama ja dispetšiteenistuse vaheline infovahetus, mis võimaldas ühendada erinevate tootjate seadmetel põhinevad alajaama andmehõivesüsteemid ühise juhtimiskeskusega. Seejärel hakati standardiseerima infovahetust alajaamasiinis ehk koht- ja kaugterminalide vahel. Alajaamasiin on infovahetuskeskkond samas alajaamas paiknevate koht- ja kaugterminalide ning teiste seadmete vahel. Standardse infomudeli kasutamine alajaamasiinis muudab erinevate tootjate seadmete ühildamise latusamaks ning lihtsustab telemaatikaalaseid hooldustöid. Lisaks on võetud kasutusele TCP/IP-põhine võrgustruktuur, mis võimaldab maksimaalselt ära kasutada infotehnoloogilisi arenguid ning suurendab andmehõivesüsteemi paindlikkust. Seni on primaarseadmetelt tulenev informatsioon (mõõte- ja seisundisignaalid) edastatud kohtterminalidele elektriliste signaalide abil. Tänu uutele tehnoloogilistele võimekustele on tänapäeval võimalik primaarseadmetelt tulenevad signaalid digitaliseerida primaarseadmete läheduses ning edastada vajalik informatsioon kohtterminalidele digitaalsel kujul. See tähendab, et välja on töötatud standardne infomudel protsessiini jaoks, mis on elektrivõrgu primaarseadmete ja kohtterminalide



vaheline infovahetuskeskkond. Protsessisiinis edastatakse ajakriitilist informatsiooni, mille põhjal teevad releekaitseadmed otsuseid.

### **Alajaama kohtvõrgu häiringukindlus**

Seoses suurte muutustega alajaama andmehõivesüsteemis on järjest enam päevakorrales tõusnud vajadus alajaama kohtvõrgu häiringukindluse tagamise meetodite järele. Kohtvõrgu häiringukindluse tagamise peamiseks viisiks on liiasusprotokollide rakendamine. Esimese liiasusprotokollina võeti kasutusele võrgu ümberkonfigureerimisel põhinev laialt levinud STP ja selle edasiarendus RSTP ning vähemal määral ka MRP. Võrgu ümberkonfigureerimisel põhinevate liiasusprotokollide suurimaks miinuseks on tõrkesiirde ajal tekkiv sidekatkestus. Kui informatsiooni, mille põhjal releekaitse teeb otsuseid, edastatakse alajaama kohtvõrgu vahendusel, siis on andmesidevõrgu rikke tulemusel tõrkesiirde kestuse jooksul releekaitse täielikult tööst väljas. Elektrivõrgu juhtimises on selline olukord mõeldamatu. Selle vältimiseks on välja töötatud uued ilma tõrkesiirdeta liiasusprotokollid HSR ja PRP. Viimane vajab kahte eraldiseisvat kohtvõrku, mis muudab selle kasutamise kalliks. HSR liiasusprotokollil korral väheneb kohtvõrgu läbilaskevõime tulenevalt sama informatsiooni edastamisest samas võrgus kahes duplikaadis. Täiendavaid piiranguid loob olemaolevate seadmete ühildumine nimetatud protokollidega.

Voolu- ja pingetrafoode mõõtesignaali digitaliseerimisel kasutatakse releekaitse jaoks diskreetimist 80 korda ja kommertsmõõtmiste jaoks 256 korda 50 Hz tsükli jooksul. See tähendab, et voolu ja pinget väärtusi edastatakse vastavalt 4 000 ja 12 800 korda sekundis. Sellest tulenevalt võib HSR liiasusprotokollil kasutamisel tekkiv läbilaskevõime vähenemine osutada kriitiliseks, kui alajaama kohtvõrgu vahendusel edastatakse protsessikihi signaale.

### **Alajaama ajasüsteemid**

Teiseks oluliseks valdkonnaks protsessikihi digitaliseerimisel on kasutatava ajasüsteemi töö- ja häiringukindlus ning sünkroniseerimistäpsus. Selleks, et voolu- ja pingetrafoode mõõtesignaale oleks võimalik kokku sobitada, peavad muundurseadmed olema ajaliselt väga täpselt sünkroniseeritud. Piisava täpsusega sünkroniseerimist on võimalik tagada teatud eraldiseisvate ning teatud alajaama kohtvõrgul põhinevate ajasüsteemide kasutamise korral. Seejuures ei ole kõik seadmed ühilduvad kõigi ajasüsteemidega. Hetkel pakutavatest ajasüsteemidest on protsessisiini sünkroniseerimiseks parimate võimalustega PPS, IRIG-B ja PTPv2. PPS on käesoleva lõputöö kirjutamise ajal kehtiva standardi kohaselt eelistatuim sünkroniseerimismeetod protsessisiini rakenduste jaoks. PPS ajasüsteem pakub ligikaudu 20 nanosekundi

täpsusega tugisünkronisatsiooni. See tähendab, et PPS ajasüsteem pakub võimalust ainult seadmete omavaheliseks suhteliseks sünkronisatsiooniks ega sisalda informatsiooni kellaaja, päeva ega aasta kohta. IRIG-B ajasüsteemi korral saavutatav sünkronisatsiooni täpsus on samuti ligikaudu 20 nanosekundit. Seejuures sisaldab antud ajasignaal ka informatsiooni kellaaja, päeva ja aasta kohta. Samas on IRIG-B ajakoodil mitu võimalikku edastusformaati, mis muudab erinevate tootjate seadmete ühildamise keeruliseks. PPS ja IRIG-B ajasüsteemid vajavad aga mõlemad eraldiseisvat edastusvõrku, samal ajal kui PTPv2 ajasüsteem kasutab aja sünkroniseerimiseks ära alajaama kohtvõrku. PTPv2 ajasüsteemi korral korrigeeritakse pidevalt ka ajasignaali edastusviidet. Kui tüüpiliselt genereeritakse ajamärgendid rakenduskihi poolt, siis antud juhul lisatakse ajamärgend kohtvõrgu füüsilises kihis asuva riistvara abil. Ajasignaali edastusviite progresseeruv kohandamine ja ajamärgendi genereerimise viimine füüsilise kihi ülesannete hulka võimaldab PTPv2 ajasüsteemi kasutamisel saavutada sünkroniseerimise täpsuseks kuni 10 nanosekundit. Antud ajasüsteemi kasutamiseks peab seadmete riistvara vastama PTPv2 nõuetele. Käesoleva lõputöö kirjutamise ajal ei toeta enam alajaama andmehõivesüsteemi seadmeid PTPv2 ajasünkroniseerimist, kuid suure tõenäosusega leiab antud ajasüsteem tulevikus ajakriitiliste rakenduste korral laialdast kasutamist.

### **Protsessiini digitaliseerimine**

Protsessiini digitaliseerimisel põhineva andmehõivesüsteemi korral digitaliseeritakse primaarseadmetelt tulevad signaalid lahtri klemmkapis asuva koondamisüksuse poolt ning edastatakse kohtterminalile sideprotokolli vahendusel. Mõõtesignaali digitaliseerimiseks kasutatakse SAM600 tooteseeria seadmeid ning binaarsignaali jaoks RIO600 modulaarset sisend-väljundseadet. Kohtterminalidena kasutatakse digitaalsel protsessiiniil põhinevat infovahetust toetavaid ning Elering AS poolt aksepteeritud REx650 ja REx670 tooteseeria seadmeid. Protsessikihi digitaliseerimisel luuakse eraldiseisev protsessikihi kohtvõrk, milles rakendatakse HSR ja PRP liiasusprotokolle ning PPS ajasüsteemi. Alajaamakihi seadmetes ei esine protsessiini digitaliseerimisel erilisi muudatusi. See tähendab, et alajaamakihi kohtvõrgus on kasutusel RSTP liiasusprotokoll ja SNTP ajasüsteem.

Protsessiini digitaliseerimine loob mitmeid eelised võrreldes hetkel kasutatava andmehõivesüsteemiga: sekundaarkaablite maht väheneb ligikaudu 79% võrra, nõuded voolu- ja pingetrafolele vähenevad seoses sekundaarkaablite lühenemisega, süsteemi integreerimise ja töösse võtmise aeg väheneb ligikaudu 225 tööpäeva võrra, paranevad süsteemi laiendamise võimalused, hoolduskuludelt on võimalik kokku hoida seoses perioodiliste kontroll- ja hooldustööde vajaduse vähenemisega, suureneb elektriohutus alajaamas seoses

elektriliste signaalide asendumisega digitaalsignaalidega ning suureneb andmehõivesüsteemi monitooritav osa. Samas esineb digitaalsele protsessisiinile üleminekul ka teatavaid puudusi. Seal hulgas tuleb esmalt paigaldada koondamisüksuste ning protsessisiini kohtvõrgu ja ajasüsteemi elementide näol täiendavad seadmed. Samuti tuleb veenduda protsessisiini töö- ja häiringukindluses. Lisaks tuleb koondamisüksuste poolt nõutavate töötingimuste tagamiseks temperatuurivahemikus  $-40$  kuni  $+40^{\circ}\text{C}$  installeerida lahtri klemmkappi täiendav 100 W kütteelement koos eraldiseisva termostaadiga.

### **Protsessiini minimeerimine**

Protsessiini minimeerimisel põhineva andmehõivesüsteemi korral asendatakse protsessisiini digitaliseerimisel lahtri klemmkapis asuvad koondamisüksused kohtterminalidega. See tähendab, et primaarseadmetelt tulevate elektrisignaali digitaliseerimine toimub kohtterminali poolt klemmkapis. Kui protsessisiini digitaliseerimisel on koondamisüksuse ülesandeks informatsiooni digitaliseerimine ainult selle edastamise eesmärgil, siis protsessisiini minimeerimisel tehakse lahtri klemmkapis ka kõik vajalikud releekaitse otsused. Kohtterminalidena kasutatakse Elering AS poolt heakskiidetud REX650 ja REX670 tooteseeria seadmeid. Tulenevalt kohtterminali paigutamisest lahtri klemmkappidesse tuleb juhtimishoonesse luua käidukorralduse hõlbustamiseks töökoht koos juhtimisarvutiga. Selleks kasutatakse modulaarse kaugterminali RTU560 moodulit 560HMR01 koos standardse monitori ning hiire ja klaviatuuriga. Kuna alajaama kohtvõrgu vahendusel ei edastata ajakriitilist informatsiooni, siis kasutatakse RSTP liiasusprotokolli ning SNTP ajasüsteemi.

Protsessiini minimeerimisel on hetkel kasutatava andmehõivesüsteemi ees mitmeid eeliseid: alajaama kõige kriitlisema siini – protsessisiini – märkimisväärne lühenemine, sekundaarkaablite mahu vähenemine ligikaudu 57% võrra, voolu- ja pingetrafode nõuete vähenemine tulenevalt sekundaarkaablite lühenemisest, releepaneelide arvu vähenemine, juhtimishoone mõõtmete vähenemine, süsteemi laiendamise võimaluste paranemine, andmehõivesüsteemi monitooritava osa suurenemine ning alajaama elektriohutuse paranemine. Lisaks võimaldab protsessisiini minimeerimine vähendada süsteemi töösse võtmise aega ligikaudu 177 töjõupäeva võrra. Samas esineb protsessisiini minimeerimisel ka teatavaid puudujääke. Näiteks muutub kohtterminalide klemmkappi paigutamisel keerulisemaks alajaama käidukorraldus, sest enam ei ole võimalik kohtterminale teenindada juhtimishoonest. Käidu parendamiseks on protsessisiini minimeerimisel ette nähtud juhtarvuti installeerimine, mille vahendusel on võimalik operatiivselt saada ülevaadet alajaama seisundi ja aktiivsete alarmide kohta, analüüsida arhiivikirjeid ning edastada juhtimiskorraldusi. Samuti on võimalus

juhtimisarvuti vahendusel seadistada releekaitset. Samas releekaitse testimist voolu- ja pingegeneraatoriga on võimalik teostada ainult välijaotlas, mistõttu mõjutavad ilmastikuolud tööde planeerimist ja teostamist.

### **Teiste tootjate seadmete kasutatavus uute lahenduste teostamisel**

Eesti elektrivõrgu süsteemioperaatori tehniliste nõuete kohaselt on kõrgepingealajaamades aksepteeritud lisaks käesolevas töös käsitletud ABB toodetele ka Siemensi vastavad seadmed SIPROTEC 4 tooteseeriast. Lisaks on osade funktsioonide korral aksepteeritud ka Toshiba GR-200 seeria ja Sprecheri SPRECON-E-x-94 seeria kohtterminalid. [31]

Võrguhaldur Elering ei ole kõigi alajaama kaitsefunktsioonide jaoks aksepteerinud Toshiba ja Sprecheri kohtterminale [31]. Lisaks ei toeta käesoleva töö kirjutamise hetkel Toshiba ja Sprecheri tooted IEC 61850-9-2LE standardikohast andmevahetust ega HSR või PRP liiasusprotokolle [58, 59, 60, 61, 62]. Sellest tulenevalt ei ole võimalik Toshiba ja Sprecheri seadmeid kasutada käesolevas töös käsitletud kõrgepingealajaamade andmehõivesüsteemide loomisel.

Siemensi seadmeid on võimalik kasutada kõigi alajaama kaitse- ja sidefunktsioonide tagamiseks [31]. SIPROTEC 4 seeria kohtterminalide põhiomadused on suures osas sarnased ABB Relion tooteperekonna kohtterminalidega. SIPROTEC 4 seeria tooted toetavad nii HSR kui ka PRP liiasusprotokolle ning IRIG-B, SNTP ja PTP ajasüsteeme. Küll aga ei toeta SIPROTEC 4 seeria kohtterminalid IEC 61850-9-2LE standardikohast digitaalset protsessiini. Viimast toetavad SIPROTEC 5 tooteseeria kohtterminalid, kuid need ei ole käesoleva töö kirjutamise ajal elektrivõrgu süsteemioperaatori poolt aksepteeritavate seadmete nimistus. Lisaks vajavad SIPROTEC 5 seeria kohtterminalid IEC 61850-9-2LE sideprotokollipõhise andmeside toetamiseks täiendavat lisamoodulit (*extension module*) PB201. Antud lisamoodulil on kuus optilist sideporti, mis toetavad IEC 61850-9-2LE kohast andmevahetust ning HSR ja PRP liiasusprotokolle ning üks optiline väljund seadistamise jaoks. [31, 63, 64]

Samuti on Siemensi tootevalikus koondamisüksus 7SC805, millega on võimalik liita konventsionaalsed voolu- ja pingetraford. Kokku on antud seadmel neli voolu- ja neli pingesisendit ning 16 binaarsisendit ja 8 binaarväljundit. Ajasünkroniseerimiseks on võimalik kasutada PPS ja IRIG-B ajasüsteeme või GPS-põhist kella. Protsessiini andmevahetuseks on kasutada üks sideport. See tähendab, et protsessiini tasemel tõrkesiirdeta liiasusprotokolli rakendamiseks tuleb kasutada lisaseadmeid. [65]

Teatud juhtudel võib voolu ja pinge väärtuste digitaliseerimine sama seadmega osutada otstarbekaks. Samas võib mitmemähiseliste voolutrafoide kasutamise korral tekkida märkimisväärne pingsisendite ülejääk. See tähendab, et voolutrafo iga mähise jaoks on tarvis eraldiseisvat koondamisüksust, kuid samas pingsisendid kasutatakse ära vaid ühel koondamisüksusel.

Siemensi tootevalikus on olemas kõik vajalike võimekustega tooted digitaalse protsessiini teostamiseks, kuid tulenevalt sidealastest erinevustest ei ole käesolevas töös esitatud lahendused üks-üheselt ülekantavad Siemensi toodetel põhinevale andmehõivesüsteemile.

### **Majanduslik mõju**

Protsessiini digitaliseerimine võimaldab vähendada alajaama kogukulusid ligikaudu 5-10% võrra, mis on alajaamade ehitusmaksumuse juures märkimisväärne kokkuhoid. Kõrgepingelalajaama kogumaksumusest suurema osa moodustavad üldjuhul primaarseadmed ning üldehitustööd. Kui alajaama uuendustööde käigus vahetatakse välja ainult alajaama sekundaarosa, siis on võimalik protsessiini digitaliseerimisel põhineva andmehõivesüsteemi kasutamisel vähendada kulusid 30-40% võrra. Protsessiini minimeerimisel põhineva andmehõivesüsteemi kasutamine uue alajaama rajamisel võimaldab vähendada kogukulusid ligikaudu 7-15% võrra. Ainult sekundaarosa uuendamise projektide korral võimaldab antud lahenduse kasutamine hoida kokku ligikaudu 40-50% kuludest.

### **Käsitletud andmehõivesüsteemide rakendatavus**

Kahest käsitletud andmehõivesüsteemist on perspektiivsem protsessiini digitaliseerimine, kuid protsessiini minimeerimine võib teatud juhtudel pakkuda paremat hinna ja kvaliteedi suhet. Käesoleva lõputöö kirjutamise ajal töötavad mitmed suured energeetikaettevõtted välja digitaalsel protsessiiniil põhinevat digitaalse alajaama visiooni ning otsitakse võimalusi pilootprojektideks. Digitaalse protsessiini jaoks vajalike tehnoloogiate areng on olnud äärmiselt kiire ning turule tuuakse järjest enam uusi seadmeid, mis vastavad digitaalse protsessiini kriteeriumitele.

Hoolimata seadmete kiirest arengust on digitaalse protsessiini latusaks rakendamiseks vajalik tehnoloogia edasine areng. Turule toodavad koondamisüksused on spetsiaalset ettenähtud protsessiini jaoks ning need vastavad seetõttu kõigile esitatud kriteeriumitele. Lisaks funktsionaalsusele on oluline, et kõigil protsessiini seadmetel oleksid optilised väljundpordid ning HSR ja PRP liiasusprotokollide tugi. Samuti on ette näha, et protsessiini rakenduste jaoks on tulevikus vajalik ka informatsioon kellaaja kohta, mida hetkel kasutatav PPS ajasüsteem ei

võimalda. Seetõttu tuleks IEC 61850-9-2LE kohaselt aksepteerida ka teisi aja sünkroniseerimise standardeid, seal hulgas kohtvõrgul põhinevaid ajasüsteeme. Lisaks peaks kõigil protsessisiini seadmetel olema sisemiselt kaks toiteplokki, et välistada seadme toimimise lakkamine toiteploki rikke korral. Kahe toiteploki olemasolu ei ole kriitiline kui käsitletavate seadmete funktsioonid on kõrgemal tasemel dubleeritud. Näiteks ei ole kohtterminalidel kahe toiteploki vajadus nii oluline, kui kasutatakse eraldiseisvaid põhi- ja reservkaitsetermine. Protsessisiini rakendamise seisukohast on äärmiselt oluline alajaamakihi seadmete tehnoloogiline areng. See tähendab, et turule tuleb tuua elektrienergia arvesteid, häiremeerikuid, digitaalseid mõõtemuundureid ja teisi seadmeid, mis toetavad IEC 61850-9-2LE standardikohast infovahetust.

Käesolevas töös käsitletud uute andmehõivesüsteemide kasutuselevõtt Eestis seisneb peamiselt elektrivõrguoperaatori tahtest. Uute lahenduste kasutamise korral ei ole võimalik täita mitmeid erinevaid võrguoperaatori tehnilisi nõudeid puhtalt seetõttu, et antud nõuded ei ole kohaldatavad uutele süsteemidele. See tähendab, et tehnilised nõuded välistavad sisuliselt uute andmehõivesüsteemide rakendamisel põhinevad pakkumised. Lisaks kaasneb antud töös käsitletud lahenduste kasutuselevõtmisega vajadus hooldus- ja käidupersonali täiendõppe järele. Suurimaks muutuseks käidukorralduses on multimeetri asendumine arvutitarkvaraga. Samuti tuleb üle vaadata kehtivad hooldus- ja käidutööde juhendid.

### **Soovitused edasiseks uurimiseks**

Edasise uurimise ühe võimalusena näeb autor digitaalsete väljunditega primaarseadmete arengu kaardistamist. Viimaste kasutamisel edastatakse kogu primaarseadmeid puudutav informatsioon kohtterminalidele vahetult digitaalsel kujul, mis läbi puuduks vajadus sekundaarkaabelduse jaoks primaarseadmete ja lahtri klemmkappide vahel. Teiseks võimalikuks uurimissuunaks on digitaalse protsessisiini kasutamine koos mittekonventsionaalsete mõõtemuunduritega. Kolmandaks ning autori hinnangul kõige olulisemaks edasiseks arendustegevuseks on digitaalsel protsessisiinil põhineva pilootprojekti teostamine.

## Kirjandus

1. What is telematics? [WWW] <http://searchnetworking.techtarget.com/definition/telematics> (24.01.2015).
2. Meldorf, M., Tikk, T., Kilter, J. Elektrivõrgu operatiivjuhtimissüsteem. Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus, Tallinn, 2010, 352.
3. Eesti substation II NG RTU scope of supply in approximated mode for estimating : hankedokument. Elering AS, Tallinn, 2014.
4. Relion protection and control from ABB [WWW] <http://www.abb.com/product/us/9AAF401100.aspx?country=00> (24.01.2015).
5. Relion protection and control. Improved network reliability. [WWW] [http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/3bce3e79c8d91c84c1257d4100225a0e/\\$file/Relion\\_broch\\_758171\\_LRENa.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/3bce3e79c8d91c84c1257d4100225a0e/$file/Relion_broch_758171_LRENa.pdf) (24.01.2015).
6. RTU500 series for your reliable network [WWW] [http://www05.abb.com/global/scot/scot258.nsf/veritydisplay/8ad34fb5468e9627c1257c9f004d29c7/\\$file/EN-2014-03-18-RTU500-series-solutions-overview-online.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot258.nsf/veritydisplay/8ad34fb5468e9627c1257c9f004d29c7/$file/EN-2014-03-18-RTU500-series-solutions-overview-online.pdf) (30.01.2015).
7. RTU cyber security. Secure your RTU against attacks [WWW] [http://www05.abb.com/global/scot/scot258.nsf/veritydisplay/95b93a92127b7641c12577c700477abc/\\$file/RTU500-series-cyber-security.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot258.nsf/veritydisplay/95b93a92127b7641c12577c700477abc/$file/RTU500-series-cyber-security.pdf) (30.01.2015).
8. RTU511 product line. Cost beneficial products for large projects and feeder automation [WWW] [http://www05.abb.com/global/scot/scot258.nsf/veritydisplay/9c30bb8aced8b4f3c1257b21004ca476/\\$file/RTU511-product-line\\_print\\_EN.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot258.nsf/veritydisplay/9c30bb8aced8b4f3c1257b21004ca476/$file/RTU511-product-line_print_EN.pdf) (30.01.2015).
9. RTU520 product line. Modular and compact solution adjustable to the needs of feeder and process automation [WWW] [http://www05.abb.com/global/scot/scot258.nsf/veritydisplay/99c93b9ca5980d55c1257c9f00505a05/\\$file/EN-2014-03-17-RTU520-product-line-online.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot258.nsf/veritydisplay/99c93b9ca5980d55c1257c9f00505a05/$file/EN-2014-03-17-RTU520-product-line-online.pdf) (30.01.2015).
10. RTU540 product line. Smart solutions for distribution automation [WWW] [http://www05.abb.com/global/scot/scot258.nsf/veritydisplay/cef1c646a7b9fe62c1257b1d002cecff/\\$file/2013-03-06-540-product-line\\_flyer.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot258.nsf/veritydisplay/cef1c646a7b9fe62c1257b1d002cecff/$file/2013-03-06-540-product-line_flyer.pdf) (30.01.2015).
11. RTU560 product line. Reliable solutions for transmission and sub-transmission [WWW] [http://www05.abb.com/global/scot/scot258.nsf/veritydisplay/b9ede8641147035cc1257b26004042d1/\\$file/2013-03-06-RTU560-product-line.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot258.nsf/veritydisplay/b9ede8641147035cc1257b26004042d1/$file/2013-03-06-RTU560-product-line.pdf) (30.01.2015).

12. MicroSCADA Pro SYS 600C. The compact system [WWW] [http://www05.abb.com/global/scot/scot296.nsf/veritydisplay/c789042c7dd8248cc1257aef00553c6a/\\$file/1MRS756833\\_D\\_en\\_MicroSCADA\\_Pro\\_SYS\\_600C\\_-\\_The\\_compact\\_system.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot296.nsf/veritydisplay/c789042c7dd8248cc1257aef00553c6a/$file/1MRS756833_D_en_MicroSCADA_Pro_SYS_600C_-_The_compact_system.pdf) (30.01.2015).
13. De Dominicis, C. M., Ferrari, P., Flammini, A., Rinaldi, S. On the use of IEEE1588 in Existing IEC61850 based SASs: Current Behavior and Future Challenges – Applied Measurements for Power Systems (AMPS) : Special Issue, 2010, 1-20, Aachen, Germany.
14. Communication networks and systems for power utility automation. Part 1, Introduction and overview : IEC 61850. Šveits : The International Electrotechnical Commission, 2013.
15. Modbus Application Protocol Specification V1.1b3 [WWW] [http://www.modbus.org/docs/Modbus\\_Application\\_Protocol\\_V1\\_1b3.pdf](http://www.modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b3.pdf) (30.01.2015).
16. SPA-Bus : Communication Protocol V2.5. Technical description [WWW] [http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/811733b652456305c2256db40046851e/\\$file/SPAcommprot\\_EN\\_C.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/811733b652456305c2256db40046851e/$file/SPAcommprot_EN_C.pdf) (22.02.2015).
17. PROFIBUS Manual [WWW] <http://profibus.felser.ch/en/> (22.02.2015).
18. Technical specification : 501 Requirements for control and monitoring. Elering AS, Tallinn, 2010.
19. Technical specification : 502 Requirements for telecommunication systems. Elering AS, Tallinn, 2014.
20. Ditzel, G., A. III. High Availability using PRP with EtherNet/IP Systems. Enhancing Automation and Internet Connectivity : Industrial Ethernet Book, 2014, (85), 40-42
21. Communication networks and systems for power utility automation. Part 5, Communication requirements for functions and device models : IEC 61850. Šveits : The International Electrotechnical Commission, 2013.
22. Johnson, G. Redundancy in industrial networks – Part 1 [WWW] [http://www.processonline.com.au/articles/51356-Redundancy-in-industrial-networks-Part-1-?topic\\_id=1129](http://www.processonline.com.au/articles/51356-Redundancy-in-industrial-networks-Part-1-?topic_id=1129) (02.02.2015).
23. eRSTP - enhanced Rapid Spanning Tree Protocol 4 : Industrial Communication – Siemens [WWW] [http://w3.siemens.com/mcms/industrial-communication/en/rugged-communication/technology-highlights/erstp-enhance-rapid-spanning-tree-protocol/Pages/Default.aspx#Evolution\\_20of\\_20eRSTP](http://w3.siemens.com/mcms/industrial-communication/en/rugged-communication/technology-highlights/erstp-enhance-rapid-spanning-tree-protocol/Pages/Default.aspx#Evolution_20of_20eRSTP) (08.02.2015).
24. Johnson, G. Redundancy in industrial networks – Part 2 [WWW] [http://www.processonline.com.au/articles/52017-Redundancy-in-industrial-networks-Part-2?topic\\_id=1129](http://www.processonline.com.au/articles/52017-Redundancy-in-industrial-networks-Part-2?topic_id=1129) (02.02.2015).
25. Wieserner, G. Availability in communication networks for station automation : Industrial



- Ethernet Book, 2014. (83), 22, 31-33.
26. Dreher, A. Redundancy for industrial communication networks. Enhancing Automation and Internet Connectivity : Industrial Ethernet Book, 2011, (65), 29-31.
  27. Ingram, D., Smellie, B. Solving Electrical Substation Timing Problems : A white paper on the use of the Precision Time Protocol for substation protection and control systems. [WWW] [http://www.tekron.com/sites/default/files/tekron\\_whitepaper\\_solving\\_electrical\\_substation\\_timing\\_problems.pdf](http://www.tekron.com/sites/default/files/tekron_whitepaper_solving_electrical_substation_timing_problems.pdf) (15.02.2015).
  28. IRIG Serail Time Code Formats : IRIG STANDARD 200-04. New Mexico : Timing Committee Telecommunications and Timing Group Range Commander Council, 2004
  29. Simple Network Time Protocol (SNTP) Version 4 for Ipv4, Ipv6 and OSI : RFC 2030. Newark, Delaware, USA : IETF, 1996.
  30. Chen, J., Wang, H., HU, C., Ma, K., Cai, Z. Modeling of IEEE1588 on OPNET and Analysis of Assymmetric Synchronizing Error in Smart Substation – *Energy and Power Engineering*, 2013, 5, 540-545. [Online] Web of Science (16.02.2015).
  31. 402 General requirements for relay protection and system automation. Elering AS, Tallinn, 2014.
  32. 501 Requirements for control and monitoring. Elering AS, Tallinn, 2010.
  33. 502 Requirements for telecommunication systems. Elering AS, Tallinn, 2014.
  34. 602 Requirements for secondary components and connections. Elering AS, Tallinn, 2014.
  35. 401 Requirements for relay protection and system automation. Elering AS, Tallinn, 2014.
  36. Mets, I. Measurement and Data Communication Technology for the Implementation in Estonian Transmission Network. Tallinn : Tallinna Tehnikäülikooli Kirjastus, 2013.
  37. Communication networks and systems in substations. Part 9-2, Specific Communication Service Mapping (SCSM) – Sampled values over ISO/IEC 8802-3 : IEC 61850. Šveits : The International Electrotechnical Commission, 2004.
  38. Implemetation Guidelines for Digital Interface to Instrument Transformers using IEC 61850-9-2 : UCA International Users Group, USA, 2004.
  39. Realizing the digital substation : Introduction to the process bus IEC 61850-9-2. Veebiseminar. 2013.
  40. Werner, T. Digital Substations – Energizing the digital grid | ABB : Video. [WWW] <http://new.abb.com/network-management/energizingthedigitalgrid> (14.03.2015).
  41. We are energizing the digital grid : I am SAM600 process bus IO system [WWW] <http://new.abb.com/docs/librariesprovider101/default-document-library/sam600.pdf?sfvrsn=2> (14.03.15).

42. Remote I/O RIO600 : Product Guide [WWW] [http://www08.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/661e7eebdd20c38fc1257d6b002b87fb/\\$file/RIO600\\_pg\\_757487\\_ENd.pdf](http://www08.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/661e7eebdd20c38fc1257d6b002b87fb/$file/RIO600_pg_757487_ENd.pdf) (14.03.2015).
43. Mölder, H., Järvik, J. Mittetavapärased mõõtemuundurid (NCIT) ning tehnilised tingimused nende rakendamiseks Eesti elektrivõrguettevõtetes : aruanne. Tallinn, Tallinna Tehnikaülikool, Elektrotehnika instituut, 2012.
44. Bay control REC670 2.0. Product Guide. [WWW] [http://www08.abb.com/global/scot/scot301.nsf/veritydisplay/73c46d5913b96a80c1257d8e00317f51/\\$file/1MRK511313-BEN\\_A\\_en\\_Product\\_Guide\\_Bay\\_control\\_REC670\\_2.0.pdf](http://www08.abb.com/global/scot/scot301.nsf/veritydisplay/73c46d5913b96a80c1257d8e00317f51/$file/1MRK511313-BEN_A_en_Product_Guide_Bay_control_REC670_2.0.pdf) (23.03.2015).
45. 602 Requirements for secondary components and connections. Elering AS, Tallinn, 2014
46. Risthein, E. Elektrivarustuspaigaldiste aparatuur ja juhtimine : Loengumaterjal. Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, 2007.
47. Relion Protection and Control. 630 series Technical Manual : Tootekataloog [WWW] [http://www08.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/aa3e3a40dc887dcdc1257dc7004c453f/\\$file/RE\\_630\\_tech\\_756508\\_ENe.pdf](http://www08.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/aa3e3a40dc887dcdc1257dc7004c453f/$file/RE_630_tech_756508_ENe.pdf) (15.03.2015).
48. LANTIME M400 : Rail Mount NTP Time Server with Meinberg reference receiver [WWW] [https://www.meinbergglobal.com/download/docs/shortinfo/english/info\\_lantime-m400.pdf](https://www.meinbergglobal.com/download/docs/shortinfo/english/info_lantime-m400.pdf) (30.03.2015).
49. Siemens SCALANCE X204RNA EEC : Data sheet 6GK5204-0BS00-3PA3. [WWW] [https://mall.industry.siemens.com/tedservices/DatasheetService/DatasheetService?control=%3C%3Fxml+version%3D%221.0%22+encoding%3D%22UTF-8%22%3F%3E%3Cpdf\\_generator\\_control%3E%3Cmode%3EPDF%3C%2Fmode%3E%3Cpdmssystem%3EPMD%3C%2Fpdmssystem%3E%3Ctemplate\\_selection+mlfb%3D%226GK5204-0BS00-3PA3%22+system%3D%22PRODIS%22%2F%3E%3Clanguage%3Een%3C%2Flanguage%3E%3Ccaller%3EMall%3C%2Fcaller%3E%3C%2Fpdf\\_generator\\_control%3E](https://mall.industry.siemens.com/tedservices/DatasheetService/DatasheetService?control=%3C%3Fxml+version%3D%221.0%22+encoding%3D%22UTF-8%22%3F%3E%3Cpdf_generator_control%3E%3Cmode%3EPDF%3C%2Fmode%3E%3Cpdmssystem%3EPMD%3C%2Fpdmssystem%3E%3Ctemplate_selection+mlfb%3D%226GK5204-0BS00-3PA3%22+system%3D%22PRODIS%22%2F%3E%3Clanguage%3Een%3C%2Flanguage%3E%3Ccaller%3EMall%3C%2Fcaller%3E%3C%2Fpdf_generator_control%3E) (30.03.2015)
50. Substation Automation Product. MicroSCADA Pro for substation automation. [WWW] [http://www08.abb.com/global/scot/scot387.nsf/veritydisplay/c1dbcf53628c6951c1257cf90033e455/\\$file/1MRS756064\\_E\\_en\\_MicroSCADA\\_Pro\\_for\\_substation\\_automation.pdf](http://www08.abb.com/global/scot/scot387.nsf/veritydisplay/c1dbcf53628c6951c1257cf90033e455/$file/1MRS756064_E_en_MicroSCADA_Pro_for_substation_automation.pdf) (26.03.2015).
51. RTU500 series : Integrated Human Machine Interface. [WWW] [http://www08.abb.com/global/scot/scot258.nsf/veritydisplay/b039c260287aaf23c12577e5003a00b6/\\$file/EN\\_2013-01-23-RTU500\\_series\\_HMI.pdf](http://www08.abb.com/global/scot/scot258.nsf/veritydisplay/b039c260287aaf23c12577e5003a00b6/$file/EN_2013-01-23-RTU500_series_HMI.pdf) (26.03.2015).

52. Moxa : 19 inch ECDIS color calibrated and fanless panel computers [WWW] <http://www.moxa.com/product/MPC-2190-Marine-Panel-PC-Series.htm> (26.03.2015).
53. RTU560 product line. HMI unit 560HMR01 : Data sheet [WWW] [http://www08.abb.com/global/scot/scot258.nsf/veritydisplay/e9f62ff470544480c1257d5c004f3510/\\$file/560HMR01\\_DS\\_en.pdf](http://www08.abb.com/global/scot/scot258.nsf/veritydisplay/e9f62ff470544480c1257d5c004f3510/$file/560HMR01_DS_en.pdf) (26.03.2015).
54. 220 Hooned. Elering AS, Tallinn, 2013.
55. 021 Ehitustööde hanke maht : Eesti Elektri jaama 330kV AJ renoveerimine. II etapp. Elering AS, Tallinn, 2011.
56. 135 Varustus. Elering AS, Tallinn, 2011.
57. 210. Territoorium. Elering AS, Tallinn 2012
58. Toshiba GR-200 Series. GRT 200 Transformer Protection IED [WWW] [http://www.toshiba-tds.com/tandd/pdf/pcsystems/Brochure/GRT200\\_brochure\\_13012-1.00.pdf](http://www.toshiba-tds.com/tandd/pdf/pcsystems/Brochure/GRT200_brochure_13012-1.00.pdf) (20.04.2015)
59. Toshiba GR-200 Series. GRL 200 Line Differential Protection IED [WWW] [http://www.toshiba-tds.com/tandd/pdf/pcsystems/Brochure/GRL200\\_brochure\\_12033-1.00.pdf](http://www.toshiba-tds.com/tandd/pdf/pcsystems/Brochure/GRL200_brochure_12033-1.00.pdf) (20.04.2015)
60. Toshiba GR-200 Series. GRZ 200 Distance Protection IED [WWW] [http://www.toshiba-tds.com/tandd/pdf/pcsystems/Brochure/GRZ200\\_brochure\\_12032-1.00.pdf](http://www.toshiba-tds.com/tandd/pdf/pcsystems/Brochure/GRZ200_brochure_12032-1.00.pdf) (20.04.2015)
61. Toshiba GR-200 Series. GBU 200 Bay Control IED [WWW] [http://www.toshiba-tds.com/tandd/pdf/pcsystems/Brochure/GBU200\\_brochure\\_12034-1.00.pdf](http://www.toshiba-tds.com/tandd/pdf/pcsystems/Brochure/GBU200_brochure_12034-1.00.pdf) (20.04.2015)
62. SPRECON-E-P-DS..6. Overcurrent Time Protection, Protection- and combined Protection and Control Devices DS6 – DSE6 – DSR6 – DSRE6 – DSREY6 : Technical Brochure [WWW] [http://sebekeanalizoru.com/dosyalar/site\\_resim/urunler/urundosya/0334024.pdf](http://sebekeanalizoru.com/dosyalar/site_resim/urunler/urundosya/0334024.pdf) (20.04.2015)
63. Siemens protection devices. Selection Guide for SIPROTEC and Reyrolle. Edition 4 [WWW] [http://www.downloads.siemens.com/download-center/Download.aspx?pos=download&fct=getasset&mandator=ic\\_sg&id1=DLA09\\_621](http://www.downloads.siemens.com/download-center/Download.aspx?pos=download&fct=getasset&mandator=ic_sg&id1=DLA09_621) (20.04.2015)
64. Siemens SIPROTEC 5. Hardware Description. V6.00 and higher : Manual [WWW] [http://www.downloads.siemens.com/download-center/Download.aspx?pos=download&fct=getasset&mandator=ic\\_sg&id1=DLA07\\_1687](http://www.downloads.siemens.com/download-center/Download.aspx?pos=download&fct=getasset&mandator=ic_sg&id1=DLA07_1687) (20.04.2015)
65. Siemens SIPROTEC. Merging Unit 7SC805. V4.50 : Manual [WWW] [http://www.downloads.siemens.com/download-center/Download.aspx?pos=download&fct=getasset&mandator=ic\\_sg&id1=DLA11\\_1286](http://www.downloads.siemens.com/download-center/Download.aspx?pos=download&fct=getasset&mandator=ic_sg&id1=DLA11_1286) (20.04.2015)

## Lisad

### L.1. Klemmkapi sisetemperatuuri arvutamine protsessisiini digitaliseerimise korral

L.1.1. Klemmkapi sisetemperatuur +40°C välistemperatuuri korral

L.1.2. Klemmkapi sisetemperatuur -40°C välistemperatuuri korral

L.1.3. Täiendava küttelemendi vajaduse tekkimine

L.1.4. Klemmkapi sisetemperatuur -40°C välistemperatuuri korral koos täiendava küttelemendiga

### L.2. Klemmkapi sisetemperatuuri arvutamine protsessisiini minimeerimise korral

L.2.1. Klemmkapi sisetemperatuur +40°C välistemperatuuri korral

L.2.2. Klemmkapi sisetemperatuur -40°C välistemperatuuri korral

L.2.3. Täiendava küttelemendi vajaduse tekkimine

L.2.4. Klemmkapi sisetemperatuur -40°C välistemperatuuri korral koos täiendava küttelemendiga

# L.1. Klemmkapi sisetemperatuuri arvutamine protsessiini digitaliseerimise korral

## L.1.1. Klemmkapi sisetemperatuur +40°C välistemperatuuri korral

Customer -	Plant -
Project Masterthesis	Switchboard Outdoor link box

### Temperature-rise assessment

Computation algorithms described in Standard IEC 60890

Switchboard			
Family Type			
Dimensions [mm]	Height 1240	Width 1400	Depth 354
IP			
Ventilation grid's area [m <sup>2</sup> ]	1		
Number of horizontal frames	0		
Installation type	Separate enclosure, detached on all sides		

Effective cooling area (Ae)

	k	Ao [m <sup>2</sup> ]	b' factor	Ao x b [m <sup>2</sup> ]		
Top surface	Exposed	0,50	1,40	0,69		
Front surface	Exposed	1,74	0,90	1,56		
Back surface	Exposed	1,74	0,90	1,56		
Left side	Exposed	0,44	0,90	0,40		
Right side	Exposed	0,44	0,90	0,40		
Ae total				4,61		
IEC 60890 factors	f 2,698	k 0,229	d 1,000	x 0,715	g 0,886	c 1,270

Total power losses

Devices rated power losses	100,0 [W]	
Demand factor	1,00	
Devices power losses	100,0 [W]	
Conductors power losses	0,0 [W]	
Extra power losses	0,0 [W]	
Total power losses	100,0 [W]	Max power losses admitted [W]
		Losable power [W]

Temperature-rise assessment

Ambient temperature	40,0 [°C]	
Delta t(0.5 H)	6,2 [K]	
t(0.5 H)	46,2 [°C]	
Delta t(1.0 H)	7,8 [K]	
t(1.0 H)	47,8 [°C]	
Designer Meelis Melder	Date 15.03.2015	<b>ABB</b>

## L.1.2. Klemmkapi sisetemperatuur -40°C välistemperatuuri korral

Customer -	Plant -
Project Masterthesis	Switchboard Outdoor linkbox

### Temperature-rise assessment

Computation algorithms described in Standard IEC 60890

Switchboard			
Family Type			
Dimensions [mm]	Height 1240	Width 1400	Depth 354
IP			
Ventilation grid's area [cm <sup>2</sup> ]	1		
Number of horizontal frames	0		
Installation type	Separate enclosure, detached on all sides		

Effective cooling area (Ae)

	k	Ao [m <sup>2</sup> ]	b' factor	Ao x b [m <sup>2</sup> ]		
Top surface	Exposed	0,30	1,40	0,89		
Front surface	Exposed	1,74	0,90	1,56		
Back surface	Exposed	1,74	0,90	1,56		
Left side	Exposed	0,44	0,90	0,40		
Right side	Exposed	0,44	0,90	0,40		
Ae total				4,61		
IEC 60890 factors	f 2,898	k 0,229	d 1,000	x 0,715	g 0,886	c 1,270

Total power losses

Devices rated power losses	150,0 [W]	
Demand factor	1,00	
Devices power losses	150,0 [W]	
Conductors power losses	0,0 [W]	
Extra power losses	0,0 [W]	
Total power losses	150,0 [W]	Max power losses admitted [W]
		Losable power [W]

Temperature-rise assessment

Ambient temperature	-40,0 [°C]	
Delta t(0.5 H)	8,2 [K]	
t(0.5 H)	-31,8 [°C]	
Delta t(1.0 H)	10,5 [K]	
t(1.0 H)	-29,5 [°C]	
Designer Meelis Melder	Date 15.03.2015	

### L.1.3. Vajadus täiendava kütteelemendi järele

Customer -	Plant -
Project Masterthesis	Switchboard Outdoor link box

#### Temperature-rise assessment

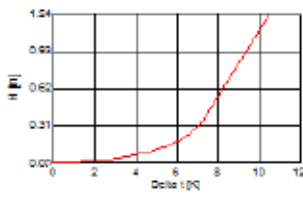
Computation algorithms described in Standard IEC 60890

Switchboard			
Family Type			
Dimensions [mm]	Height 1240	Width 1400	Depth 354
IP			
Ventilation grid's area [cm <sup>2</sup> ]	1		
Number of horizontal frames	0		
Installation type	Separate enclosure, detached on all sides		

Effective cooling area (Ae)

	k	Ao [m <sup>2</sup> ]	b' factor	Ao x b [m <sup>2</sup> ]		
Top surface	Exposed	0,50	1,40	0,69		
Front surface	Exposed	1,74	0,90	1,56		
Back surface	Exposed	1,74	0,90	1,56		
Left side	Exposed	0,44	0,90	0,40		
Right side	Exposed	0,44	0,90	0,40		
Ae total				4,61		
IEC 60890 factors	f 2,698	k 0,229	d 1,000	x 0,715	g 0,896	c 1,270

Total power losses

Devices rated power losses	150,0 [W]	
Demand factor	1,00	
Devices power losses	150,0 [W]	
Conductors power losses	0,0 [W]	
Extra power losses	0,0 [W]	
Total power losses	150,0 [W]	Max power losses admitted [W]
		Losable power [W]

Temperature-rise assessment

Ambient temperature	-35,5 [°C]	
Delta t(0.5 H)	8,2 [K]	
t(0.5 H)	-27,3 [°C]	
Delta t(1.0 H)	10,5 [K]	
t(1.0 H)	-25,0 [°C]	
Designer Meelis Melder	Date 15.03.2015	<b>ABB</b>

## L.1.4. Klemmkapi sisetemperatuur -40°C välistemperatuuri korral koos täiendava küttelemendiga

Customer -	Plant -
Project Masterthesis	Switchboard Outdoor link box

### Temperature-rise assessment

Computation algorithms described in Standard IEC 60890

Switchboard			
Family Type			
Dimensions [mm]	Height 1240	Width 1400	Depth 354
IP			
Ventilation grid's area [cm <sup>2</sup> ]	1		
Number of horizontal frames	0		
Installation type	Separate enclosure, detached on all sides		

Effective cooling area (Ae)

	k	Ao [m <sup>2</sup> ]	b' factor	Ao x b' [m <sup>2</sup> ]		
Top surface	Exposed	0,50	1,40	0,69		
Front surface	Exposed	1,74	0,90	1,56		
Back surface	Exposed	1,74	0,90	1,56		
Left side	Exposed	0,44	0,90	0,40		
Right side	Exposed	0,44	0,90	0,40		
Ae total				4,61		
IEC 60890 factors	f 2,698	k 0,229	d 1,000	x 0,715	g 0,886	c 1,270

Total power losses

Devices rated power losses	250,0 [W]	
Demand factor	1,00	
Devices power losses	250,0 [W]	
Conductors power losses	0,0 [W]	
Extra power losses	0,0 [W]	
Total power losses	250,0 [W]	Max power losses admitted [W]
		Losable power [W]

Temperature-rise assessment

Ambient temperature	-40,0 [°C]	
Delta t(0.5 H)	11,9 [K]	
t(0.5 H)	-28,1 [°C]	
Delta t(1.0 H)	15,1 [K]	
t(1.0 H)	-24,9 [°C]	
Designer Meelis Melder	Date 15.03.2015	



## L.2. Klemmkapi sisetemperatuuri arvutamine protsessiini minimeerimise korral

### L.2.1. Klemmkapi sisetemperatuur +40°C välistemperatuuri korral

Customer -	Plant -
Project Masterthesis	Switchboard Outdoor link box

#### Temperature-rise assessment

Computation algorithms described in Standard IEC 60890

Switchboard			
Family Type			
Dimensions [mm]	Height 1240	Width 1400	Depth 354
IP			
Ventilation grid's area [cm <sup>2</sup> ]	1		
Number of horizontal frames	0		
Installation type	Separate enclosure, detached on all sides		

#### Effective cooling area (Ae)

	k	Ao [m <sup>2</sup> ]	b' factor	Ao x b' [m <sup>2</sup> ]		
Top surface	Exposed	0,50	1,40	0,69		
Front surface	Exposed	1,74	0,90	1,56		
Back surface	Exposed	1,74	0,90	1,56		
Left side	Exposed	0,44	0,90	0,40		
Right side	Exposed	0,44	0,90	0,40		
Ae total				4,61		
IEC 60890 factors	f 2,698	k 0,229	d 1,000	x 0,715	g 0,896	c 1,270

#### Total power losses

Devices rated power losses	110,0 [W]	
Demand factor	1,00	
Devices power losses	110,0 [W]	
Conductors power losses	0,0 [W]	
Extra power losses	0,0 [W]	
Total power losses	110,0 [W]	Max power losses admitted [W]
		Losable power [W]

#### Temperature-rise assessment

Ambient temperature	40,0 [°C]	
Delta t(0.5 H)	6,6 [K]	
t(0.5 H)	46,6 [°C]	
Delta t(1.0 H)	8,4 [K]	
t(1.0 H)	48,4 [°C]	
Designer Meelis Melder	Date 15.03.2015	<b>ABB</b>

## L.2.2. Klemmkapi sisetemperatuur -40°C välistemperatuuri korral

Customer -	Plant -
Project Masterthesis	Switchboard Outdoorlinkbox

### Temperature-rise assessment

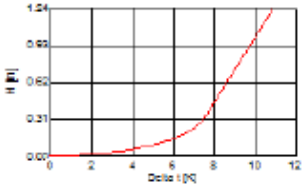
Computation algorithms described in Standard IEC 60890

Switchboard			
Family Type			
Dimensions [mm]	Height 1240	Width 1400	Depth 354
IP			
Ventilation grid's area [cm <sup>2</sup> ]	1		
Number of horizontal frames	0		
Installation type	Separate enclosure, detached on all sides		


Effective cooling area (Ae)

	k	Ao [m <sup>2</sup> ]	b' factor	Ao x b [m <sup>2</sup> ]		
Top surface	Exposed	0,50	1,40	0,69		
Front surface	Exposed	1,74	0,90	1,56		
Back surface	Exposed	1,74	0,90	1,56		
Left side	Exposed	0,44	0,90	0,40		
Right side	Exposed	0,44	0,90	0,40		
Ae total				4,61		
IEC 60890 factors	f 2,698	k 0,229	d 1,000	x 0,715	g 0,886	c 1,270

Total power losses

Devices rated power losses	160,0 [W]	
Demand factor	1,00	
Devices power losses	160,0 [W]	
Conductors power losses	0,0 [W]	
Extra power losses	0,0 [W]	
Total power losses	160,0 [W]	Max power losses admitted [W]
		Losable power [W]

Temperature-rise assessment

Ambient temperature	-40,0 [°C]	
Delta t(0.5 H)	8,6 [K]	
t(0.5 H)	-31,4 [°C]	
Delta t(1.0 H)	10,9 [K]	
t(1.0 H)	-29,1 [°C]	
Designer Meelis Melder	Date 15.03.2015	

### L.2.3. Vajadus täiendava kütteelemendi järele

Customer -	Plant -
Project Masterthesis	Switchboard Outdoor link box

#### Temperature-rise assessment

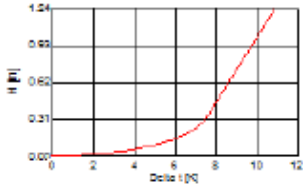
Computation algorithms described in Standard IEC 60890

Switchboard			
Family Type			
Dimensions [mm]	Height 1240	Width 1400	Depth 354
IP			
Ventilation grid's area [cm <sup>2</sup> ]	1		
Number of horizontal frames	0		
Installation type	Separate enclosure, detached on all sides		


Effective cooling area (Ae)

	k	Ao [m <sup>2</sup> ]	b' factor	Ao x b [m <sup>2</sup> ]		
Top surface	Exposed	0,50	1,40	0,69		
Front surface	Exposed	1,74	0,90	1,56		
Back surface	Exposed	1,74	0,90	1,56		
Left side	Exposed	0,44	0,90	0,40		
Right side	Exposed	0,44	0,90	0,40		
Ae total				4,61		
IEC 60890 factors	f 2,698	k 0,229	d 1,000	x 0,715	g 0,886	c 1,270

Total power losses

Devices rated power losses	160,0 [W]	
Demand factor	1,00	
Devices power losses	160,0 [W]	
Conductors power losses	0,0 [W]	
Extra power losses	0,0 [W]	
Total power losses	160,0 [W]	Max power losses admitted [W]
		Losable power [W]

Temperature-rise assessment

Ambient temperature	-20,9 [°C]	
Delta t(0.5 H)	8,6 [K]	
t(0.5 H)	-12,3 [°C]	
Delta t(1.0 H)	10,9 [K]	
t(1.0 H)	-10,0 [°C]	
Designer Meelis Melder	Date 15.03.2015	

## L.2.4. Klemmkapi sisetemperatuur -40°C välistemperatuuri korral koos täiendava küttelemendiga

Customer -	Plant -
Project Masterthesis	Switchboard Outdoor linkbox

### Temperature-rise assessment

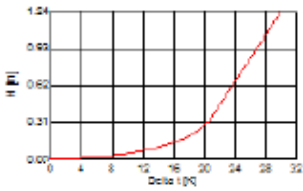
Computation algorithms described in Standard IEC 60890

Switchboard			
Family Type			
Dimensions [mm]	Height 1240	Width 1400	Depth 354
IP			
Ventilation grid's area [cm <sup>2</sup> ]	1		
Number of horizontal frames	0		
Installation type	Separate enclosure, detached on all sides		


Effective cooling area (Ae)

	k	Ao [m <sup>2</sup> ]	b' factor	Ao x b [m <sup>2</sup> ]		
Top surface	Exposed	0,50	1,40	0,69		
Front surface	Exposed	1,74	0,90	1,56		
Back surface	Exposed	1,74	0,90	1,56		
Left side	Exposed	0,44	0,90	0,40		
Right side	Exposed	0,44	0,90	0,40		
Ae total				4,61		
IEC 60890 factors	f 2,698	k 0,229	d 1,000	x 0,715	g 0,886	c 1,270

Total power losses

Devices rated power losses	655,0 [W]	
Demand factor	1,00	
Devices power losses	655,0 [W]	
Conductors power losses	0,0 [W]	
Extra power losses	0,0 [W]	
Total power losses	655,0 [W]	Max power losses admitted [W]
		Losable power [W]

Temperature-rise assessment

Ambient temperature	-40,0 [°C]	
Delta t(0.5 H)	23,6 [K]	
t(0.5 H)	-16,4 [°C]	
Delta t(1.0 H)	30,0 [K]	
t(1.0 H)	-10,0 [°C]	
Designer Meelis Melder	Date 15.03.2015	