

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
Elektrotehnika instituut

ATR70LT

Andres Kõiva

# **Elektrialajaama ja jaotusvõrgu vaheline andmeside**

Magistritöö

Instituudi direktor ..... prof. Tõnu Lehtla

Juhendaja ..... dots. Elmo Pettai

Lõpetaja ..... Andres Kõiva

Tallinn 2014

## **AUTORIDEKLARATSIOON**

Kinnitan, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus. Kõik selle koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud. Varem ei ole selle alusel kutse- ega teaduskraadi ega inseneridiplomit taotletud. Töö on koostatud litsenseeritud tarkvara abil.

Tallinn, 30.05.2014.a.

..... Andres Kõiva

ATR70LT

## **Elektrialajaama ja jaotusvõrgu vaheline andmeside**

**Andres Kõiva**, üliõpilaskood 121834 AAAM, mai 2014.

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

Energeetikateaduskond

Elektrotehnika instituut, elektriagamite ja elektrivarustuse õppetool

Töö juhendaja: dotsent Elmo Pettai

**Võtmesõnad:** kaugjuhtimine, alajaam, jaotusvõrk, kaugterminal, automatiseerimine, IEC 61850, IEC 60870-5-104, Modbus

### **Referaat:**

Lõputöö eesmärgiks on kirjeldada Elektrilevi OÜ-le valmistatavaid nüüdisaegseid kaugjuhitavaid alajaamu ning anda ülevaade nende tehniliste võimaluste kohta tarkvõrgu rakendustes.

Kirjeldatakse alajaamade automatiseerimise kasulikkust tuleviku elektrivõrkudes varustuskindluse tagamiseks ja töö efektiivsuse tõstmiseks. Põhjalikult on kirjeldatud Elektrilevi OÜ nõudeid kaugjuhitavatele alajaamadele.

Seletuskiri sisaldab Elektrilevi nõudeid alajaamade automaatikale, alajaamade skeeme, kasutatavate seadmete kirjeldusi, vastavate standardite ja protokollide kirjeldusi.

Üksikasjalikult kirjeldatakse Harju Elekter Elektrotehnika AS poolt Elektrilevi OÜ-le valmistatavate kaugjuhitavate alajaamade kaugjuhtimist.

Praktilise kogemuse saamiseks kaugjuhtimissüsteemide arendamisest sai TTÜ mikrovõrgus loodud andmesidelahendus fiidrikontrolleri SATEC SA320, kaugjuhtimiseks kasutatava kontrolleri RTU32 ning personaalarvuti vahel.

Mikrovõrgu siseselt toimiv andmesidelahendus ja operaatori jaoks loodud visuaalne rakendus personaalarvutis võimaldavad monitoorida ja juhtida vahelduvvoolukilbi kontaktori olekut.

Koostatud on praktiline kasutajajuhend andmeside loomiseks RTU32 seadme ja personaalarvuti vahel. Samuti sisaldab töö olulist infot SCADA süsteemi turvalisuse tagamiseks.

ATR70LT

**Передача данных между подстанцией и распределительной сетью**

**Andres Kõiva**, студенческий код 121834 AAAM, май 2014.

ТАЛЛИНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Факультет энергетики

Институт электротехники, специализация электропривод и электроснабжение

Руководитель работы: доцент Elmo Pettai

**Ключевые слова:** дистанционное управление, распределительная сеть, терминал дистанционного управления, автоматизация, IEC 61850, IEC 60870-5-104, Modbus

**Реферат:**

Целью работы было описать изготавливаемые для Elektrilevi OÜ дистанционно управляемые подстанции и дать обзор их технических возможностей в приложениях для „умных“ сетей.

Описывается эффективность использования автоматизации подстанций для обеспечения надежности электроснабжения и повышения эффективности работы будущих электросетей.

Подробно описаны требования Elektrilevi OÜ для дистанционно управляемых подстанций.

Пояснительная записка содержит требования Elektrilevi OÜ к автоматике подстанций, схемы подстанций, описание используемых компонентов, описание соответствующих стандартов и протоколов. Подробно описывается дистанционное управление автоматизированных подстанций, изготавливаемых Narju Elekter Elektrotehnika AS.

Получению практического опыта в области развития систем дистанционного управления способствовало, созданное в микросети ТТУ, решение для передачи данных контроллера фидера SATEC SA320, и решение для дистанционного управления между контроллером RTU32 и персональным компьютером.

Решение для передачи данных внутри микросети и разработанное для оператора визуальное приложение позволяют отображать и управлять положением контактора в щите переменного тока. Составлено практическое руководство пользователя для создания передачи данных между RTU32 и компьютером.

Работа содержит также информацию об обеспечении безопасности АСУ SCADA.

ATR70LT

## **Data communication between electrical substation and control center of distribution network**

**Andres Kõiva**, student code 121834AAAM, May 2014.

TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY \* Faculty of Power Engineering

Department of Electrical Engineering

Chair of Electrical Drives and Electricity Supply

Tutor of the work: assistant professor Elmo Pettai

**Key words:** remote control, substation, distribution network, remote terminal unit, automation, IEC 61850, IEC 60870-5-104, Modbus

### **Summary:**

The purpose of this thesis is describing automated substations for Elektrilevi OÜ and giving overview of technical possibilities in future.

The benefits of automated substations to ensure power system reliability and increasing effectivity in future electric grid are described. Elektrilevi OÜ requirements for automated substations are described properly.

Basic part of this thesis contains requirements for substation automatics, substation schemas, descriptions of used devices and descriptions of corresponding standards and protocols.

Particularly are described automated substations which Harju Elekter Elektrotehnika AS manufactures for Elektrilevi OÜ.

To get practical experience in development of remote control systems I created data connection between RTU32 controller, feeder controller SATEC SA320 and PC in TUT microgrid. This data connections makes possible to control and monitor AC contactor.

Practical user manual for creating data connection between RTU32 and PC is composed.

This thesis also includes information for SCADA system security issues.

# SISUKORD

<b>1</b>	<b>EESSÕNA .....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>SISSEJUHATUS.....</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>ELEKTRILEVI NÕUDED KOMPLEKTALAJAAMADE AUTOMATISEERIMISELE</b>	<b>12</b>
3.1	Nõuded kaugterminalile (RTU – Remote Terminal Unit) .....	12
3.2	RTU juhtimine .....	12
3.2.1	RTU signaalid .....	13
3.2.2	Mõõtmiste kuvamine SCADA-sse.....	13
3.2.3	Nõuded 3G modemile .....	13
<b>4</b>	<b>AS HARJU ELEKTER ELEKTROTEHNIKAS ELEKTRILEVILE VALMISTATAVAD</b>	
	<b>KAUGJUHTAVAD ALAJAAMAD .....</b>	<b>14</b>
4.1	Viola Arctic Control seadmel põhinev RTU .....	14
4.1.1	Viola Arctic Control RTU .....	14
4.1.2	Viola Arctic 3G Gateway.....	16
4.2	Martem RTU.....	18
4.2.1	Martem Telem GWM-C.....	18
4.2.2	Martem Telem-DI24-T .....	19
4.3	Ühetrafoiline komplektalajaam .....	20
4.3.1	Kries IKI-50 rikkeindikaatorid .....	21
4.3.2	Schneider Electric VIP40 .....	22
4.3.3	Schneider Electric VIP410 .....	24
4.4	Kahetrafoline komplektalajaam.....	25
4.5	Keskpinge trafod .....	25
<b>5</b>	<b>ELEKTRILEVI OÜ HALLATAV ELEKTRISÜSTEEM .....</b>	<b>26</b>
5.1	Elektrilevis kasutusel olev SCADA tarkvara .....	27
<b>6</b>	<b>TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOLI MIKROVÕRGU KIRJELDUS.....</b>	<b>29</b>
6.1	Brodersen RTU32 .....	29
6.2	Tarkvara – Põhiseaded ja konfigureerimine.....	30
6.3	Tarkvara - RTU seadistamine ja programmeerimine .....	31
6.4	Tarkvara – kommunikatsioonidraiverid.....	31
6.5	SATEC SA320.....	31
<b>7</b>	<b>TTÜ MIKROVÕRGU KONTAKTORITE JUHTIMINE JA MONITOOIMINE</b>	<b>32</b>
7.1	Arvuti ja RTU vahelise ühenduse kontroll .....	32
7.2	Andmevahetus arvuti ja RTU seadme vahel .....	34
7.2.1	Kontaktori KM1 juhtimine kasutajaliidesega.....	34
7.2.2	Vahelduvvoolukilbi kontaktorite asendite kuvamine .....	36
<b>8</b>	<b>ÜLEVAADE ELEKTRISÜSTEEMIDE ANDMESIDE STANDARDITEST .....</b>	<b>38</b>
8.1	IEC 60870-5-104.....	38
8.1.1	Üldine struktuur.....	39
8.2	IEC 61850 side alajaamast juhtimiskeskusesse .....	40
8.2.1	Kasutusala.....	40
8.2.2	IEC 61850 põhine side alajaama ja juhtimiskeskuse vahel.....	41
8.3	Modbus .....	43
<b>9</b>	<b>VPN ÜHENDUS ALAJAAMA MODEMI JA ELEKTRILEVI SCADA VAHEL ....</b>	<b>44</b>
9.1	VPN ühendus.....	44
9.2	Küberturvalisus tarkvõrgus.....	45
<b>10</b>	<b>SCADA SISSETUNGIVASTASED SÜSTEEMID .....</b>	<b>46</b>
10.1	IEC 104 signatuuri põhine tuvastamine .....	47

<b>10.2 IEC 104 mudelipõhine tuvastus.....</b>	<b>47</b>
10.2.1 Protokollipõhine mudel .....	48
10.2.2 Liikluskorralduse põhised mudelid .....	49
<b>10.3 Rakendamine.....</b>	<b>50</b>
<b>11 ALAJAAMADE AUTOMATISEERIMISE EFEKTIIVSUS.....</b>	<b>51</b>
11.1 Alajaama installatsiooni ja arendamise kulutõhusus.....	51
11.2 Töökindluse ja ohutuse kulutõhusus .....	52
<b>12 KOKKUVÕTE.....</b>	<b>53</b>
<b>13 KASUTATUD KIRJANDUS.....</b>	<b>56</b>
<b>LISAD .....</b>	<b>58</b>

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
Elektrotehnika instituut

KOOSKÕLASTATUD

Prof. T. Lehtla.....

..... 2014

## MAGISTRITÖÖ ÜLESANNE

Andres Kõiva, üliõpilaskood 121834 AAAMM

Magistritöö teema: Elektrialajaama ja jaotusvõrgu juhtimiskeskuse vaheline andmeside

Ülesanne: Anda tehniline ülevaade nüüdisaegse elektrijaotussüsteemi alajaamade juhtimiseks kasutatavatest andmesidesüsteemidest, sellise andmeside loomiseks (projekteerimiseks) vajalike standardite põhinõuetest, perspektiivsetest sideseadmetest ja ning projekteerida prototüüpajaama andmeedastussüsteem mis vastab Elektrilevi nüüdis- ja perspektiivsetele nõuetele.

Lähteandmed:

1. Prototüüpajaama eskiisprojekti koostamise tehnilised nõuded ja soovitud
2. Elektrilevi kehtivad nõuded, tehnilised tingimused ja soovitud alajaamade andmeside projekteerijatele
3. Elektrilevi nõuded ja soovitud taasuenergiaseadmete liitmiseks elektrivõrguga.
4. Katseseadme ja selle juhtimiseadmete (sh. RTU32) dokumentatsioon TTÜ-s
5. Viola Arctic Control/Martem GWM-C kasutusjuhendid
6. Erialane tehniline kirjandus ja teadusartiklid IEEE Xplore andmebaasis

Lahendamisele kuuluvate probleemide loetelu:

1. Anda ülevaade nüüdisaegse elektrialajaama elektrilistest (topoloogilistest) skeemidest, elektrivoogude juhtimiseks kasutatava tehnika põhifunktsioonidest ja tasemest (state of art).
2. Elektrialajaamas kasutatavad jõuseadmed. Alajaama seadmete juhtimis- ja kaitseviisid.
3. Alajaamade andmesidega seotud standardid ja nende põhinõuded (ülevaade nendest, mida kasutatakse Eestis või on vaja võtta arvesse edaspidi prototüüpajaama loomisel)
4. Alajaama andmesideseadmete liigitus ja valiku alused projekteerimisel.
5. Alajaamade juhtimine ja kaughaldus (Kasutusjuhud, konkreetsemad stsenaariumid).
6. Majanduslik osa. (Millist kokkuhoidu või efektiivsuse suurenemist saavutatakse RTU-ga.)
7. Prototüüpajaama andmesidelahendus. (tehniline projekteerimine)
8. Katseseadme andmesidelahendus (täpsem ülevaade ja soovitud side projekteerijale)
9. Kasutajaliides alajaama eksploatatsioonipersonalile. Tehnika nüüdistase ja soovitud.

Magistritöö esitada eesti keeles kahes eksemplaris koos eesti- ja kahe võõrkeelse referaadiga hiljemalt 09.06.2014.

Juhendaja:

Dotsent Elmo Pettai .....

Ülesande vastu võtnud:

Üliõpilane Andres Kõiva .....

# 1 EESSÕNA

Lõputöö teema on valitud mu enda initsiatiivil, kuna töotan AS Harju Elekter Elektrotehnikas müügiinsenerina ja vastutan RTU seadmetega alajaamade valmistamise eest.

Algandmetega abistasid Elmo Pettai ja Kristjan Peterson.

Siinkohal avaldaksin tänu Kristjan Petersonile ja Tarmo Korõtkole, kes abistasid TTÜ mikrovõrgu andmeside loomisel.

## 2 SISSEJUHATUS

Lõputöö teema sai valitud põhjusel, et iga päevaga muutub järjest aktuaalsemaks targa võrgu rakenduste kasutamine. Antud töös on kirjeldatud targa võrgu ühte osa ehk keskpingevõrgus olevate komplektalajaamade automatiseerimist.

Komplektalajaamade automatiseerimine muudab alajaamad kaugelt juhitavaks ja tänu sellele on võimalik juhtimiskeskusest jälgida, mis seisus mingi alajaam antud hetkel on. Samuti vähendab automatiseeritud alajaama kasutamine alajaamade hooldamiseks kuluvat raha ja aega. Elektrilevi haldab Eestis tuhandeid komplektalajaamu, mille seisukorra kohta vajavad nad informatsiooni. Seega vähendab automatiseeritud alajaamade kasutusele võtmine alajaamade külastamiseks kuluvat aega ja raha.

Töö eesmärgiks on kirjeldada tänapäeval kasutatavaid andmesidesüsteeme alajaamade kaugjuhtimiseks ning uurida, milliseks võivad kujuneda tulevikus vastavad andmesidesüsteemid.

Töös on põhjalikult kirjeldatud Elektrilevi OÜ 2013 aasta riigihanke nõuded komplektalajaamade andmesidele. Elektrilevi 2013 aasta riigihanke nõuetes kirjeldatakse, milliseid funktsioone peavad kaughaldusega komplektalajaamad täitma ning milliste standardite ja protokollide abil see saavutada tuleb.

Elektrilevile toodab kaugjuhitavaid komplektalajaamu AS Harju Elekter Elektrotehnika, seetõttu on antud töös neid ka kirjeldatud. Komplektalajaamade kirjelduses on suurem rõhk pandud RTU seadmete kirjeldusele, kuid on üldiselt kirjeldatud ka alajaamu. RTU seadmeid valmistatakse AS Harju Elekter Elektrotehnikas kahte tüüpi: Martemi ja Viola Systems seadmetega. Komplektalajaama kirjelduses tuuakse välja ühetrafolise ja kahetrafolise tehasetootelise alajaama skeemid ja osade seletused.

Elektrilevi OÜ jaotab elektrienergiat pingetel 0,4 – 110 kV ehk sealt, kus lõpeb põhivõrgu ehk AS Elering vastutusvaldkond. Peale Elektrilevi on Eestis mitmeid jaotusvõrgu ettevõtteid, kuid Elektrilevi on neist suurim ning seetõttu on ka teda kirjeldatud. Selles töös kirjeldatakse lisaks Elektrilevi OÜ hallatavale elektrisüsteemile ka praegusel hetkel kasutusel olevat SCADA tarkvara ja võimalusi.

Praktilise osana on loodud Tallinna Tehnikaülikooli energeetikamaja mikrovõrgus vahelduvvoolu kilbis asuva kontaktori lülitamiseks ja jälgimiseks kasutajaliides. Kasutajaliidese loomiseks on kasutatud programmi STRATON WorkBench. Kontaktorite asendite kuvamiseks tuli lisaks STRATON-ile veel kasutada programmi PAS (*Power Analysis Software*). PAS kasutamise vajadus oli tingitud vahelduvvoolu kilbi kontaktorite ühendamise kontrolleri SATEC SA320-ga ning kasutades Modbus protokolliga saab vajalikud andmed kuvada STRATON-sse.

Samuti on kirjeldatud protsessi, kuidas luuakse ühendus arvuti ja RTU32 seadme vahel.

Töös on kirjeldatud andmeside protokolle, mida kasutatakse AS Harju Elektet Elektrotehnika poolt valmistatavates kaugjuhitavates alajaamades ning protokolle, mida oli tarvis kasutada luues andmesidet TTÜ mikrovõrgus RTU32 seadme ja personaalarvuti vahel.

SCADA-ga andmevahetust ei ole mõistlik teha läbi avaliku võrgu, seetõttu on kasutusel VPN (*Virtual Private Network*) ühendus. VPN ühendus loob avalikus võrgus turvalise tunneli andmevahetuseks SCADA ja alajaamade vahel. Küberturvalisus on kaugjuhitavates alajaamades oluline faktor, kuna kõrvaliste isikute ligipääs võib mõjuda võrgule katastroofiliselt.

Samuti on kirjeldatud ka SCADA sissetungivastaseid süsteeme, mis põhinevad IEC 60870-5-104 standardil. Kirjeldatakse erinevaid meetodeid tagamaks kaugjuhitavatele alajaamadele ligipääsu ainult asjaga tegelevatele osapooltele.

Kaugjuhitavate alajaamade arendamise kulutõhusus on kirjeldatud Soome elektrivõrgu näitel. Kirjeldatakse ka Soomes kasutatavate alajaamade automatiseerituse taset.

Praktilise osa tegemiseks on kasutatud Cads Plannerit, Autocadi, PAS-i, STRATON WorkBenchit. Cads Planner ja Autocad olid kasutusel jooniste vaatamisel ning koostamisel. PAS ja STRATON WorkBench olid kasutusel Tallinna Tehnikaülikooli Energeetikamaja mikrovõrgu kontaktorite juhtimise programmi koostamisel ja kasutajaliidese ning andmeside ühenduse loomisel.

### 3 ELEKTRILEVI NÕUDED KOMPLEKTALAJAAMADE AUTOMATISEERIMISELE

Kõik automaatikaseadmed peavad vastama järgnevatele keskkonnatingimustele:

Tabel 3.1 Komplektalajaama seadmetele nõutavad töötingimused [1]

Elektrivõrk	3-faasiline keskpinge võrk, isoleeritud, kompenseeritud või kompenseerimata
	Lubatav kestevpinge 24 kV
	Võrgusagedus 50 Hz
Kasutusolud	Sisepaigaldus
	Keskkonna temperatuurivahemik -25°C kuni +40°C
	Kõrgus kuni 1000 m merepinnast
	Suhteline niiskus kuni 95%

#### 3.1 Nõuded kaugterminalile (RTU – Remote Terminal Unit)

RTU seade peab vastama järgnevatele nõuetele [1]:

- RTU ühendatakse Elektrilevi OÜ SCADA-ga kasutades andmesideprotokolli IEC 60870-5-104
- RTU-ga ühendatakse seadmed kasutades protokolle: Modbus, Modbus TCP, IEC 61850 ja IEC 60870-5-101/103/104.
- RTU peab sisaldama sündmuste puhvrit. Sündmuste puhvrit kasutatakse juhul kui andmesidekanal on seiskunud. Peab olema tagatud sündmuste salvestumine kronoloogilisse järjekorda.
- NTP (*Network Time Protocol*) serveri kaudu sünkroniseeritakse RTU-d. Alamseadmete sünkroniseerimiseks võib kasutada NTP serverit või RTU *slave* protokoll.

#### 3.2 RTU juhtimine

RTU juhtimiseks tuleb kasutada duubeljuhtimist (DC\_NA) ja singeljuhtimist (SC\_NA). Alajaamas tuleb juhtida KP-seadmesse sisenevate liinide võimsuslüliteid (VL) ja koormuslahklüliteid (KOL). RTU peab võimaldama alarmsignaalide tagastamist SCADA-sse ja RLA (*Running Load Amp*) sisse- ja väljalülitamist [1].

### 3.2.1 RTU signaalid

RTU-s kasutatakse signaalitüüpina duubelsignaale ajamärgiga (DC\_TA) ja singelsignaale ajamärgiga (SC\_TA) [1].

Tabel 3.2 Telesignaali asendite edastamine [1]

Vaheasend	0
Suletud	1
Avatud	10
Vigane	11

Edastatavad signaalid [1]:

- Duubelsignaalina võimsus-, koormuslahk- ja maanduslülite asendid.
- Alalisvoolukeskuse rike.
- Fiidrite kaitsereleede rakendumine.
- Trafo ülerõhk ja ületemperatuur.
- Tulekahju ja valve.
- RLA olekusignaali.

### 3.2.2 Mõõtmiste kuvamine SCADA-sse

SCADA-sse tuleb edastada [1]:

- Keskpinge fiidrite koormusvoolude mõõtmised
- Keskpinge fiidrite faasipingete ja liinipingete mõõtmised
- Madalpinge poolelt: faasi- ja liinipinget ning faasivoolud.

### 3.2.3 Nõuded 3G modemile

Ühendus Elektrilevi OÜ SCADA süsteemi ja komplektalajaama vahel luuakse kasutades 3G mobiilsidet.

Nõuded modemile [1]:

- Modem peab võimaldama Elektrilevi OÜ sideserveriga OpenVPN ühenduse loomist.
- Modem peab omama RS-232, RS-232/422/485, WAN (*Wide Area Network*) Ethernet ja LAN (*Local Area Network*) Ethernet Porte.

- Modemil peab olema eraldiseisev tulemüür.
- Modem peab võimaldama staatilist *routing*-ut.
- Seade peab võimaldama võrguliikluse märgistamist.
- Modem peab toetama WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*) (850/900/1900/2100 MHz) ja EDGE/GPRS (850/900/1800/1900 MHz) andmesidet.
- Modem peab võimaldama kahe SIM-kaardi kasutamist.

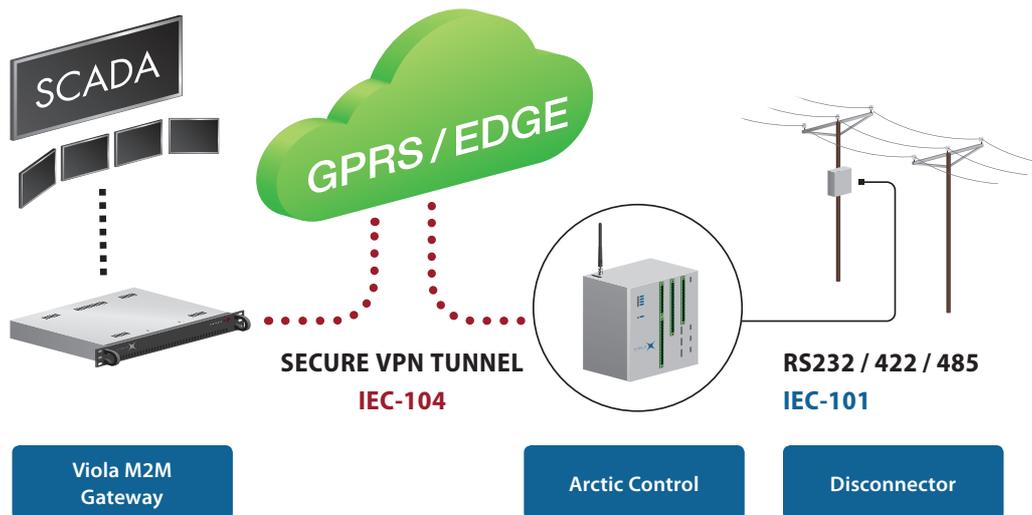
## **4 AS HARJU ELEKTER ELEKTROTEHNIKAS ELEKTRILEVILE VALMISTATAVAD KAUGJUHITAVAD ALAJAAMAD**

### **4.1 Viola Arctic Control seadmel põhinev RTU**

Viola Arctic Control seadmega RTU siseste ahelate skeem on lisas 2 ja väliste ahelate skeem on lisas 3. Teletabel, kust saab näha andmeid RTU ja SCADA ühenduste kohta on kirjeldatud lisas 6.

#### **4.1.1 Viola Arctic Control RTU**

Optimeeritud maksumusega Viola Arctic Control RTU lahendus võimaldab juhtimist ja monitooringut keskpinge võrkude seadmetel nagu võimsuslülitid, koormuslahklülid ja RMU (*Ring Main Unit*) seadmed. Viola Arctic Control võimaldab alati seesolevat juhtmevabat ühendust koos infoga, mida on vaja seadmete juhtimiseks ja monitooringuks ning võimaldab akude laadimist ja seisukorra kontrolli. Juhtmevaba ühendus on teostatud läbi kommerts mobiilivõrgu (antud juhul EMT 3G side), mille tõttu on investeeringud ja toimimiskulud väiksemad. Arctic Control kaughalduse lahendust on võimalik paigaldada ka olemasolevatele seadmetele, tänu millele saavad jaotusvõrgu ettevõtted oma investeeringutelt kokku hoida [2].



Joonis 4.1.1 Viola Arctic Control kaugjuhtimise põhimõtteskeem [3]

Viola Arctic Control omadused [4]:

- Suudab kontrollida kolme lahklüliti ja maanduslülitit
- Väliste akupakettide laadimise ja monitoorimise võimalus
- Lülite opereerimise aja ja energia mõõtmine
- Tarkvaraline ja riistvaraline kaitse lahklüliti vigade eest
- Võimaldab lahklülite lokaalset ja kaugjuhtimist
- LED ekraan lahklülite ja maanduslülitite asendite kuvamiseks
- Toetab IEC-101 ja IEC-104 protokolle
- Väline temperatuuriandur
- 15 DI (*Digital input*) lülite asendite monitooringuks
- 2 DO (*Digital output*) akude kontrolliks
- 2 AO (*Analog input*) akude kontrolliks
- 1 DO mootori (liigvoolu) juhtimiseks
- 6 DO lahklülite juhtimiseks
- 1 AO mootori juhtimiseks (0-15 A)
- 4-20 mA sisend
- Väljund küttekeha juhtimiseks
- 1 üldotstarbeline DI
- 1 üldotstarbeline DO



Joonis 4.1.2 Viola Arctic Control seade [4]

#### 4.1.2 Viola Arctic 3G Gateway

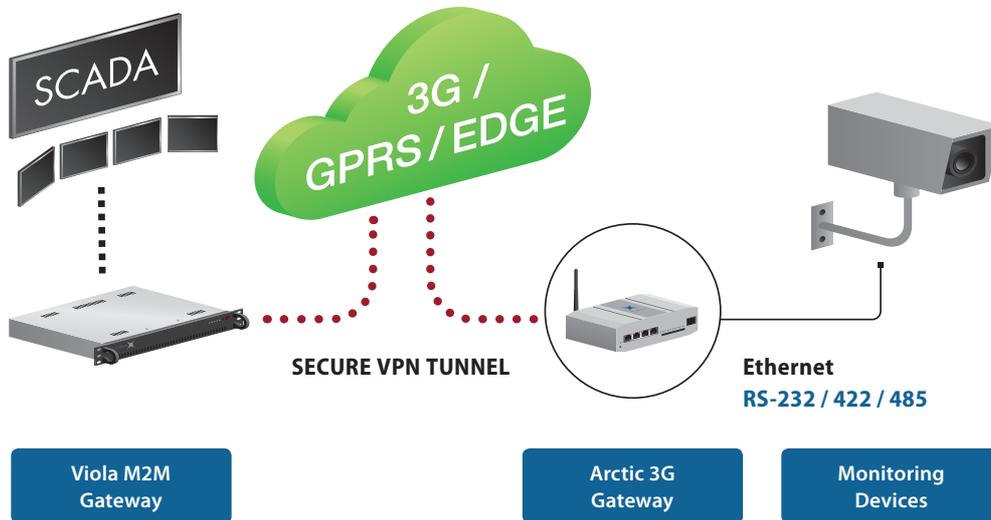
Viola Arctic 3G Gateway on tööstuslik juhtmevaba modem, mis kasutab suure kiiruselist 3G võrku *quad band* sageduse toega. Seetõttu kasutatakse antud seadet lahendustes, mis vajavad kõrget andmete ribalaiust või juhul kui mitmed seadmed kasutavad sama juhtmevaba kanalit. Viola Arctic 3G Gateway omab sisemist *switchi* kolme LAN, ühe WAN ja kahe *serial* pordiga. Üks *serial* portidest töötab protokolliga RS-232 ja teise pordi korral on võimalik kasutada lisaks RS-232 protokollile RS-422/485 protokollile.

Antud modem võimaldab kasutada kahte SIM kaarti, mis võimaldab kasutada kahte erinevat mobiilioperaatorit, et tõsta süsteemi töökindlust [5].

AS Harju Elekter Elektrotehnika poolt valmistatavates RTU seadmetes piisab modemisest sisse ehitatud *switch*-st juhul kui ei ole tellimuses nõutud rikkeindikaatoreid. Kui soovitakse rikkeindikaatoreid tuleb lisada MOXA EDS-505A.



Joonis 4.1.3 Viola Arctic 3G Gateway [5]



Joonis 4.1.4 Viola Arctic 3G Gateway ühenduse põhimõtteskeem [5]

## 4.2 Martem RTU

Martemi seadmete korral kasutatakse RTU seadmena TELEM GWM-C andmekontsentraatorit, millel on nii RTU kui ka modemi funktsioonid. Martemi RTU seadmete korral on kasutusel samuti Viola Arctic 3G Gateway, kuna Elektrilevi OÜ soovi kohaselt ei tohi RTU seade ja modem olla integreeritud. Martemi RTU skeemid on lisades 4 ja 5. Martemi RTU teletabel SCADA ja RTU ühenduste loomiseks on toodud lisas 7.

### 4.2.1 Martem Telem GWM-C

Telem GWM-C on andmekontsentraator koos 3G/GPRS modemiga. Seda kasutatakse alajaamades juhtimise ja monitooringu operatsioonideks. Juhtimiskeskusega ühendatakse seade läbi IEC 60870-5-101 ja IEC 60870-5-104 andmesideprotokollide [6].



Joonis 4.2.1 Martem Telem GWM-C [6]

Telem GWM-C omadused [6]:

- TCP/IP ühendused läbi Ethernet pordi
- Mitmed andmevahetus protokollid läbi Etherneti ja *serial* portide
- Automaatne protokollide konverteerimine IEC 60870-5-101 → IEC 60870-5-104 kirjeldamata andmete objekte

- 2G/3G GPRS moodul (GSM/GPRS/EDGE 850/900/1800/1900 MHz, UMPS/HSDPA 900/2100 MHz)
- Tulemüüri funktsioon
- OpenVPN, IPsec, L2TP ja SSH ühendused
- Valikuline laienduskaart koos 8 isoleeritud digitaalsisendiga ja 6 releeväljundit (max 110VDC, 0.3A, 125VAC, 0.5A)
- Temperatuurisensorite port
- Kõik pordid on galvaaniliselt isoleeritud korpusest ja jõuahelast
- Realaja kell koos tagavara kondensaatoriga
- NTP klient ja server aja sünkroniseerimiseks
- Kasutajasõbralik seadistustarkvara
- Seadistatav kaughaldusega üle sidekanali

Kommunikatsioonipordid:

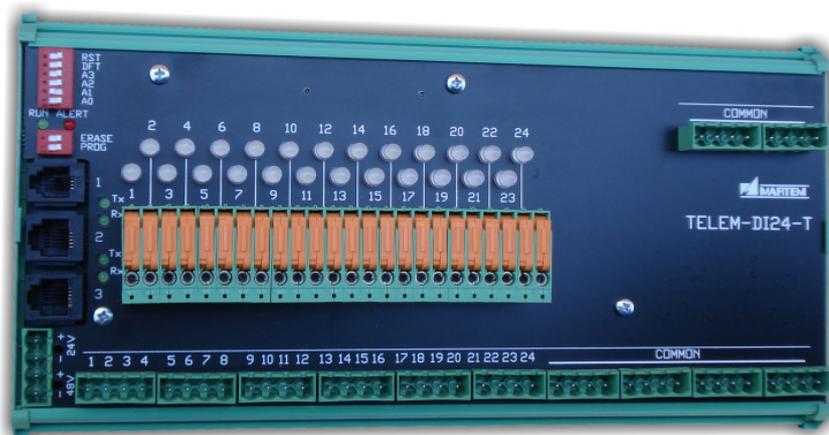
- 1 x Ethernet port RJ-45 pistikuga
- 2 x RS-232 porti RJ-45 pistikuga
- 2 x RS-232/485 porti. RJ-45 port RS-232 jaoks ja kruviterminalid RS-485 jaoks.
- 1 x USB port hoolduseks

#### **4.2.2 Martem Telem-DI24-T**

Telem-DI24-T on DI laiendusmoodul Telem GWM-C seadmele [7].

Telem-DI24-T võimaldab [7]:

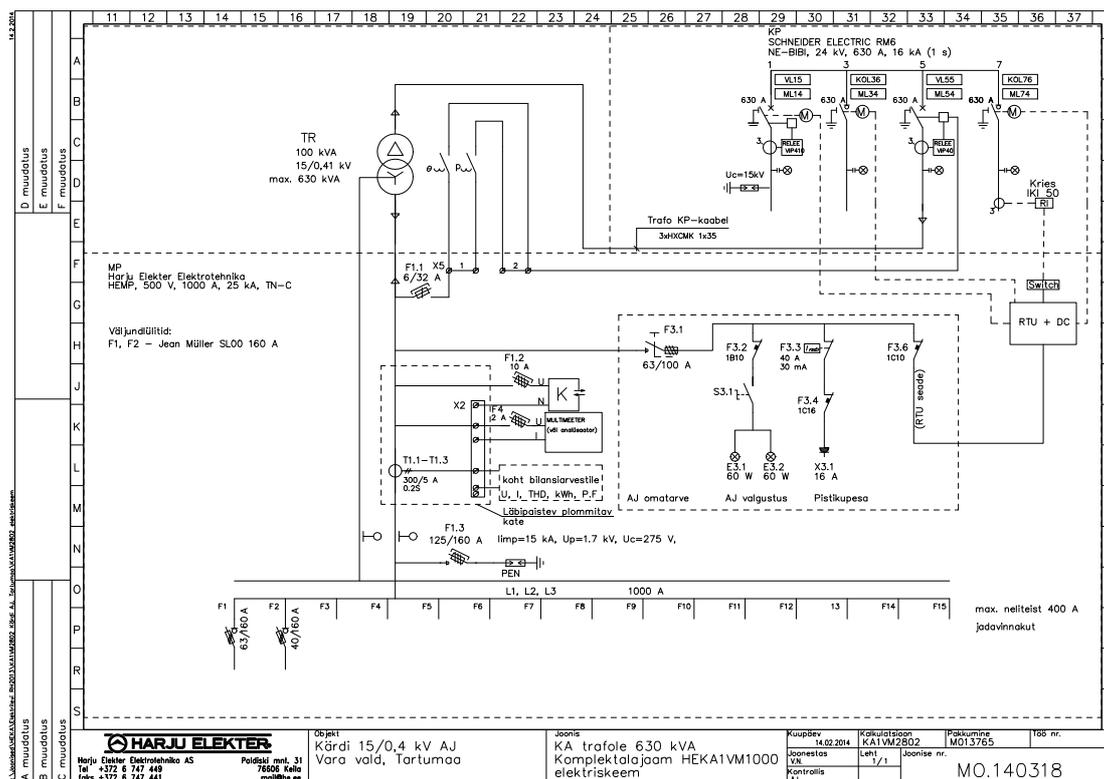
- Aja sünkroniseerimine täpsusega 1ms
- Teise astme sisendi filtrite puhvri sügavus on 20
- Loogilised operatsioonid sisenditega
- Sündmuste edastamine alajaamast või kontrollkeskusest läbi püsiühenduse, *dial-up* ühenduse või GSM side



Joonis 4.2.2 TELEM-DI24-T [7]

### 4.3 Ühetrafooline komplektalajaam

Ühetrafoolise alajaama korral valitakse keskpinge seade vastavalt kliendi vajadustele. Joonisel 2.3.1 on kujutatud üks võimalikest konfiguratsioonidest.



Joonis 4.3.1 Max 630kVA trafole valmistatav kaugjuhitav komplektalajaam

Joonisel 4.3.1 on näidatud Harju Eleker Elektrotehnika AS poolt valmistatava kaugjuhitava alajaama põhimõtteskeem. Skeemilt on näha keskpingeseade, milleks on Schneider Electric NE-BIBI, millel on 2 võimsuslülitit (kambrid 1 ja 5) ja 2 koormuslahklülitit (kambrid 3 ja 7).

Antud keskpingseseadmel on võimalik kaugjuhtimise teel lülitada võimalik lülitada 1. kambri võimsuslülitit ning 3. ja 7. kambri koormuslahklüliteid. Lisaks on võimalik jälgida kõikide keskpingseseadme kambrite koormuslahklülite, võimsuslülitite ja maanduslülitite asendeid läbi SCADA.

SCADA-sse edastatakse mõõtmised läbi RTU seadme (antud näite puhul Martem AS seadmetega RTU – punkt 2.2). Antud RTU skeemid on lisas 1. SCADA-sse edastatakse samuti mõõtmised nii kaitsereleelt VIP410 (kamber 1) kui ka madalpingemõõtmised Multimeetrist.

RTU seadmete vaheline side toimub Modbus protokolliga ja IEC 60870-5-104 standardi kaudu ja SCADA-sse edastatakse kasutades IEC 60870-5-104 nagu on kirjeldatud nõuetes peatükis 1.

Valmistatavates kaugjuhitavates alajaamades tehakse kliendi soovile vastutulles SCADA test, samuti testitakse VIP releed primaarpoolelt ning nii VIP releedest kui ka rikkeindikaatoritest edastatava info jõudmine SCADA-sse.

Alajaama väljundid on kaitstud sulavkaitsmetega. Nagu jooniselt 2.3.1 on võimalik antud alajaama paigaldada neliteist 400A jadavinnaklülitit.

Joonisel 4.3.1 on näha, et antud komplektalajaama keskpinge kambriks 7 on paigaldatud ka rikkeindikaator koos pingeadikaatoritega. Antud alajaamas kasutatakse rikkeindikaatorina Kries IKI-50.

Joonisel 4.3.1 kirjeldatud alajaama RTU seadme siseste ahelate skeem on lisas 4 ja väliste ahelate skeem on lisas 5.

#### **4.3.1 Kries IKI-50 rikkeindikaatorid**

Kries IKI-50 võimaldab monitoorida kõiki elektriliste mõõtmiste väärtusi [19]:

- Voolud, pinged koos kõigi seonduvate näitudega
- Võimaldab juhtida mootoreid ja lülituspoole
- Integreeritud kondensaatori puhver 1 või 2 lülituspoolile

Kries IKI-50 rikkeindikaatoreid on kaks tüüpi [19]:

- IKI-50\_1F – võimaldab monitoorida ja juhtida üht fiidrit
- IKI-50\_2F – võimaldab monitoorida ja juhtida 2 kuni 3 fiidrit (sisenev ja väljuv ning trafofiider)



Joonis 4.3.2 Kries IKI-50 rikkeindikaator [19]

Kries IKI-50 kolm põhilist funktsiooni jaotusvõrgu optimeerimiseks [19]:

- Suunatud koormuse monitooring ja koormuse juhtimine
- Suunatud rikketuvastus kõigile võrgutüüpidele, sealhulgas ka rikkeprognoos
- Tõrke korral välja lülitamine või automaatne ümberlülitus lülitismähise või mootori poolt minimeerimaks seisuaega

#### 4.3.2 Schneider Electric VIP40

Releekaitseks trafofiidris on kasutusel Schneider Electric VIP40 rele.

VIP40 kaitsereled on mõeldud keskpinge ja madalpinge rajatiste kaitseks ja toimimiseks. VIP40 ei vaja toimimiseks eraldi toidet, kuna ta omab iseseisva toitega energiaallikat. VIP40 saab oma toite voolusensorigest ning see võimaldab toimida välise toiteallikata [20].



Joonis 4.3.3 Schneider Electric VIP40 kaitserelee [20]

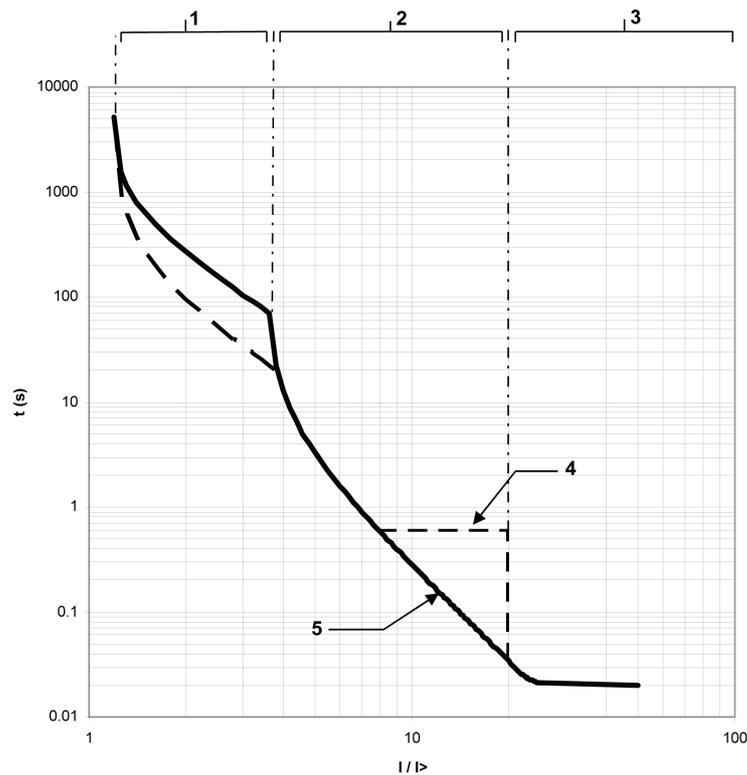
VIP40 võimaldab [20]:

- Faasi liigvoolukaitset
- Kuvada ekraanile faasivoolude väärtusi

Joonise 2.3.4 kirjeldus [20]:

- 1) Liigkoormuse rakendumiskõver
- 2) Sekundaarse rikke rakendumiskõver
- 3) Primaarse rikke rakendumiskõver
- 4) Võimsuslüliti kõver
- 5) Sulari kõver

VIP40 kaitsereleed on võimalik seadistada vahemikus, kas 5 A kuni 100 A või 5 A kuni 200 A olenevalt relee tüübist [20].



Joonis 4.3.4 VIP40 lülituskõver [20]

### 4.3.3 Schneider Electric VIP410

Releekaitseks liinifiidris kasutatakse antud ajalaamas Schneider Electric VIP410 kaitsereleed. VIP410 kaitserelee on mõeldud kasutamiseks keskpinge ja madalpinge alajaamades ning jaotusvõrgu tööstuslikes paigaldistes. VIP410 sobib kasutamiseks tüüpilistes kaitserakendustes, mis vajavad voolu mõõtmist, faasi liigvoolukaitset, maakaitset ja termokaitset. VIP410 releel on topelt toiteallikas – toide voolusensoritelt ja patareilt. VIP410 vajab lisatoiteallikat side, väljund releede ja väga tundliku maakaitse tööks. VIP410 võimaldab sätestada erinevaid rakendumiskõveraid ja kirjeldada neile vastavaid ajakonstante [21].



Joonis 4.3.4 VIP400 rele (välimuselt analoogne VIP410-ga) [21]

#### 4.4 Kahetrafoline komplektalajaam

Kahetrafolises komplektalajaamas on kasutusel samad seadmed, mis ühetrafolise korral (punkt 2.3), kuid lisanduvad mõlemasse fiidrisse pealülitid ja seksioneeriv lüliti. Kahetrafolise komplektalajaama skeem on lisas 1 ja antud skeemile vastavad RTU seadme joonised on kirjeldatud lisas 2 ja lisas 3.

Kahetrafolise alajaama kaughalduse teostamiseks vajalik teletabel on lisas 6. Teletabelist saab välja lugeda, mis juhtimisi või monitoorimisi tehakse kindla IEC 60870-5-104 aadressi kaudu. Lisas 1 näidatud alajaamas kasutatakse mõlemas fiidris Schneider Electric NE-IIDI seadet. Antud seadmed on liinifiidrites koormuslahklülitid ja trafofiidris võimsuslüliti koos VIP 40 releega.

#### 4.5 Keskpinge trafod

Elektrilevile valmistatavates alajaamades kasutatakse ABB keskpinge trafosid. Keskpinge trafosid kasutatakse kolmefaasilise keskpinge muundamiseks madalpingeks. Trafosid saab paigaldada nii sisetingimustes kui ka välistingimustes. Trafode koormus vastab standardile IEC 354. Kasutatakse õlitäitega trafosid, seega on trafod hermeetiliselt suletud. Hermeetiliselt

suletud trafode eeliseks võib pidada, et õli ei puutu kunagi kokku atmosfääriga, seega saab vältida perioodilist õli analüüsi [22].

Trafode südamikud valmistatakse suundorienteeritud magnetist ja madalate kadudega külmalvaltsitud elektrotehnilisest terasest [22].

Mähised valmistatakse kõrge kvaliteediga elektrolüülilisest vasest või alumiiniumist. Keskpinge mähised on keritud, kas ümmarguselt, email isoleeritult või kaetud paberisolatsiooniga. Madalpinge mähised on kaetud paberisolatsiooniga või fooliumiga [22].



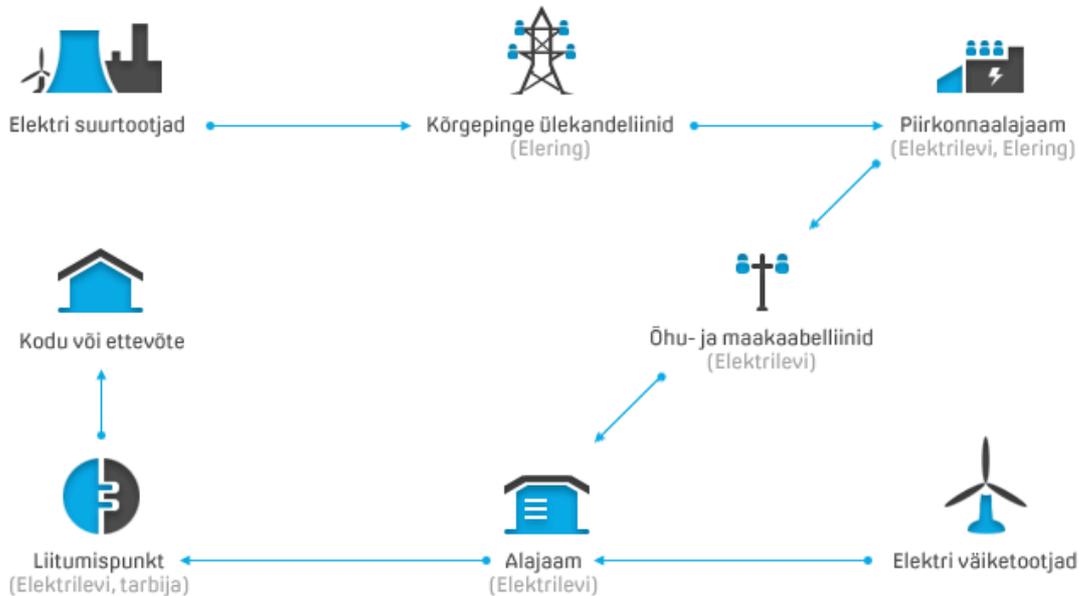
Joonis 4.5.1 ABB poolt valmistatav õlitäitega trafo

## 5 ELEKTRILEVI OÜ HALLATAV ELEKTRISÜSTEEM

Elektrilevi OÜ tagab elektri jaotamise põhivõrguseadmetest lõpptarbijani. Süsteemihaldur ehk Elering AS vastutab, et tarbijatel oleks igal ajahetkel olemas nõuetekohase kvaliteediga elektrivarustus. Elering AS pakub samuti põhivõrguteenust ehk pakub kõrgepingevõrgu (110 – 330 kV) ülekandeteenust.

Peale põhivõrgule kuuluvaid kõrgepingeseadmeid algab jaotusvõrk (0,4 – 35 kV), mille kaudu toimetatakse elekter tarbija liitumispunktini. Eestis on ligikaudu 35 jaotusvõrguettevõtet, suurim neist on Elektrilevi OÜ. Igal jaotusvõrguettevõttel on oma teeninduspiirkond, kuna mitut paralleelset võrku pole otstarbekas ehitada samasse kohta.

Elektrilevi hallata on ligikaudu 61000 km liine ja rohkem kui 22000 alajaama. Osad piirkonnaalajaamad kuuluvad nii Elektrilevile kui ka Eleringile [16]. Joonisel 5.1 on näidatud Elektrilevi struktuurskeem.



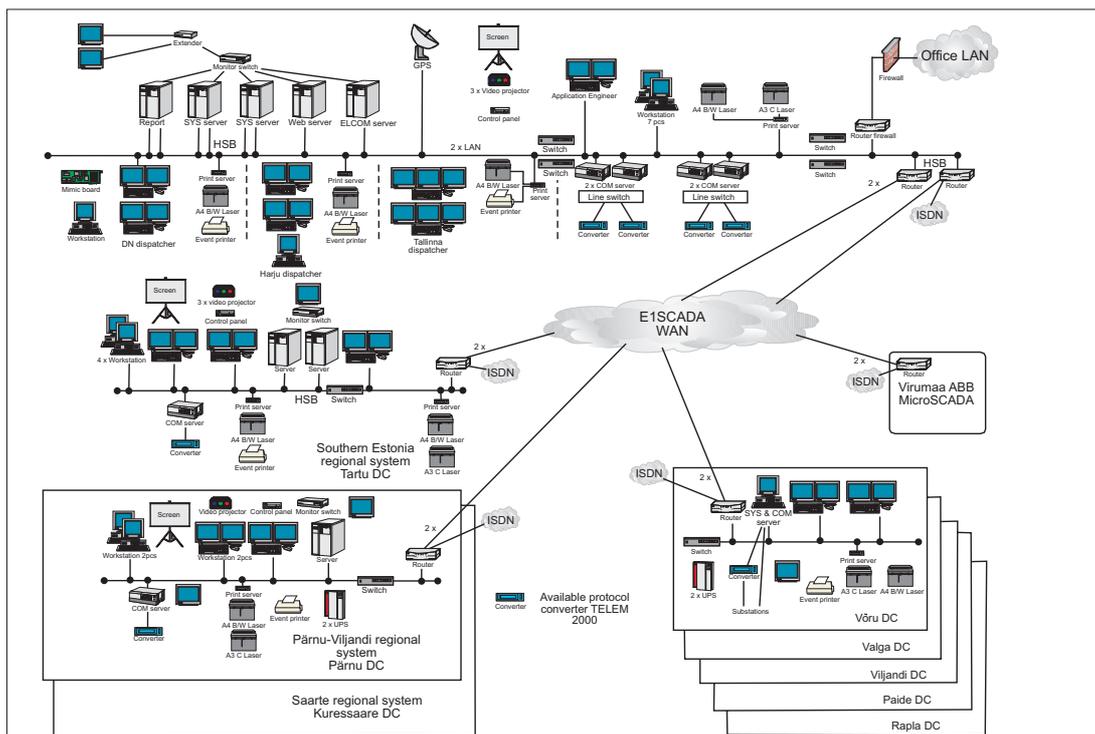
Joonis 5.1 Elektrienergia jõudmine tootjalt tarbijani [16]

## 5.1 Elektrilevis kasutusel olev SCADA tarkvara

Hetkel on Elektrilevis kasutusel ABB MicroSCADA. Elektrilevi teostab operatsioone madal- ja keskpinge võrkudes, kus pinge ei ületa 110 kV. Võrk katab ligikaudu 40900 km<sup>2</sup>. Elektrilevis on kasutusel lisaks ABB MicroSCADA-le ka Martemi Telem SCADA, mis on täiesti eraldiseisev süsteem [17].

ABB MicroSCADA hanketingimused [17]:

- Luua SCADA, mis kataks kogu jaotusvõrgu teenindatava piirkonna
- Saavutada ühtsed operatsiooni ja teenindamise tingimused igas teenindatavas punktis
- Vähendada võrgu teeninduskulusid
- Rakendada arenenud võimalusi, mida pakuvad releekaitse ja automaatika seadmed uutes ja uuendatud alajaamades
- Tõsta klienditeenindustaset
- Luua eeldused elektriturule sisenemiseks
- Tagada andmevahetus olemasolevate seadmetega (GIS TEKLA X-Power ja SCADA GE Harris XA/2) realajas



Joonis 5.2 Elektrilevi SCADA põhimõtteskeem [17]

Tabelis 5.1 on näidatud ABB MicroSCADA osad ja võimalused. ABB MicroSCADA seadmed on näidatud tabelis 5.2.

Tabel 5.1 ABB MicroSCADA süsteemi suurus [17]

	<b>Kogus</b>	<b>Kommentaariid</b>
<b>Juhtimiskeskused</b>	11	1 peamine, 3 regionaalset ja 7 kohalikku keskust
<b>I/O andmepunktid</b>	100000	
<b>Juhitavad alajaamad</b>	250	
<b>Kontrollitavad jaotusterminalid</b>	150	
<b>Protsessi pildid</b>	400	
<b>Raportid</b>	1200	

Tabel 5.2 Seadmed ABB MicroSCADA-s [17]

	<b>Kogus</b>
<b>Süsteem ja ELCOM serverid</b>	15
<b>Sideserverid</b>	7
<b>Töökeskused (1-3 monitori)</b>	41
<b>Projektsiooni süsteemid</b>	9
<b>Imiteerimis keskkond</b>	1
<b>LAN/WAN seadmed</b>	24
<b>Printerid</b>	33

## 6 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOLI MIKROVÕRGU KIRJELDUS

TTÜ Energeetikamaja mikrovõrgu skeemis (lisa 8) on kirjeldatud seadmetevahelised ühendused ja seadmete asukohad kilpides.

### 6.1 Brodersen RTU32

RTU32 võimaldab kahte põhilist funktsiooni [7]:

- Võimas eraldiseisev RTU/PLC seade koos I/O-dega (sisendid/väljundid) võimaldab andmetöötlust, andmekontrolli, andmete salvestamist ja monitooringut.
- Võrgukommunikaator või modem andmete kogumiseks, juhtimiseks ja suhtlemiseks läbi erinevate füüsiliste liideste kasutades vastavaid protokolle

RTU32 tööstuslik kontrolleri põhineb tööstuslikul PC (*Personal Computer*) platvormil kasutades WinCE operatsioonisüsteemi koos kõikide tuntud Microsofti keskkonna teenustega [7].



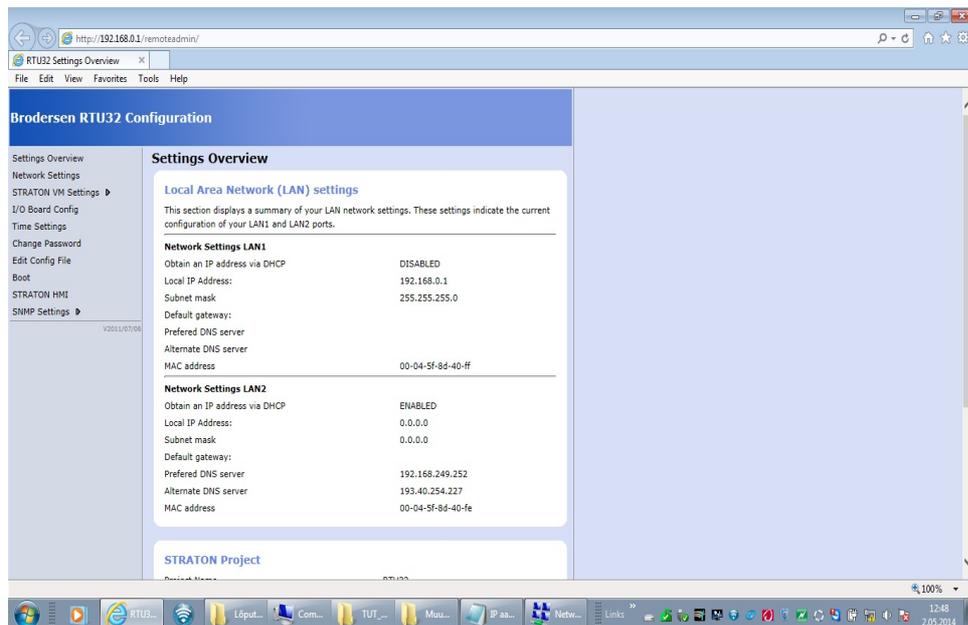
Joonis 6.1.1 RTU32 seade [7]

## 6.2 Tarkvara – Põhised ja konfigureerimine

RTU32 peamised sätted on konfigureeritavad läbi sisemise interneti lehekülje nagu ka teistel võrguseadmetel [7].

Põhikonfiguratsioon sisaldab [7]:

- LAN võrgu seaded
- Algseid PLC sätted
- Integreeritud I/O sätted
- Modemi ja VPN sätted
- Turvalisus
- Realaja kella seaded / SNTP
- SNMP agent
- Koondamine
- Kaughalduse turvalisuse protokollid
- HMI (*Human Machine Interface*)



Joonis 6.1.2 Veebilehitsejaga RTU32 seadistamine

### 6.3 Tarkvara - RTU seadistamine ja programmeerimine

RTU32 seadistamiseks ja programmeerimiseks kasutatakse STRATON IDE/WorkBench programmeerimiskeskonda. STRATON IDE/WorkBench toetab EN/IEC61131 standardit ja kasutatakse PLC projektide loomiseks ja komplimeerimiseks RTU32-s.

STRATON toetab programmeerimiskeeli nagu ST (*Structured Text*), FB (*Function Block*), LD (*Ladder*), IL (*Instruction List*) ja SFC (*Sequential Function Chart*) [7].

### 6.4 Tarkvara – kommunikatsioonidraiverid

RTU32 peamised draiverid ja protokollid [7]:

- I/O draiverid integreeritud I/O-dele ja laiendusmoodulile
- ModbusRTU *Master* ja *Slave*
- ModbusTCP klient ja server
- ModbusASCII *Master* ja *Slave*
- IEC60870-5-101 *Master* ja *Slave*
- IEC60870-5-103 *Master*
- IEC60870-5-104 klient ja server
- IEC61850 klient
- IEC61850 Server sisaldab GOOSE (*Generic Object Oriented Substation Events*)
- SNMP (*Simple Network Management Protocol*) agendi draiver
- PROFIBUS DP (*Decentralized Peripherals*) *Master*
- PROFIBUS DP *Slave*
- PROFI NET klient
- DNP3 *Master / Slave*
- DNP3 UK-WITS *Slave*
- COMLI *Master*
- DLMS *Master*
- 118.C37 klient
- Jaotatud sündmustel põhinev sidumine jne

### 6.5 SATEC SA320

ezPAC™ SA320 võimaldab kombineerida energia analüüsi ja juhtimist.

SA300 seeria on mitmete tarkade elektrooniliste seadmete (IED) ühend, mis on koondatud ühte võimsasse seadmesse. See ühendab 6 funktsiooni, et tagada täielik alajaamade või tööstusseadmete automatiseerimine [8]:

- Arvesti funktsioon
- Energiakvaliteedi mõõtmine
- Vigade salvestamine
- Sündmuste logi
- Reservkaitse varustus
- Juhtimisseadmed

SA320 on modulaarne seade, tänu millele saab komplekteerida nõudmistele vastava seadme.



Joonis 6.2.1 SATEC ezPAC™ SA300 [9]

SATEC ezPAC™ SA320 seadistatakse ja jälgitakse programmiga PAS (*Power Analysis Software*) [8].

## 7 TTÜ MIKROVÕRGU KONTAKTORITE JUHTIMINE JA MONITOOIMINE

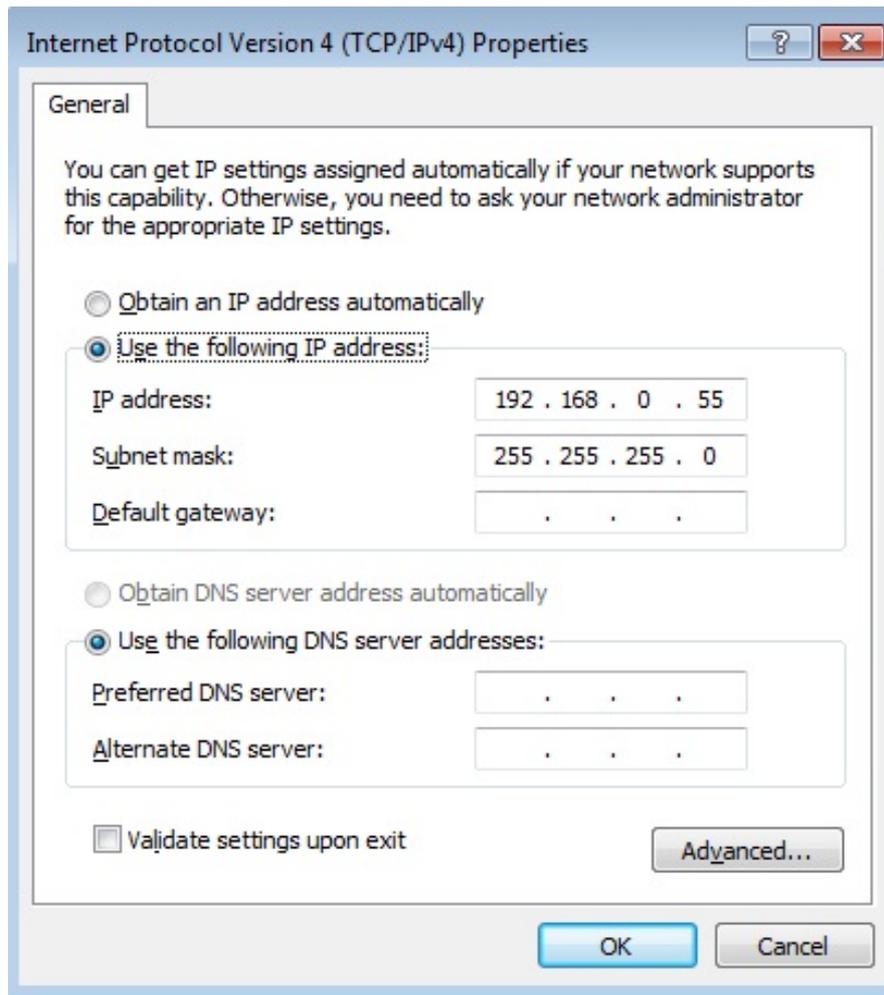
### 7.1 Arvuti ja RTU vahelise ühenduse kontroll

Töö alustamiseks tuleb arvuti kohalikust võrgust lahti ühendada ja muuta arvuti IP aadress. IP aadressiks määrata 192.168.0.55. Vastavad IP aadressid leiab tabelist 7.1.

Tabel 7.1 Mikrovõrgus kasutusel olevate seadmete IP aadressid

<b>RTU</b>	192.168.0.1
<b>Gateway</b>	192.168.0.3
<b>PG1</b>	192.168.0.5
<b>PG2</b>	192.168.0.6
<b>PG3</b>	192.168.0.7

Märkus. Tabelis 7.1 esitatud tähised on kirjeldatud lisas 8.



Joonis 7.1.1 IP aadresside määramine

Peale IP aadresside määramist avada *Command Prompt* (cmd) ja pingida RTU IP aadressi (Tabel 7.1), et kontrollida arvuti ja RTU seadme vahelist ühendust.

```
C:\windows\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Version 6.1.7601]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\elmo>ping 192.168.0.1

Pinging 192.168.0.1 with 32 bytes of data:
Reply from 192.168.0.1: bytes=32 time<1ms TTL=128

Ping statistics for 192.168.0.1:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 0ms, Average = 0ms

C:\Users\elmo>
```

Joonis 7.1.2 Pingimine

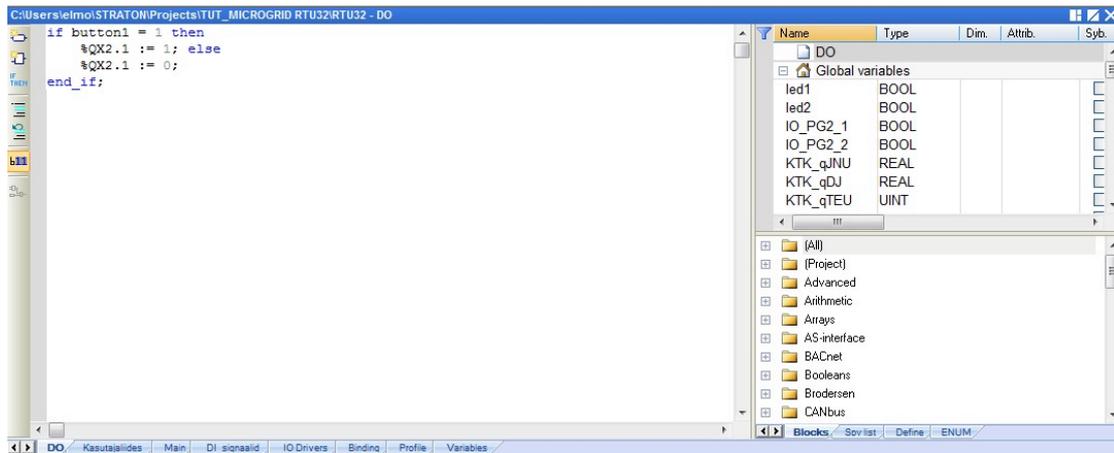
## 7.2 Andmevahetus arvuti ja RTU seadme vahel

Andmevahetuseks arvuti ja RTU seadme vahel kasutatakse CAT5 kaablit. CAT5 võrgukaabli kaudu on võimalik vahetada andmeid kasutades protokolle, mida vastavad seadmed toetavad.

### 7.2.1 Kontaktori KM1 juhtimine kasutajaliidesega

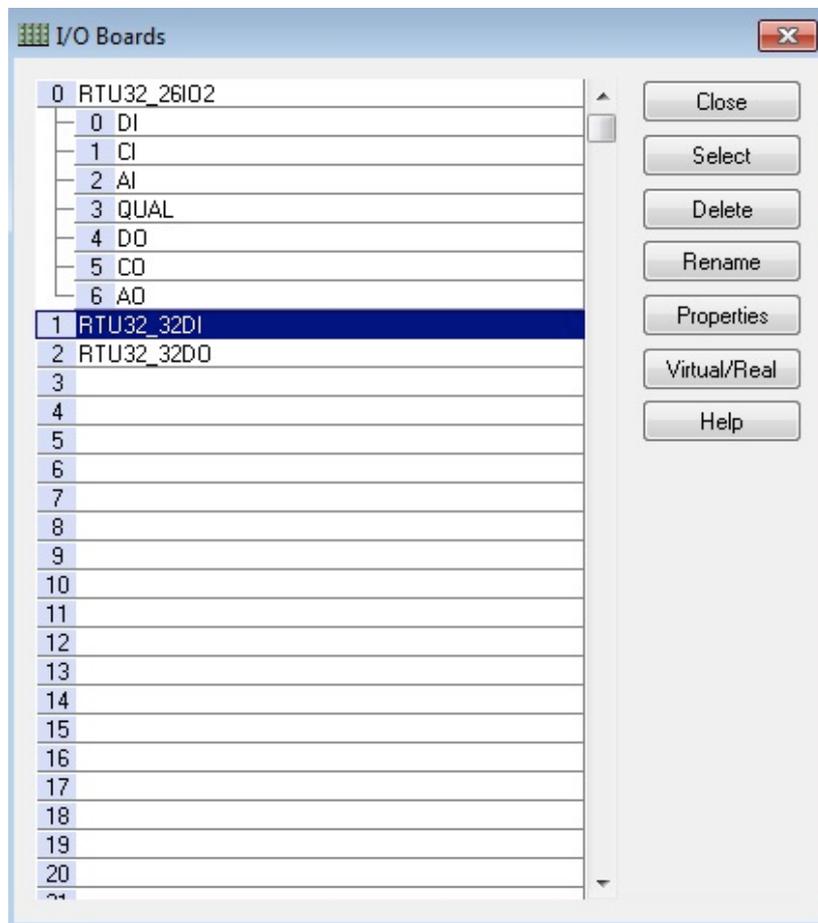
TTÜ Energeetikamaja mikrovõrgu skeemis (lisa 8) on näidatud, et RTU32 on ühendatud alalisvoolu kilbis olevate kontaktoritega ja vahelduvvoolu kilp on ühendatud SATEC SA300-ga (skeemis PG1). Juhtida ja jälgida tuleb vahelduvvoolu kilbi kontakteid. RTU32 laiendusmoduli DO2 on ühendatud kontaktoriga KVR2, mis omakorda on ühendatud SATEC SA300 DI15-ga.

Vahelduvvoolukilbi kaugjuhtimiseks tuleb K-0-A (käsitsi – 0 – automaat) lüliti keerata automaatrežiimile. Kontaktori KM1 lülitamiseks tuleb juhtida kontaktorit KK1. KK1 juhtimiseks läbi RTU32 on tarkvaraliselt seotud SATEC SA300 DI15 ja DO2. Kontaktori KM1 lülitamiseks on koostatud programmeerimiskeskonnas STRATON lühike IF lausest koosnev kood, kasutades Brodersen RTU32 seadme vastavaid muutujaid.



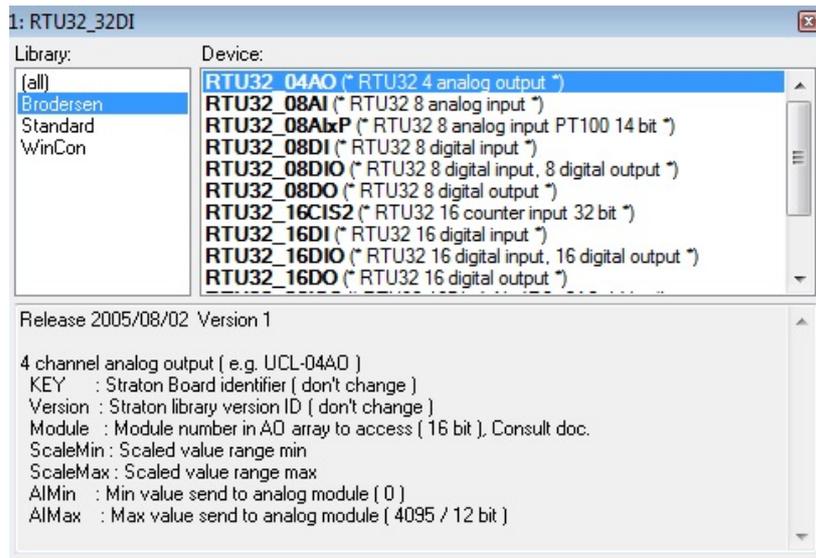
Joonis 7.2.1 STRATON programmeerimiskeskond ja KM1 lülitamise kood

Vajutades programmeerimiskeskonnas STRATON nupule OPEN I/Os avaneb järgmine tabel (joonis 7.2.2).



Joonis 7.2.2 RTU32 sisendite/väljundite muutujate valimine.

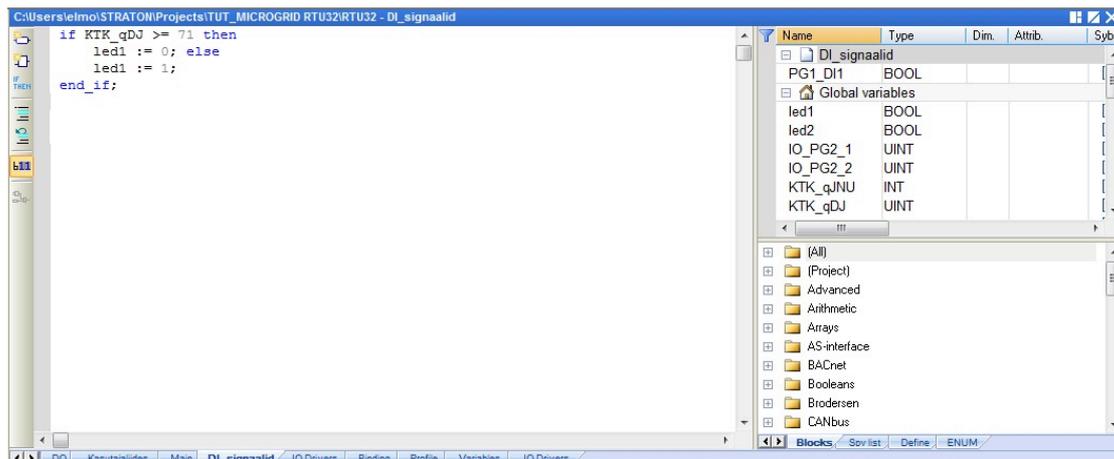
Joonisel 7.2.1 on kujutatud TTÜ Energeetikamaja mikroõrgus oleva RTU32 seadme ja antud seadme laiendusmoodulite muutujate automaatne deklareerimine. STRATON võtab RTU32 seadme mälust vajalikud muutujad ning vastava konfiguratsiooni järgi valitakse välja konkreetsed laiendusmoodulid, mis on põhiseadme külge ühendatud (joonis 7.2.3).



Joonis 7.2.3 RTU32 seadme vastavate laiendusmooduli muutujate valik

## 7.2.2 Vahelduvvoolukilbi kontaktorite asendite kuvamine

Kuna RTU32 seade on ühendatud vahelduvvoolukilbiga läbi SATEC SA300 tuleb siduda vastavad Modbus aadressid. Modbus aadresside sidumiseks saab kasutada PAS-i. KM1 kontaktori asendite kuvamiseks tuleb saada SATEC SA300 DI3 väärtus. Selleks tuleb DI3 Modbus aadress edestada STRATON-i. Vajalikud DI/DO Modbus aadressid on kirjeldatud seadmega kaasas olevas Modbusi kasutamise juhendis. DI3 väärtus tuleb STRATON-sse edastada UINT tüüpi väärtusena, kuna antud registrile on andmelehes kirjeldatud antud andmetüüp. Kontaktori KM1 olekusignaali (sees/väljas) edastamiseks on koostatud vastav kood, kus kümnendkoodi väärtuse 70 korral on lüliti sees ja väärtuse 258 korral on lüliti väljas (joonised 7.2.4 ja 7.2.5).



Joonis 7.2.4 Kood kontaktori KM1 asendisignaali kuvamiseks

No.	Date/Time	DI1:16	DI17:32	DI33:48	DI49:64	DI65:80	DI81:96
1	05/14/14 12:34:43	0110001000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000
2	05/14/14 12:34:44	0110001000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000
3	05/14/14 12:34:45	0110001000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000
4	05/14/14 12:34:46	0110001000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000
5	05/14/14 12:35:39	0100000100000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000
6	05/14/14 12:35:40	0100000100000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000
7	05/14/14 12:35:41	0100000100000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000
8	05/14/14 12:35:42	0100000100000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000

Joonis 7.2.5 PAS andmemonitor

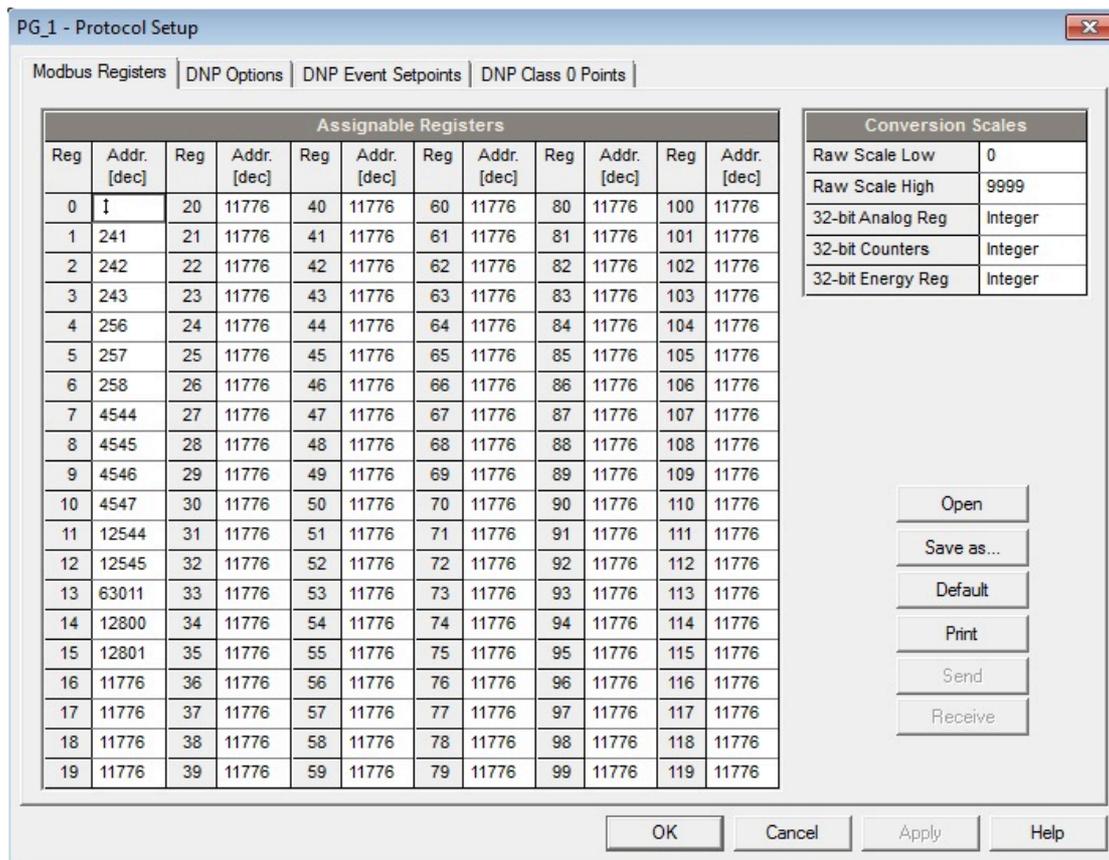
Programmi PAS andmemonitorist (joonis 7.2.5) on kirjeldatud väärtused 70 ja 258 kahendkoodina, selle järgi kontrollisime STRATON-sse kuvatavate väärtuste õigsust.

KM1 oleku kuvamiseks on paigaldatud kasutajaliidesesse vastav lamp (joonis 7.2.6). Kui lamp põleb on KM1 sees, kui mitte on väljas.



Joonis 7.2.6 Kasutajaliides KM1 lülitamiseks

Modbus aadresside registris on kirjeldatud aadressid 0-119 kasutaja poolt määratavatena. Kasutades PAS tarkvara on võimalik aadressidele 0-119 määrata soovitatavad väärtused (joonis 7.2.7). Samuti tuleb arvestada Satec SA300 kontrolleri puhul, et Modbus aadressid on ühe koha võrra nihkes.



Joonis 7.2.7 Modbus registrite määramine PAS tarkvaraga

## 8 ÜLEVADE ELEKTRISÜSTEEMIDE ANDMESIDE STANDARDITEST

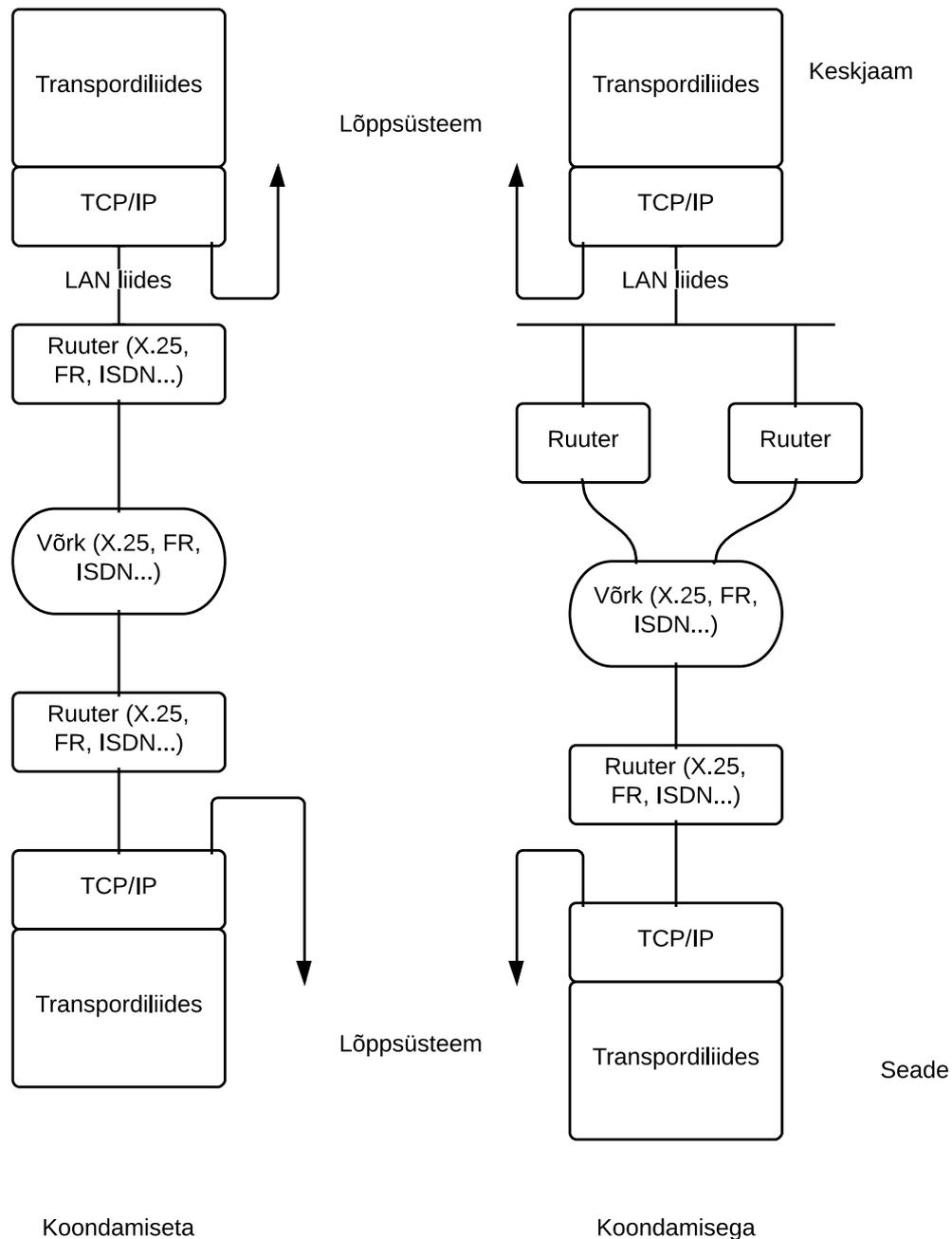
### 8.1 IEC 60870-5-104

IEC 60870-5-101 tagab kommunikatsiooniprofiilid peamiste telejuhtimise sõnumite saatmiseks telejuhtimise keskuse ja vastuvõtja vahel, mis kasutab püsivaid ühendusi andmeahelates tsentraalse juhtimiskeskuse ning individuaalse vastuvõtja vahel.

See osa IEC 60870 standardist puudutab telejuhtimise seadmeid ja süsteeme koos kodeeritud biti järjestikuse andmevahetusega juhtimaks ja jälgimaks geograafiliselt laialtlevinud protsesse. See defineerib telejuhtimise standardi, mis võimaldab koostalitlusvõime kokkusobivate telejuhtimisseadmete vahel. Selle osa spetsifikatsioonid kirjeldavad IEC 60870-5-101 nõuete ja TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) transpordifunktsioonide kombinatsiooni [10].

### 8.1.1 Üldine struktuur

Antud standard defineerib TCP/IP liidese kasutamise võrgus, mis sisaldab näiteks LANi telejuhtimise seadmena, mis edastab IEC 60870-5-101 ASDUsid (*Application Service Data Unit*). Ruuterid, mis sisaldavad erinevaid WAN-tüüpe võivad olla ühendatud läbi ühise TCP/IP-LAN liidese (joonis 8.1.1). Joonis 6.1.1 näitab koondatud ja koondamata süsteemi võrdlust keskjaamas [10].



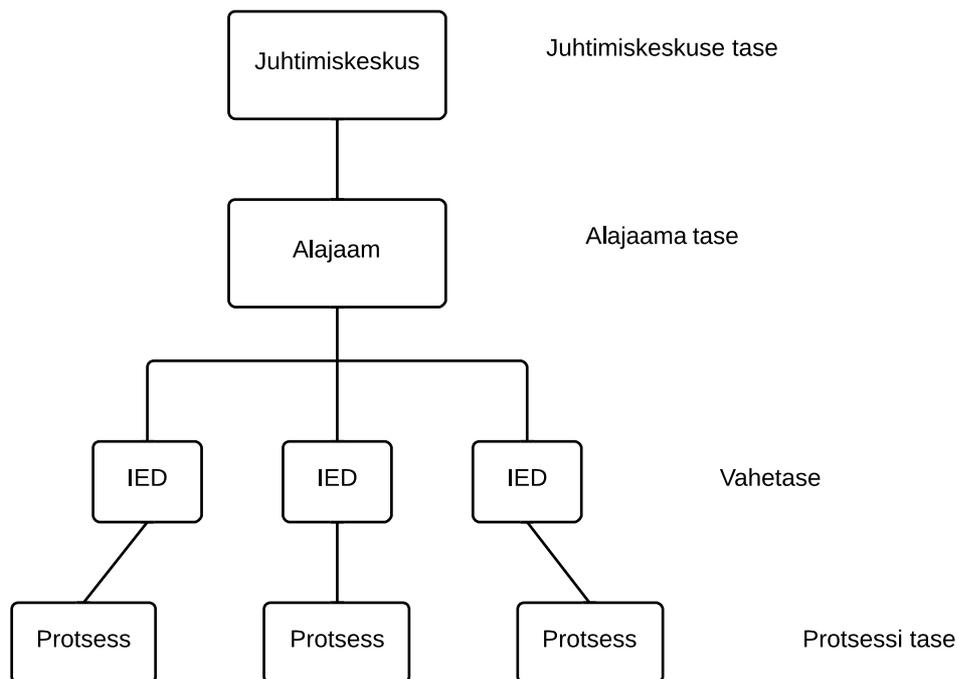
Joonis 8.1.1 Üldise struktuuri näide

## 8.2 IEC 61850 side alajaamast juhtimiskeskusesse

IEC 61850 standardit tutvustati esmakordselt aastal 2004. See defineerib tarkade elektrooniliste seadmete (IED) ja alajaama vahelise side. Tänu TCP/IP kommunikatsiooniplatformile on IEC 61850 samuti rakendatav laia võrgu (*wide-area*) kommunikatsioonitehnoloogiates. Standardiseerimise töögrupid panustasid uutele rakendatavatele aladele nagu alajaama ja alajaama vaheline side ning alajaama ja juhtimiskeskuse vaheline side [11].

### 8.2.1 Kasutusala

Infovahetus on põhiline ülesanne alajaama ja juhtimiskeskuse vahelise side korral. Joonisel 6.2.1 on kirjeldatud plokk skeemina elektrisüsteemi juhtimise tasemed [11]. Infovahetus on süsteemide ja vajalike osade vahel on kujutatud joontena.



Joonis 8.2.1 Elektrisüsteemi juhtimise ja automatiseerimise plokk skeem

Seadmete kaitse, juhtimine ja monitooring on põhilised funktsioonid, mida peab tagama automatiseeritud alajaam. Targad elektroonilised seadmed hangivad seadmetest infot staatuse ja mõõtmiste kohta ning juhtimiskäskude või võimsuslüliti rakendumise korral edastavad seadmetele infot läbi protsessiliidese. Horisontaalne side tarkade elektrooniliste seadmete

vahel teostatakse alajaamade laiadele funktsioonidele nagu näiteks juhtimise blokeerimine. Juhtimise ja jälgimise eesmärgil vahetatakse informatsiooni vertikaalselt – targast elektroonilisest seadmest läbi alajaama juhtimiskeskusesse ja vastupidi [11].

### **8.2.2 IEC 61850 põhine side alajaama ja juhtimiskeskuse vahel**

Alajaama ja juhtimiskeskuse side kasutusvõimalused [11]:

- SCADA
- Mõõtmine
- Aja sünkroniseerimine
- Rikete edastamine
- Laia ala jälgimine
- Energia kvaliteedi jälgimine
- Turvamine (nt sissetungi eest)
- Parameetrite ja seadistuste muutmine
- Inseneering

SCADA kasutusvõimalus sisaldab otsest ja perioodilist andmevahetust alajaama ja juhtimiskeskuse vahel. Samuti on võimalik alajaamade individuaalne ja grupiviisiline jälgimine. SCADA võimaldab samuti jaotlate kaugjuhtimist ja monitooringut juhtimiskeskusest [11].

Side funktsionaalsus juhtimiskeskusega kasutades IEC 61850 tekitab samad nõuded IEC 60870-5-101/104 põhiste lahendustega, kuid samuti mõned spetsiaalsed nõuded alajaamade sideks IEC 61850 kaudu [11].

Protokollist sõltumatud nõuded [11]:

- Andmete koondamine
- Sarnaste andmete tähistamine
- Koondatud infovahetus
- Küberjulgeoleku tugi

IEC 61850 spetsiaalsed nõuded [11]:

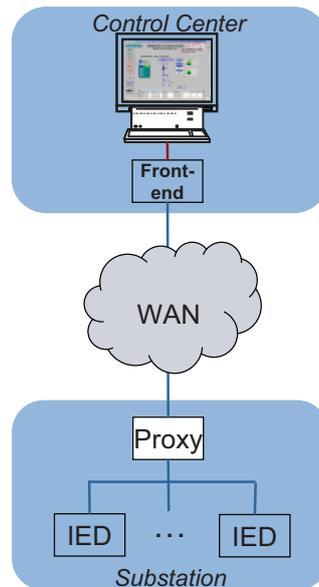
- Andmemudeli standardiseeritud kirjeldus
- Side seadistuse standardiseeritud kirjeldus

Lairiba sidevõrkude korral, mida kasutavad suuremate ülekandevõrkude operaatorid, alajaama ja juhtimiskeskuse vahelise sidelüli ribalaius on madalam kui alajaamades.

Selle tulemusena ainult informatsiooni alamhulk, mis on alajaamades edastatakse informatsiooni kitsaskohtade tõttu juhtimiskeskusesse. Seetõttu on oluline informatsiooni koondamine enne juhtimiskeskusesse saatmist [11].

Vastavalt nõuetele saab kasutada kahte erinevat seadistust [11]:

### Seadistamine *proxy* seadmega



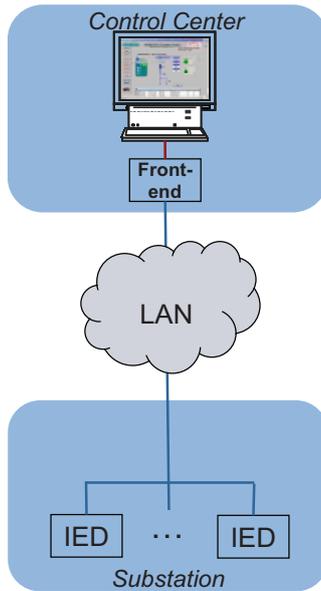
Joonis 8.2.2 Seadistamine kasutades *proxy* seadet [11]

*Proxy* seade on spetsiaalne tark elektrooniline seade, mis juhib suhtlust alajaama ja juhtimiskeskuse kommunikatsiooni *front-end* seadme vahel läbi WAN-i. Vastupidiselt modemitele, mis konverteerivad protokolle, *proxy* seadmed küsivad ja edastavad andmeid sama protokolliga.

Antud rakenduses koondavad alajaamast IED-sse edastatud andmeid *proxy* seadmed [11].

### Seadistamine *proxy* seadmata

Kui kohalik võrk võimaldab kõrget ribalaiust ja piiratud arvu alajaamade ning IED-de kasutamist on mõistlik kasutada seadistust *proxy* seadmata [11].

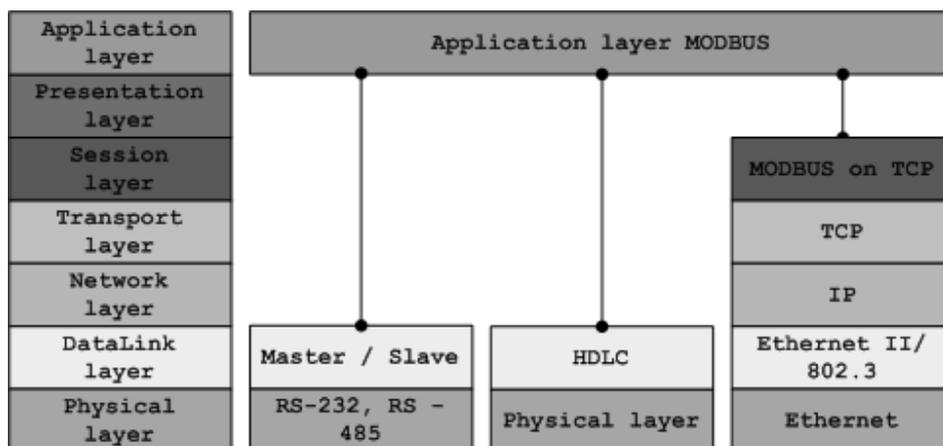


Joonis 8.2.3 Proxy seadmeta seadistamine [11]

Tavaliselt on antud konfiguratsioon kasutusel tööstuslikes elektrisüsteemides ja väikestes jaotusvõrgu ettevõtetes, kus kasutatakse kohalikku võrku (LAN). See tagab majandusliku kokkuhoiu proxy seadme soetamisest ja tööshoidmisest [11].

### 8.3 Modbus

Modbus protokoll on järk-järgult saanud tööstusautomaatika süsteemide loomise standardiks. Modbus toetab mitmeid võrgutehnoloogiaid nagu optiline side, raadiovõrk, RS-232, RS-422 ja RS-485 seeriaside ning TCP/IP lahendusi [12].



Joonis 8.3.1 Modbus sidestandardid [12]

Toetudes transporditehnoloogiatele toimib Modbus erinevates kihtides protokollide mudeli põhjal. Joonis 8.3.1 näitab võimalikke lahendusi Modbus protokollide kasutamiseks. Operatsioonitasemel töötab Modbus vastamise meetodil. Nõutud funktsioon esitatakse

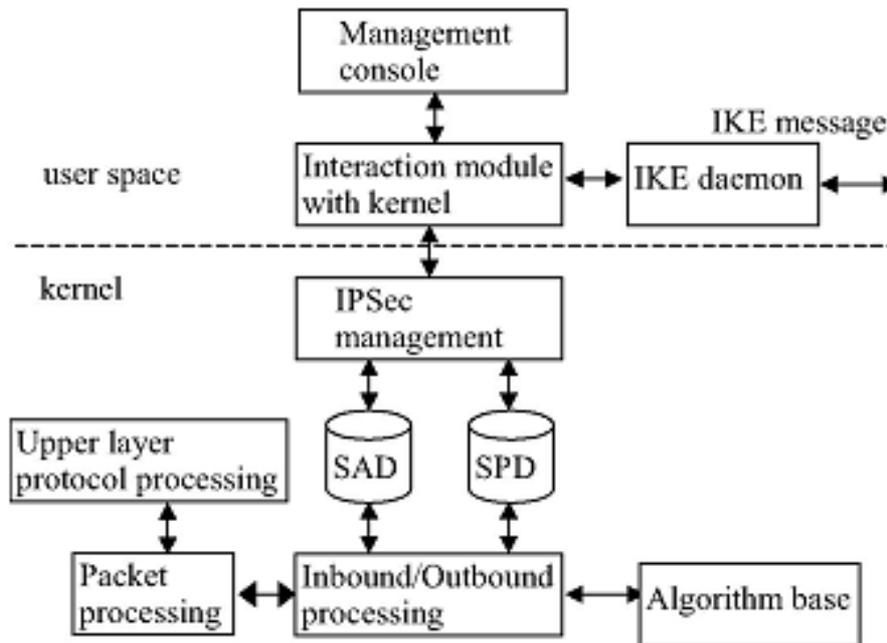
järjestikuse koodina, mis on esitatud protokollidokumentatsioonis. Modbus on sobiv põhiliselt seeria andmete kommunikatsiooniks ja ei ole optimeeritud suhtluseks läbi Etherneti. Modbus pluss on oluline areendus Modbusi eelnevale versioonile. Modbus plussi võib vaadata kui komplekset lahendust tööstuslikuks kaugsideks. TCP/IP lisamine Modbusile laiendab kasutusala. Ühenduseks üle interneti reserveeris Modbus pordi 502. Modbus/TCP ümbritseb Modbusi raamistikuga TCP raamistikuga lihtsal viisil. TCP esindab ühendusele orienteeritud ja usaldusväärset mehhanismi erinevalt teistest tööstuslikest või võrgutehnoloogiatest. Modbusi korral leiavad rakendust koostoimimise tehnoloogia eelised nagu Modbusi *Master* ja *Slave* iseloom. Samuti on antud protokollil ka puuduseid. Modbus ei võimalda edastada näiteks ajamärgisega sündmuseid. Sündmuste jadast puudub ajamärgis ja samuti ei võimalda küsitlusest väljajäänud andmete raportit [12].

## **9 VPN ÜHENDUS ALAJAAMA MODEMI JA ELEKTRILEVI SCADA VAHEL**

Elektrilevi ei võimalda turvariskide tõttu SCADA signaalide edastamist avaliku võrgu kaudu, seega tuleb kasutada VPN (*Virtual Private Network*) ühendust.

### **9.1 VPN ühendus**

VPN on privaatne võrk, mis püstitatakse üle avaliku võrgu. VPN põhieesmärgiks on isoleerida jagatud võrk võõrastest kasutajatest, samuti kaitsta tundliku informatsiooni konfidentsiaalsust ja terviklikkust liikumisel läbi mitteusaldusväärse võrgu nagu internet. VPN, mis põhineb IPSec tehnoloogial hõlmab kolme funktsionaalset ala: autentimist, konfidentsiaalsust ja võtme haldust (*key management*). Autentimise mehhanism tagab, et vastuvõetud pakett edastati osapoolte poolt, mis on identifitseeritud allikana paketi päises. See mehhanism tagab ka paketi muutumatused andmevahetuse käigus. Konfidentsiaalsuse teenus võimaldab suhtlussõlmedel krüpteerida sõnumeid vältimaks kõrvaliste osapoolte poolset pealtkuulamist. Võtmehalduse teenus puudutab turvalist paroolide vahetust. VPN disaini ja realiseerimise põhiprobleemiks on kuidas optimeerida VPN turvalise värava toimimist [13].



Joonis 9.1 VPN turvalise värava üldine ülesehitus [13]

Joonis 9.1 näitab VPN turvalise värava üldist ülesehitust, mis põhineb IPsec protokollil. IPsec protokollil põhineva VPN-i põhiideeks on turvähendus (*Security Association*). Turvähendus on eeskirjade ja võtmete kogumik, mida kasutatakse informatsiooni kaitsmiseks. Seal on turvähenduse andmebaas (SAD – *Security Association Database*), kus iga sissekanne defineerib parameetrid, mis on seotud pde turvähendusega. Seega on igal turvähendusel sissekanne turvähenduse andmebaasis. Turvastrateegia andmebaas (SPD - *Security Policy Database*) peab olema kogu liikluse (sissetulev ja väljaminev) töötlemise käigus konsulteeritud, samuti mitte-IPsec liiklus. Interneti võtmevahetus (IKE – *Internet Key Exchange*) tagab võtmevahetuse skeemid suhtlevatele üksustele. See on rakendatud läbi IKE daemoni. Arvuti riistvara arenguga ja arvutustehnika võimekuse suurenemisega on krüptosüsteemi nõutav biti pikkus viimaste aastate jooksul suurenenud ning on pannud rakendustele suurema töötlemiskoormuse. Tark on kasutada lühemate võtmetega krüptograafia algoritme ja sellega optimeerida võtmevahetus protsessi. See võib omada suurt mõju süsteemi üleüldisel toimimisel [13].

## 9.2 Küberturvalisus tarkvõrgus

Elektrisüsteemi rakendused kasutavad sidet relee katseskeemides ja SCADA operatsioonides. Alajaama sideprotokollid on kõige kriitilisemad osad elektrisüsteemi operatsioonides ning on

vastutavad alajaama ja juhtimiskeskuse vahelise informatsiooni edastamises. SCADA arhidektuur on kujundatud tagamaks turvalist ja kindlat protsesside kontrolli. SCADA protokollid, mida rajatistes kasutatakse rakendavad omadusi nagu ajamärke ja “vali enne toimingut,” et tagada võrgu ja seadmete turvalisus. Kuid SCADA protokollid ei ole kujundatud pidades silmas küberturvalisust ja omavad mitmeid küberturvalisuse puudusi.

Klassikalises alajaamade automatiseerimise protsessis käitub RTU igas alajaamas liidesena välistele süsteemidele. Modernses alajaamade automatiseerimises on andmevahetus toimingud allutatud alajaama sideväravale (*gateway*). Alajaama andmeväravad koguvad andmeid seeria või ethernet baasil töötavatest tarkades elektroonilistest seadmetest ja teevad nad kättesaadavaks kohapealt kui ka kaugelt. Elektriseadmete tootjad tutvustavad erinevaid alajaamade andmekontsentraatoreid, et koguda infot mõõtmiste, staatuste, sündmuste ja veateadete kohta. Küberturvalisuse kindlus on kriitiline faktor, vältimaks kolmandate osapoolte ligipääsu, läbi avaliku võrgu, antud informatsioonile. Seetõttu vajame küberturvalisuse meetmeid kaitsmaks sidet alajaama ja väliste süsteemide vahel.

Küberturvalisust tarkvõrgus tuleks kujundada viisil, et elektrisüsteemi operatsioonid toimiksid korrektselt hoolimata turvalisuse kompromissidest ja turvameetmete täitmisest. Elektrisüsteemi side konfidentsiaalsus, terviklikkus ja kättesaadavus peavad olema tagatud [14].

## **10 SCADA SISSETUNGIVASTASED SÜSTEEMID**

SCADA süsteemid mängivad olulist rolli taastuva energia süsteemide kaitses ja juhtimises. Tõusev SCADA süsteemide standardiseerimine ja sidumine ülekandevõrkudes laiendab võimalust pahatahtlikeks küberrünnakuteks. SCADA süsteemide projekteerimisfaasis üldiselt ei panda rõhku turvalisuse aspektidele. Seetõttu on SCADA süsteemidel haavatavate punktide ründamise oht. Sellised sissetungid võivad viia võrgu füüsiliste kahjustusteni [18].

IEC 60870-5-104 sideprotokoll esitleb võrgu ligipääsu IEC 60870-5-101 jaoks, mis põhineb TCP/IP protokollil, mida kasutatakse põhilisteks telejuhtimise ülesanneteks. IEC 60870-5-104 edastab sõnumeid tekstina ilma mingi autentimismehhanismita. Kuna IEC 60870-5-104 põhineb TCP/IP protokollil, millel on oma küberturvalisuse probleemid [18].

## 10.1 IEC 104 signatuuri põhine tuvastamine

Signatuuril põhinev tuvastus, mida tuntakse ka kuritarvitamise tuvastusena, on tüüpiline IDS (*Intrusion Detection System*) tehnoloogia IT turvalisuses, mis kasutab musta nimekirja meetodit. Signatuuril põhineva tuvastuse reeglid on arendatud, et oleks võimalik identifitseerida tuntud kahtlaseid või pahatahtlike rünnakuid SCADA süsteemile, mis põhineb IEC 104-1. Neid reegleid on võimalik kasutada ka rünnaku allika jälitamiseks. See informatsioon aitab potentsiaalselt ennetada rünnakuid tulevikus. Välja pakutud reeglid viitavad järgmistele ebanormaalsetele sündmustele SCADA süsteemis [18]:

Mitte IEC 104 side: Loodud ühendus juhtimiskeskuse ja serveri vahel, nagu IED või RTU on kaaperdatud või võltsitud.

Spontaansete sõnumite torm: Suur kogus valesid spontaansid sõnumeid saadetakse serverist, et koormata üle juhtimiskeskuse servereid või operaatoreid.

Autoriseerimata lugemise käsk serverile: autoriseerimata klient üritab lugeda infot alajaama seadmetest.

Kaugjuhtimise käsud või seadistused autoriseerimata kliendilt: autoriseerimata klient üritab serverisse edastada juhtimis või seadistus käske.

Protsessi lähtestamise käsk autoriseerimata kliendilt: ründaja võib sundida serveri protsessi lähtestama edastades tüübi identifitseerimise 69H käsu.

Potentsiaalne puhvri täitumine: pahatahtliku või vale paketi pikkus võib ületada normaalse paketi pikkuse.

Kuna signatuuri põhine meetod vajab teadmisi rünnakutest enne signatuuride loomist on võimatu tundmatuid rünnakuid tuvastada. Selleks, et suurendada selliste rünnakute tuvastamist on võetud kasutusele täiendav meetod, milleks on mudelipõhine tuvastus [18].

## 10.2 IEC 104 mudelipõhine tuvastus

Mudelipõhise tuvastuse põhimõte on ehitada mudeleid, mis iseloomustavad selle protokolliga oodatavaid käitumisi, kasutades sügavutimisevat protokolliga analüüsi. Mudelipõhisel lähenemisel on potentsiaalne võimalus tuvastada hetkel tundmatud rünnakud. Võrdluseks traditsiooniliste IT võrkudega on SCADA süsteemidel spetsiifilised sideprotokollid ja regulaarne protokollile omane käitumine, mis lihtsustavad mudelite spetsifikatsioone. Mudelipõhine tuvastus jaguneb kaheks: protokollipõhine mudel ja liikluskorraldusepõhine mudel [18].

## 10.2.1 Protokollipõhine mudel

IEC 104 standard määratleb oodatavad side eripärad klientide ja serverite vahel. Protokollipõhises lähenemises tekitab sissetungivastane süsteem alarme.

Tüübi identifitseerimis mudelid

Tüübi identifitseerimine (TI – *Type Identification*) teenuse taotluse andmeüksuses (ASDU – *Application Service Data Unit*) on üks oktett, mis esindab ASDU tüüpi. TI väljal on 256 võimalikku väärtust. Väärtus “0” puudub. Numbrite vahemik 128 – 255 on defineerimata. TI väärtused 1 – 127 on defineeritud. Mõned tüübi identifitseerimise väärtused on reserveeritud edasisteks ühilduvateks definitsioonideks.

Kui ASDU formaat I küsimine (I formaadis juhtimisvälja kasutatakse numbrilise informatsiooni ülekandmiseks) on saadetud IEC 104 kliendilt IEC 104 serverisse juhtimis suunas, saab TI mudelit defineerida järgnevalt [18]:

$$\forall C \in 104Request \cdot TIField(C) \in \{45 - 51, 58 - 64, 100 - 103, 105, 107, 110 - 113\} \quad (10.1),$$

kus C on IEC 104 päringute pakett juhtimissuunal. TIField on tüübi identifitseerimise väärtus. Kui I formaadis ASDU väärtus on saadetud serverist kliendini monitoorimis suunal defineeritakse TI mudel järgnevalt [18]:

$$\forall M \in 104Response \cdot TIField(M) \in \left\{ \begin{array}{l} 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 20, 21, 30 - 40, 70, 45 - 51 \\ 58 - 64, 100, 101, 103, 105, 107, 110 - 113 \end{array} \right\} \quad (10.2), \text{ kus } M$$

on IEC 104 vastuste pakett monitoorimis suunal [18].

### Ülekande põhjuse mudel

Ülekande põhjuse (CoT) väli ASDU-s on üks või kaks oktetti, mis suunavad ASDU kindlale ülesandele töötlemiseks, nagu tsükliline, perioodiline, spontaanne, küsitud ülekanne, küsimine keskusest ja grupiküsimine. Tavaliselt on CoT väljas 64 võimalikku väärtust. Nagu ka tüübi identifitseerimis mudelil on väärtus “0” defineerimata. Vahemikud 14 – 19 ja 42 – 63 on reserveeritud. CoT väärtused numbrite vahemikes 1 – 13 ja 20 – 41 on defineeritud. CoT mudelit saab kirjeldada näiteks järgnevalt:

$$\forall P \in 104(I)format \cdot CoTField \in \{1 - 13, 20 - 41\} \quad (10.3),$$

kus P on kaetud IEC 104 pakett ja CoTField näitab CoT välja väärtust ASDU-s.

### Pikkusvälja mudel

Pikkusväli (üks bait) teenuse protokoll andmeüksuses (APDU – *Application Protocol Data Unit*) APDU põhiosa pikkust, mis sisaldab ASDU-d ja nelja juhtimisvälja baiti teenuse protokoll juhtimis informatsioonist (APCI – *Application Protocol Control Information*).

Kuna APDU miinimum väärtuseks on 4 baiti ja maksimum väärtuseks 253 baiti kuulub pikkusvälja väärtus vahemikku [4, 253]. Pikkusvälja väärtus sõltub sõnumi formaadist ja tüübi identifitseerimise väärtusest APDU-s. Näiteks, kuna S formaadi ja U formaadi APDU-d sisaldavad ainult APCI-d ilma ASDU-ta (S ja U formaadi juhtimisvälju kasutatakse vastavalt nummerdatud järelvalve funktsioonides ja nummerdamata juhtimisfunktsioonides) on pikkusvälja väärtus fikseeritud ja see peaks olema “4”.

$$\forall P \in 104(S|U)format \Rightarrow lenField(P) = 4 \quad (10.4),$$

kus lenField näitab APDU pikkusvälja.

Kui pakett sisaldab I formaadi APDU-d, siis pikkusvälja väärtus peaks olema suurem kui 4 ja väiksem kui 253. Kuigi väärtus on muutuv korreleerib see tüübi identifitseerimisega, näiteks, kui TI väärtus on “45” (singelkäsklus) või “46” (duubelkäsklus) on tüüpiliseks pikkusvälja numbriks “14”.

$$\forall P \in 104(I)format \cdot TIField(P) \in \{45, 46\} \Rightarrow lenField(P) = 14 \quad (10.5)$$

### **Korreleatsioonimudelid**

Praktilistes rakenduskeskkondades vastab TI välja väärtus CoT välja arvule. Näiteks, kui TI välja väärtus juhtimissuunal 45, 46, 47 (reguleerimise sammu käsk), 48 (sammupunkti käsk normeeritud väärtusega), 100 (küsitlus käsk), 101 (vastuküsitlus käsk) on vastav CoT väärtus “6.”

$$\forall P \in 104Request \cdot TIField(P) = \{45 - 48, 100, 101\} \Rightarrow CoTField(P) = 6 \quad (10.6)$$

Kui TI väärtus monitoorimissuunal on 45 – 48, 100 või 101, siis vastav CoT väärtus on 7 või 10.

$$\forall P \in 104Response \cdot TIField(P) = \{45 - 48, 100, 101\} \Rightarrow CoTField(P) = \{7, 10\} \quad (10.7)$$

## **10.2.2 Liikluskorralduse põhised mudelid**

Põhineb mudelipõhisel SCADA sissetungi tuvastamisel Modbusile. Järgnevad liikluskorralduse mudelid kaasates IEC 104 serveri on esitatud [18]:

TCP ühenduse algatuse päring peaks olema saadetud IEC 104 kliendilt IEC 104 serverisse.

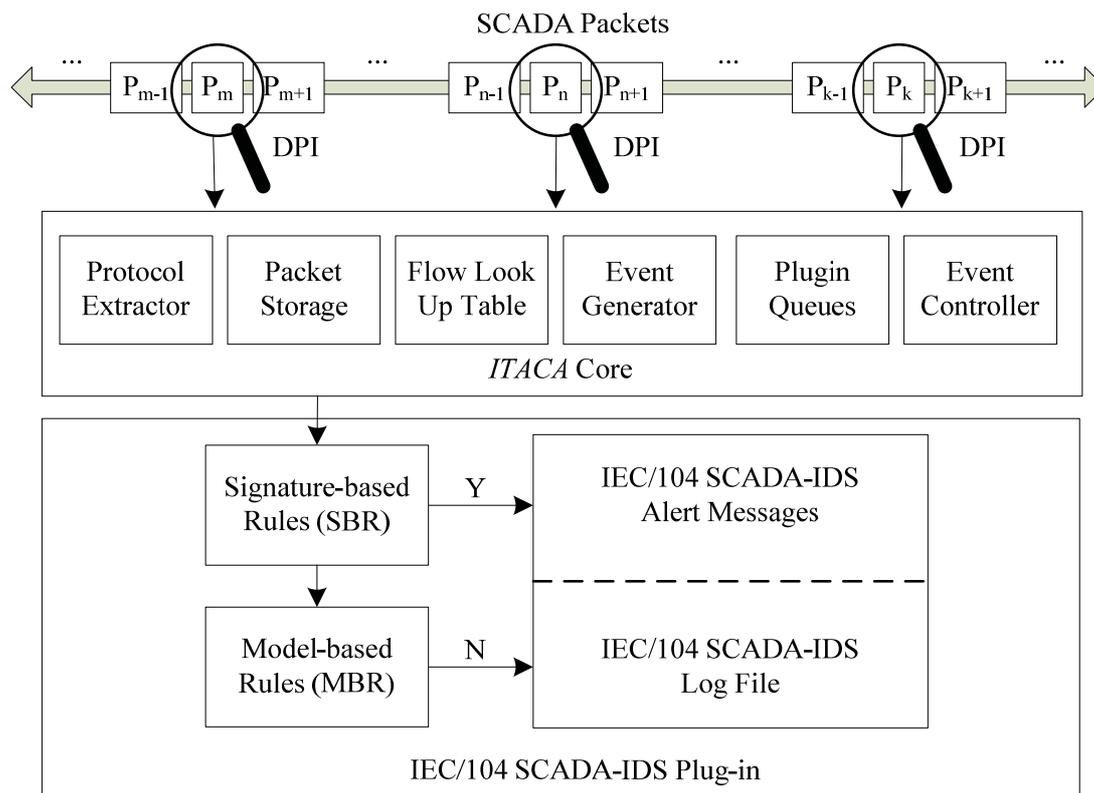
Pordi number TCP algatuse ühenduseks IEC 104 serveriga peaks olema 2404.

TCP ühendus, mis hõlmab IEC 104 servereid peaks hõlmama ka autoriseeritud IEC 104 kliente.

Iga kõrvalekallet eelmainitud mudelitest peetakse anomaalseks sündmuseks. Sarnaselt on mitmeid reegleid ja mudeleid arendatud analüüsides IEC 104 protokollit [18].

## 10.3 Rakendamine

Kirjeldatud SCADA-IDS on rakendatud kasutades interneti liikluse ja sisu analüüsi (ITACA – *Internet Traffic and Content Analysis*) tööriista. ITACA on tarkvara platvorm liikluse jälgimiseks ja reaalaja IP võrgu analüüsiks, mis on välja arendatud Turvalise infotehnoloogia keskuse poolt (CSIT) Belfasti ülikoolis. Laiendatav ja paindlik analüüsitööriist võimaldab rakendada pluginaid teostama kindlaid ülesandeid, näiteks sissetungivastast kaitset [18].



Joonis 10.1 SCADA-IDS rakendamine [18]

Jooniselt 10.1 on näha, et antud IEC 104 protokollipõhine SCADA-IDS koosneb kahest tuvastamis moodulist: Signatuuripõhised reeglid (SBR – *Signature-Based Rules*) ja Mudelipõhised reeglid (MBR – *Model-Based Rules*) [18].

Töötlemate baidid IEC 104 paketi andmetes on püütud ITACA võrgukihti, mida teostab paketi sidumise teek (PCAP – *Packet Capture*). ITACA tuum suudab välja võtta, tõlgendada ja analüüsida voogusid ning pakette kiirusega kuni 4Gb/s, selleks et edastada kogu võimalik informatsioon SCADA-IDS pluginas teostamiseks.

SBR ja MBR moodulid, mis on kirjeldatud vastavalt punktides 10.2.1 ja 10.2.2, on rakendatud kasutades C/C++ mooduleid, mis põhinevad ITACA platvormi sügaval paketi inspeksioonil (DPI – *Deep Packet Inspection*).

Käivitamise faasis on SCADA-IDS eelseadistatud parameetritega, nagu autoriseeritud IP aadressid ja pordi numbrid, mitmed sidekäsud, kehtivad TI ja CoT väärtused, õiged paketi pikkuse väärtused ja paketi sageduse väärtused.

Musta nimekirja meetodi korral triggerdatakse SBR väärtust kuni mõni kahtlane või pahatahtlik sündmus klapi SBR nimekirjaga. MBR korral iga kõrvalekalle defineeritud tuvastamismudelitest tekitab vastava alarmi sõnumi, mis salvestatakse logi faili [18].

## **11 ALAJAAMADE AUTOMATISEERIMISE EFEKTIIVSUS**

Alajaamade automatiseerimine energiatööstuses võimaldab kaugmonitooringu, kaughalduse ja elektrooniliste seadmete koostöö arengut. Alajaamade automatiseerimine vastandab alajaamade töökindluse ja efektiivsuse. Võimalikud riskifaktorid nagu äike, õnnetused, süsteemirikked või majanduslik efektiivsus on viinud alajaamade automaatikasüsteemide standardiseerimiseni [12].

Standardid ja nendele kohaldatud tehnoloogiad [12]:

- Vähendavad vaeva alajaama seadistamiseks
- Tekitavad rohkem võimalusi ja paindlikust
- Võimaldavad suuremat koostalitlust
- Madalamaid installatsioonikulusid
- Vähendavad alajaamades kohal käimise vaeva ja kulu

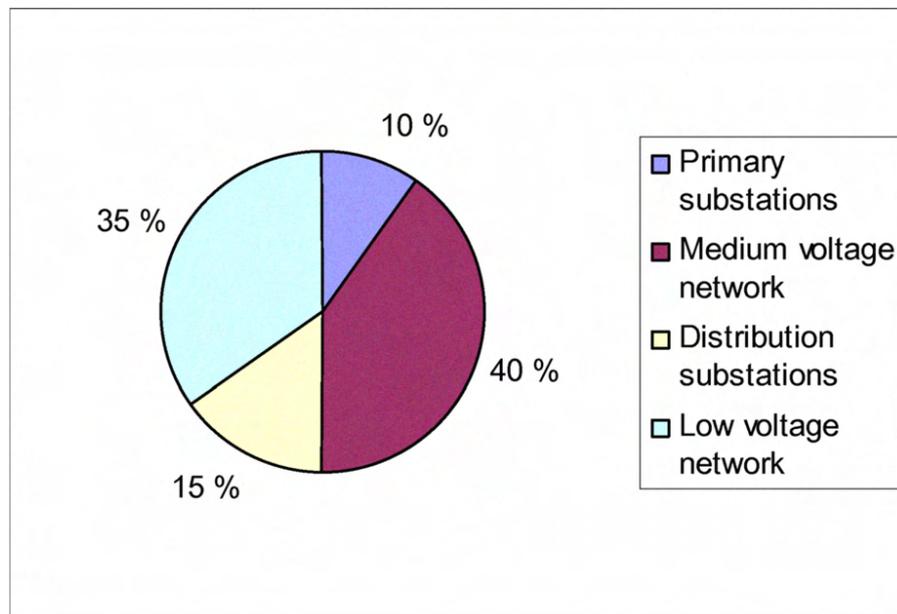
### **11.1 Alajaama installatsiooni ja arendamise kulutõhusus**

Elektri jaotusvõrgu ettevõtete vaatenurgast on kulutõhususel mõningad aspektid. Kõige endastmõistetavam, kuid pikas perspektiivis vähe kaasa aitav on installatsioonikulu. Arvestades ainult seda aspekti on kasutusel kõige lihtstatum konseptsiooni vaade, kus alajaama juhtimissüsteemi tsentraliseeritud kaitse ei ole kulutõhus, kui hinnasääst tuleb tänu vähendatud funktsionaalsusega tarkade elektrooniliste seadmete kasutamisest, mille kulu ületab hinnavõitu.

Tüüpiline varade osakaal Soome jaotusvõrkudes on näidatud joonisel 11.1.

Jooniselt 10.1 on näha, et ainult 10% varade osakaal on primaarsetel alajaamadel. Sellest osast ainult 10% kulub releekaitsele ja automaatikale, mis omakorda teeb kogu kulutustest 1%. Alajaama installatsioonikulu ei ole põhiline tegur, mis mõjutab alajaama kulutõhusust.

Teisest nurgast vaadates omab alajaamade automatiseerimine suurt mõju võrgu töökindlusele. Siit võib järeldada, et alajaamade automatiseerimine on hea võimalus suurendada kasumit väikeste investeeringutega [15].



Joonis 11.1 Soome jaotusvõrkude varade osakaal [15]

Alajaama kaitseüsteemi hooldus- ja arenduskulud saavad olla samas suurusjärgus, mis alajaama installatsioonikulud [15].

## 11.2 Töökindluse ja ohutuse kulutõhusus

Tunduvalt suuremat mõju hinnale alajaama elutsükli avaldab jaotusvõrgu töökindlus ja ohutus. Täiustatud funktsionaalsus alajaama automaatikas võimaldab vähendada rikete kestust ja aega, näiteks on võimalik rikkeindikaatorite abil kindlaks teha rikke asukoht. Tõstes kaitsealgoritmide täpsust, kasutades näiteks suunatud maakaitset, on võimalik ennetada valesid tõrke situatsioone (*false tripping*) ja minimeerida rikke poolt mõjutatavat ala. Sageli vajavad arenenud kaitsealgoritmid informatsiooni jaotlate lahtrite kohta ning see ei realiseeru tsentraalse lahenduse või kiire ja usaldusväärse sidevõrguta [15].

## 12 KOKKUVÕTE

Elektrilevile 2013 aasta hanke põhjal valmistatavad kaugjuhitavad komplektalajaamad peavad vastama esitatud nõuetele. Komplektalajaama ja juhtimiskeskuse vaheline andmeside peab toimuma standardi IEC 60870-5-104 baasil. Alajaama seadmete vaheline suhtlus võib toimuda IEC 60870-5-104, IEC 61850 või Modbusi baasil. RTU juhtimiseks kasutatakse nii singel kui ka duubelsignaale. Andmeedastus alajaamast juhtimiskeskusesse toimub läbi 3G modemi.

Elektrilevile valmistab kaugjuhitavaid komplektalajaamu AS Harju Elekter Elektrotehnika. AS Harju Elekter Elektrotehnika poolt valmistatavates komplektalajaamades kasutatakse kaht erinevat RTU seadet: Martemi RTU ja Viola RTU. Mõlemad seadmed töötavad samal põhimõttel, kuid kasutavad erinevaid modemeid ja andmekontsentraatoreid. Antud komplektalajaamades on kasutusel Kries IKI-50 rikkeindikaatorid, mis suudavad tuvastada rikke asukohta. Samuti on releekaitseks kasutusel Schneider Electric VIP 40 rele trafokaitseks ja sisenevas fiidris võib olla kasutusel VIP 410, vastavad konfiguratsioonid kirjeldab Elektrilevi. AS Harju Elekter Elektrotehnika valmistab nii ühe- kui ka kahetrafolisi komplektalajaamu.

Elektrilevi ülesandeks on viia elekter lõpptarbijani. Elektrilevi tagab elektrienergia ülekande põhivõrgu seadmetest lõpptarbijani. Elektrilevi hallata on ligikaudu 61000 km elektriliine ja rohkem kui 22000 alajaama. Tänapäevase seisuga kasutatakse Elektrilevis SCADA tarkvarana ABB MicroSCADA-t ja Martemi Telem SCADA-t, mis on üksteisest eraldiseisvad süsteemid.

TTÜ mikrovõrgus kasutatakse RTU seadmena Brodersen RTU32 seadet, mis on olemuselt nii RTU seade kui ka programmeeritav kontrolleri. TTÜ mikrovõrgus on RTU32 ühendatud SATEC SA320 kontrolleri, läbi mille toimub vahelduvvoolu kontaktorite juhtimine. RTU32 programmeerimiseks ja andmeside seadistamiseks kasutatakse STRATON WorkBench tarkvara. Samuti on võimalik lihtsamad konfiguratsioonid RTU32-s teha läbi veebilehitseja.

Personaalarvuti ja RTU seadme vahel ühenduse loomiseks tuleb ühendada arvuti kohalikust võrgust lahti ja muuta arvuti IP aadress. Ühenduse toimimist saab katsetada *Command Prompt*-is sisestades käskluse ping. Kui ühendus on loodud on võimalik RTU seadet STRATON-is

konfigureerima hakata. Kuna RTU32 seade on mõeldud STRATON-iga programmeerimiseks saab kõikide digitaal sisendite ja digitaal väljundite muutujad STRATON keskkonnast kätte. Seega on RTU32 seadme programmeerimine suhteliselt lihtne, juhul kui juhitavad seadmed on otse RTU32 seadme digitaal sisendite ja digitaal väljunditega ühendatud. TTÜ mikrovõrgu korral oli vahelduvvoolu kontaktori KM1 juhtimiseks ja monitoorimiseks vaja kasutada Modbus protokoll. Modbusi kaudu tuli siduda RTU32 sisendid, väljundid SATEC SA320 vastavate sisendite ja väljunditega. STRATON-sse sai loodud ka kontaktori KM1 juhtimiseks ja monitoorimiseks vastav kasutajaliides. Kasutajaliidesega saab jälgida kontaktori olekut ja ka seda ümber lülitada.

IEC 60870-5-104 standardis kirjeldatakse telejuhtimise seadmete ja süsteemide andmevahetust ja protsesside jälgimise põhimõtteid. IEC 61850 kirjeldab sidet alajaamade ja tarkade elektrooniliste seadmete vahel. Modbusi kasutatakse palju tööstusautomaatikas. Modbus ei ole optimeeritud töötamiseks läbi Ethernet pordi, vaid kasutab andmesideks seeria porte nagu näiteks RS-232.

Alajaama ja juhtimiskeskuse vaheliseks andmevahetuseks ei ole otstarbekas kasutada avalikku võrku, kuna avaliku võrgu kaudu võivad alajaama juhtimiseks ja monitoorimiseks vajalikud andmed jõuda kõrvaliste või isegi pahatahtlike plaanidega inimesteni. Välistamiseks info kõrvaliste inimesteni jõudmist on võetud kasutusele VPN tunnel. VPN tunnel püstitatakse üle avaliku võrgu ja tänapäeval on ta veel üsna turvaline, kuna selle murdmiseks on vaja väga kiiret arvutit.

IEC 60870-5-104 standardi korral kasutatakse mitmeid erinevaid sissetungi vastaseid süsteeme. Kuna IEC 104 standard põhineb TCP/IP protokollil, millel on omad riskid, on kasutusele võetud mitmeid erinevaid sissetungivastaseid süsteeme. Signatuuri põhine meetod vajab teadmisi rünnaku kohta enne signatuuri loomist, seetõttu ei suuda antud meetod ära tunda rünnakuid, milliseid pole varem esinenud.

Mudelipõhise tuvastuse korral ehitatakse mudelid, mis iseloomustavad protokollil oodatavaid käitumisi, kasutades protokollil analüüsi. Mudelipõhisel meetodil on suur võimalus tuvastada tundmatuid rünnakuid.

Protokollipõhisel meetodil on mitmeid võimalusi. Iga protokollipõhise meetodi rakendamise korral hakkab sissetungivastane süsteem alarme tekitama.

Liikluskorralduse mudel põhineb SCADA sissetungi tuvastamisel Modbusile. Antud mudel peab vastama teatud mudelitele ning iga kõrvalekallet mudelitest peetakse anomaalseks sündmuseks.

Alajaamade automatiseerimine vähendab alajaamades käimise vajadust, kuna vajalikke parameetreid on võimalik kaugelt jälgida ja muuta. Alajaamade automatiseerimine muudab võrgu juhtimise tunduvalt paindlikumaks. Kuna alajaamade automatiseerimine käib standardite järgi muutuvad installatsioonikulud väiksemaks ja alajaamade seadistamine tunduvalt lihtsamaks.

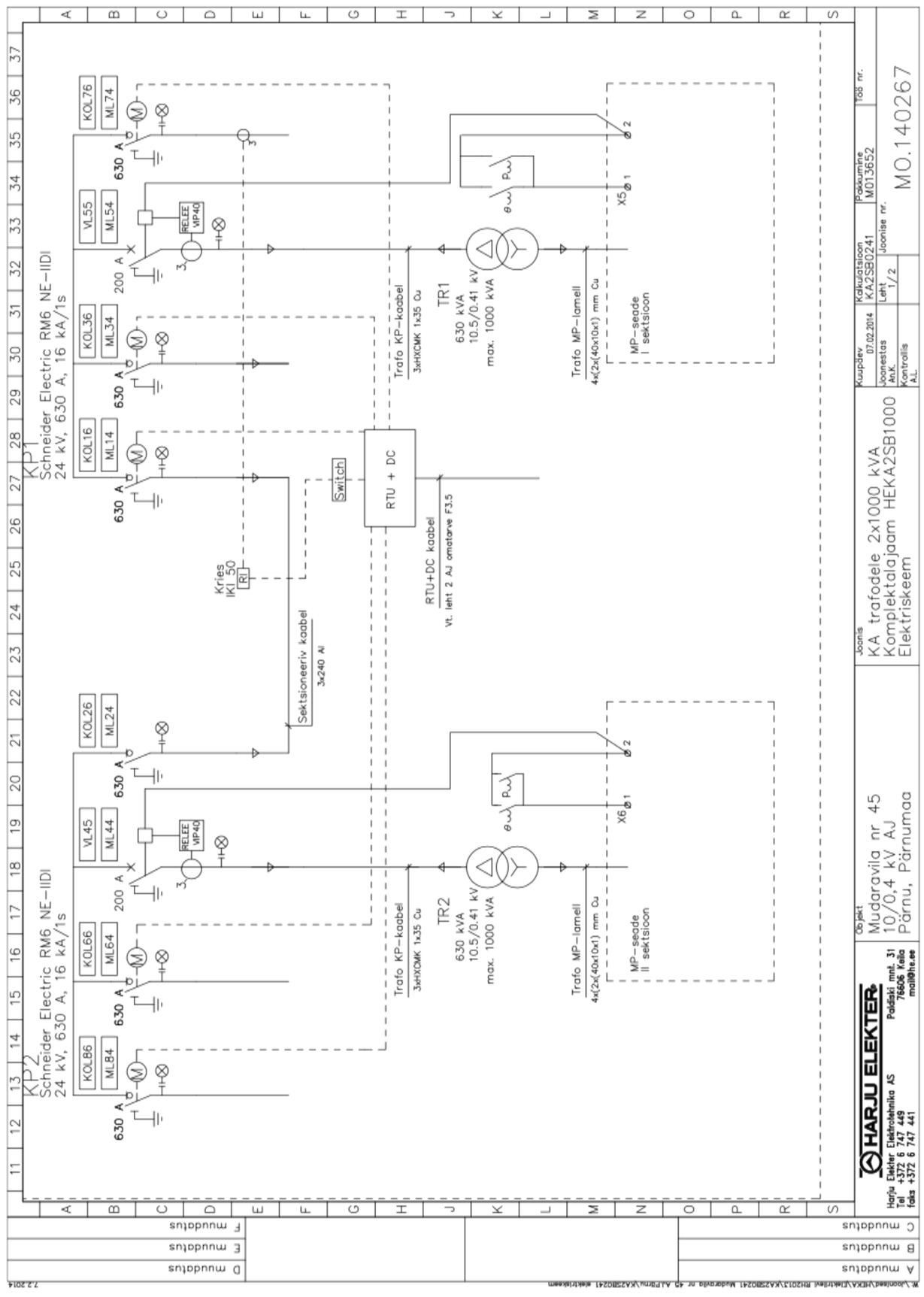
Magistritöö ülesandes kirjeldatud punktid on täidetud. Ülesandes kirjeldatud punktides oli kõige keerulisem TTÜ mikrovõrgu andmeside loomine, kuid esile kerkinud probleemid said mõistlikult lahendatud. TTÜ mikrovõrgus on võimalik jätkata minu alustatud tööd ja muuta nii vahelduvvoolu kui ka alalisvoolu kontaktorid kaugjuhitavaks. Samuti on võimalik luua andmevahetus Elektrilevi OÜ SCADA süsteemiga, mida sai antud tööd tehes ka Elektrileviga arutatud, kuid aja puudusel jäi see osa sooritamata.

## 13 KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] “Tehasetooteliste komplektalajaamade ostmine trafodele 630 kVA ja 1000 kVA (mõlemad kas automatiseeritud või automatiseerimise valmidusega),” Riigihange viitenumber 144051. 2013.
- [2] Viola Arctic Control seadme RTU lahendus  
[http://www.violasystems.com/sites/default/files/viola\\_assets/solutions/arctic\\_control\\_solution\\_web\\_20120921.pdf](http://www.violasystems.com/sites/default/files/viola_assets/solutions/arctic_control_solution_web_20120921.pdf) Vaadatud 14.04.2014.a.
- [3] Viola Systems Arctic Control tootekirjeldus  
[http://www.violasystems.com/sites/default/files/viola\\_assets/docs/arctic\\_control/arctic\\_control\\_web\\_20131218.pdf](http://www.violasystems.com/sites/default/files/viola_assets/docs/arctic_control/arctic_control_web_20131218.pdf) Vaadatud 12.04.2014.a.
- [4] “Arctic Control Hardware Manual,” 2010.
- [5] Viola Systems 3G modemi tootekirjeldus  
<http://www.violasystems.com/product/arctic-3g-gateway> Vaadatud 14.04.2014.a.
- [6] Martem Telem GWM-C datasheet
- [7] <http://brodersen.com/wordpress/wp-content/uploads/40200-RTU32-Data-Sheet.pdf>
- [8] SATEC ezPAC toodete kirjeldus [http://www.satec-global.com/UserFiles/File/SATEC/files/ezPAC\\_Brochure\\_2011.pdf](http://www.satec-global.com/UserFiles/File/SATEC/files/ezPAC_Brochure_2011.pdf) Vaadatud 20.04.2014.a.
- [9] SA300 Installation manual
- [10] EVS-EN 60870-5-104:2006. Telecontrol equipment and systems – Part 5-104: Transmission protocols – Network access for IEC 60870-5-101 using standard transport profiles.
- [11] Englert, H.; Dawidczak, H., “IEC 61850 Substation to Control Center Communication – Status and Practical Experiences from Projects. IEEE. 2009.
- [12] Horalek, J.; Matyska, J.; Sobeslav, V., “Communication Protocols in Substation Automation and IEC 61850 based proposal,” Department of Information Technologies University of Hradec Kralove Hradec Kralove, Czech Republic 2013. IEEE.
- [13] Yanqin, Z.; Peide, Q.; Yuemei, H., “Design and Optimization of VPN Security Gateway,” School of Computer Science and Technology, Soochow University Suzhou, China. IEEE. 2006.

- [14] Weerathunga, P.E.; Samarabandu, J.; Sidhu T., “Implementation of IPsec in substation gateways,” Department of Electrical and Computer Engineering Western University. IEEE. 2012.
- [15] Valtari, J.; Verho, P; Hakala-Ranta, A.; Saarinen, J., “Increasing cost-efficiency of substation automation systems by centralized protection functions,” 20<sup>th</sup> international conference on Electricity Distribution. IEEE. 2009.
- [16] Elektrilevi OÜ kodulehekül, Eesti elektrisüsteem <https://www.elektrilevi.ee/eesti-elektrisysteem> Vaadatud 13.05.2014.a.
- [17] Eesti Energia AS Distribution Network chose Supervision and Control System from ABB. 2001.
- [18] Yang, Y.; McLaughlin, K.; Littler, T; Sezer, S; Wang, H.F., “Rule-based intrusion detection system for SCADA networks,” The Queen’s University of Belfast, UK and Brunel University, UK. IEEE.
- [19] Kries IKI-50 tootekirjeldus kodulehelt <http://www.kries.com/en/iki-line/iki-50-grid-inspector.html> Vaadatud 15.05.2014.a.
- [20] “VIP40, VIP45 Electrical Network Protection Reference Manual,” 2011.
- [21] “VIP400, VIP410 Electrical Network Protection Reference Manual,” 2013.
- [22] “ABB Liquid filled transformers. IEC standard small and medium, rated power <2500 kVA, HV ≤ 36 kV,” ABB. 2010.

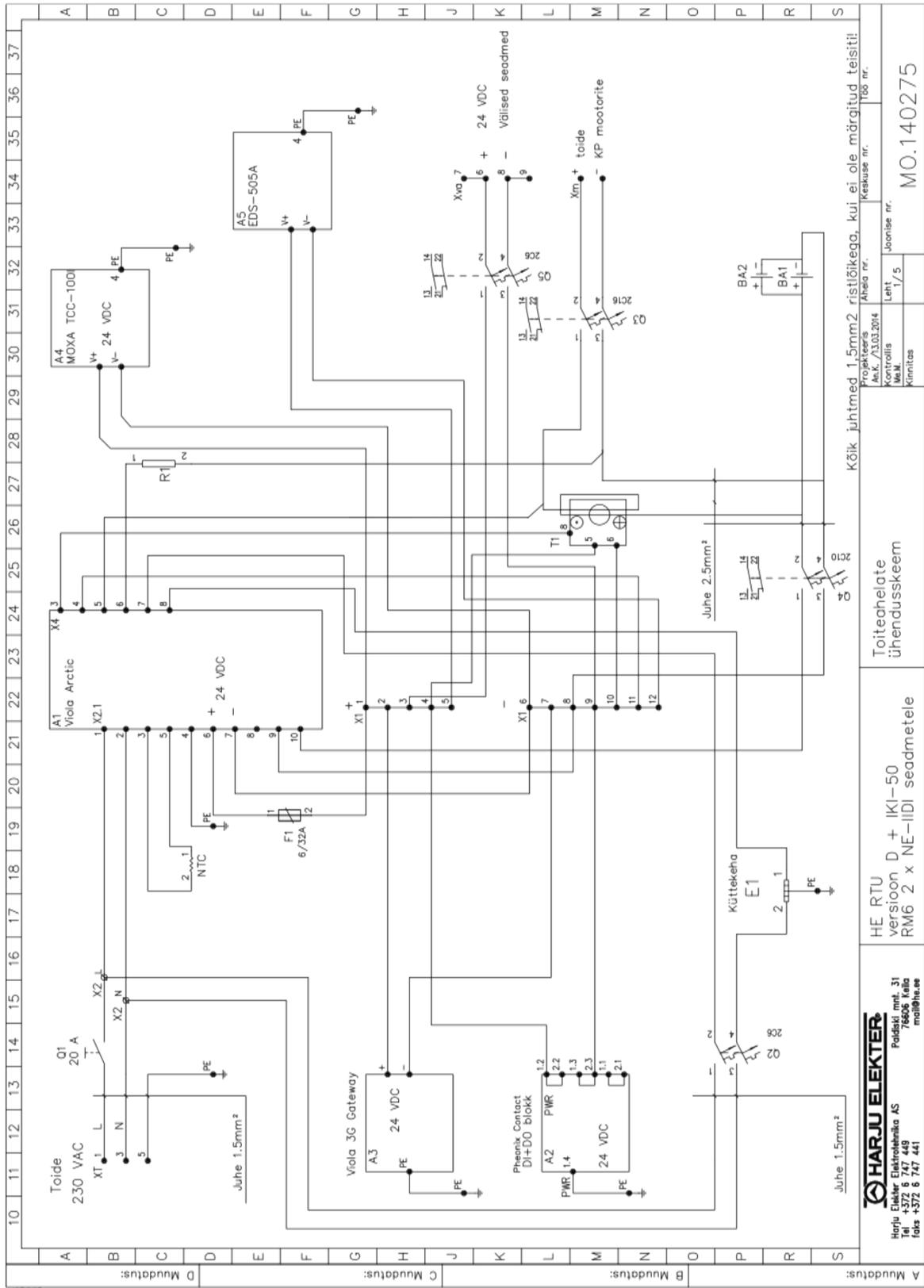
**LISAD**



A muddatus	Objekt	Joonis	Kauplev	Kalkulatsioon	PSühamine	168 nr.
B muddatus	Mudaravila nr 45	KA trafodele 2x1000 kVA	07.02.2014	KA2SB0241	M013652	
C muddatus	10/0,4 kV AJ	Komplektalajaam HEKA2SB1000	Iseseisvas	Leht 1/2	Joonis nr.	
D muddatus	Pärnu, Pärnumaa	Elektriskeem	Arh			
E muddatus			Kontrollis			
F muddatus			AL			
						MO.140267

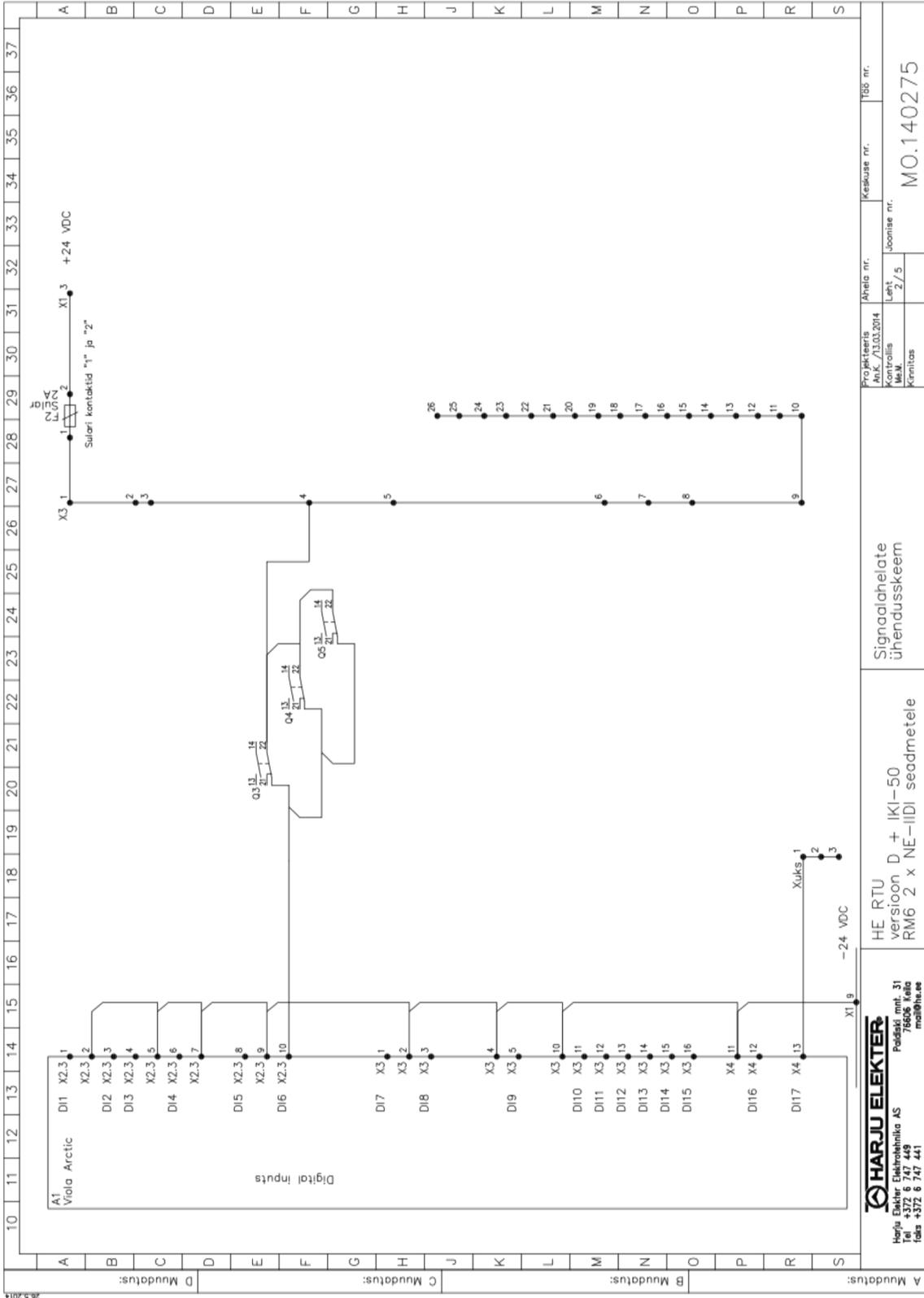
**HARJU ELEKTER**  
Harju Elekter Elektrohitika AS  
Poodakivi mnt. 31  
76606 Keila  
Tel +372 6 747 449  
faks +372 6 747 441  
mol@he.ee





A Muddetus: B Muddetus: C Muddetus: D Muddetus:

<p><b>HARJU ELEKTER</b>                  Harju Elektr. Elektrotehnika AS                  Paldiski mnt. 31                  Paldiski linn, 74700                  faks +372 6 747 441</p>		<p>HE RTU                  versioon D + IKI-50                  RM6 2 x NE-IIDI seadmetele</p>		<p>Toitehelate                  ühendusskeem</p>		<p>Kõik juhtmed 1,5mm<sup>2</sup> ristlõikega, kui ei ole märgitud teisiti!</p>	
<p>Projekteeris                  An.K./13.03.2014</p>		<p>Keskuse nr.                  100 nr.</p>		<p>Arhele nr.                  100 nr.</p>		<p>Joonise nr.                  MO.140275</p>	
<p>Kontrollis                  Ma.M.</p>		<p>Leht                  1/5</p>		<p>Kinnitas</p>			

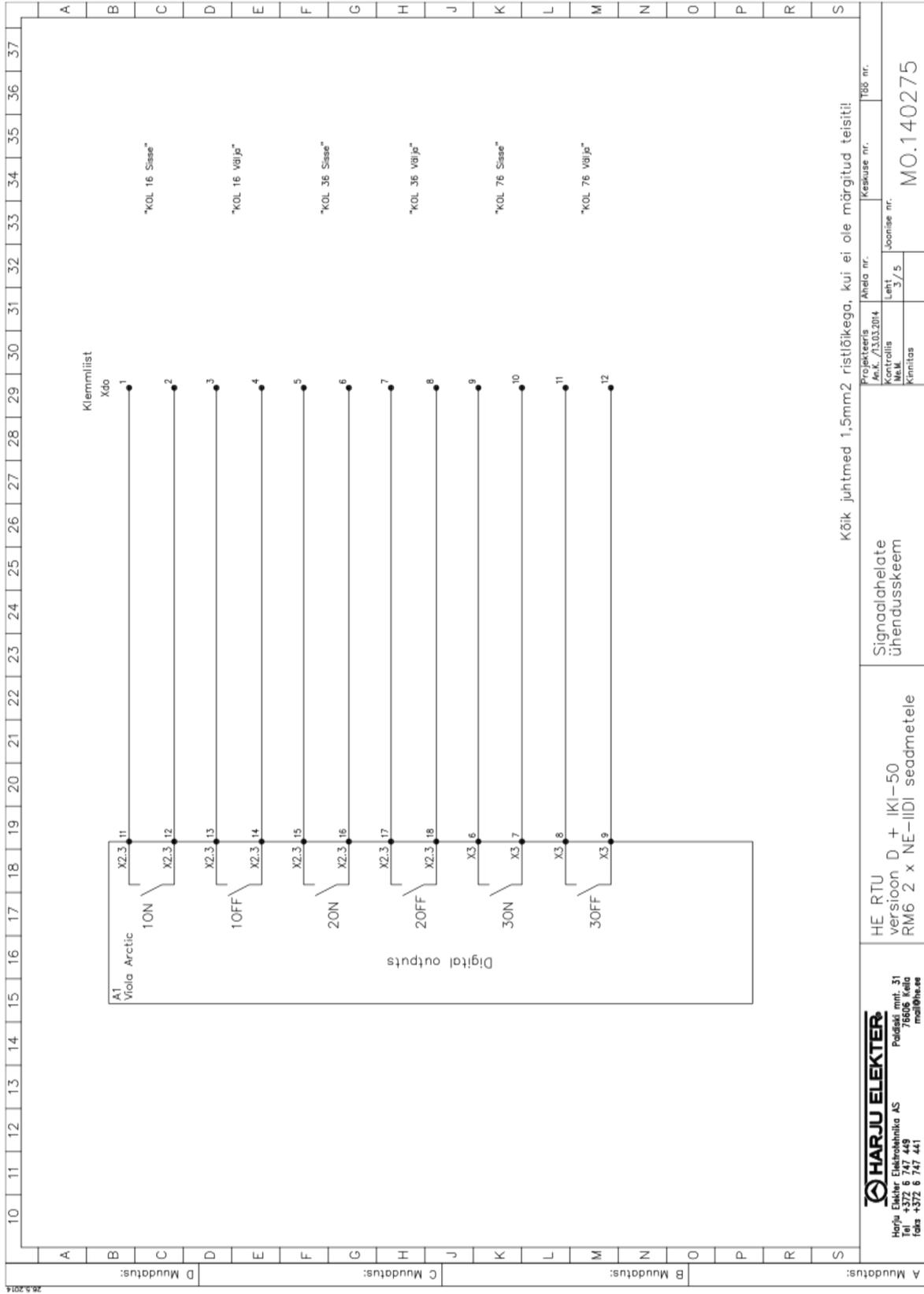


A Muudatus:		Projekteeris Ank./73.03.2014		Ahele nr.		Keskuse nr.		185 nr.	
B Muudatus:		Kontrollis Ank./		Lent /5		Joonise nr.			
C Muudatus:		Kinnitas							
D Muudatus:								MO.140275	

HE RTU  
version D + IKI-50  
RM6 2 x NE-IIDI seadmete

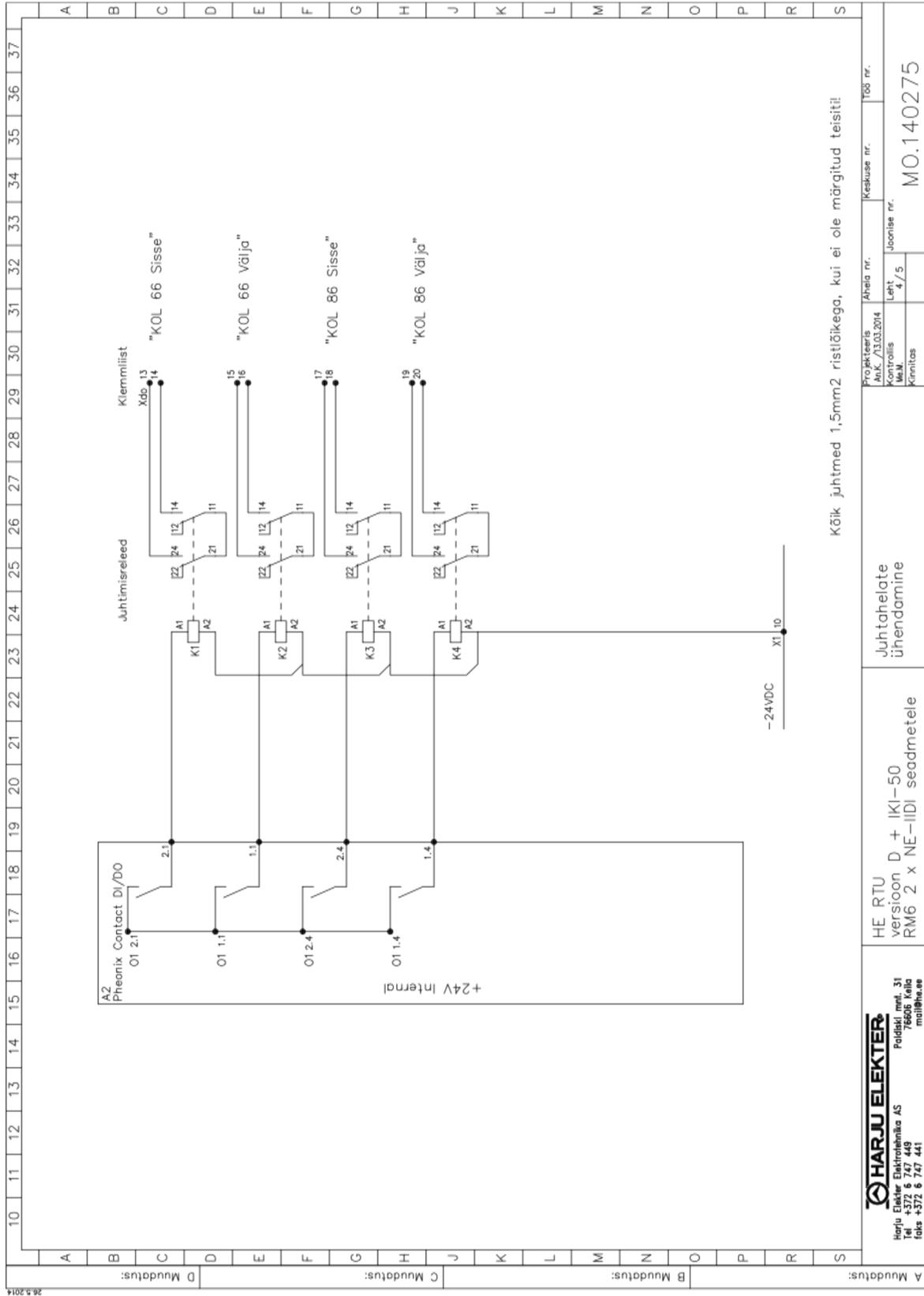
**HARJU ELEKTER**  
Harju Elekter Elektrotehnika AS  
Pöideki mnt. 31  
76606 Kõla  
Tel +372 6 747 449  
faks +372 6 747 441  
mailto:h.ee

Signaalanalate  
ühenduskeem



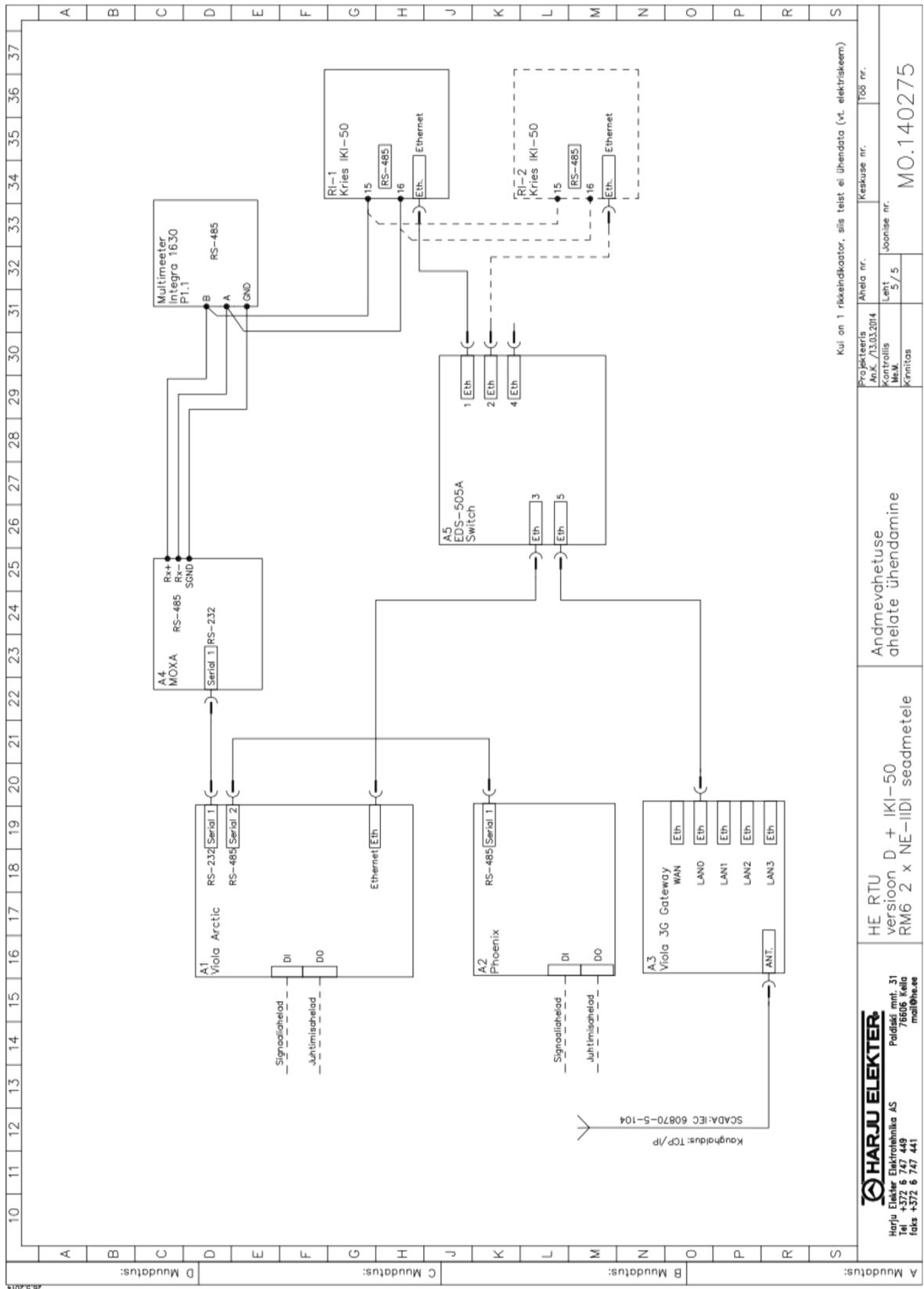
Kõik juhtmed 1,5mm<sup>2</sup> ristlõikega, kui ei ole märgitud teisiti!

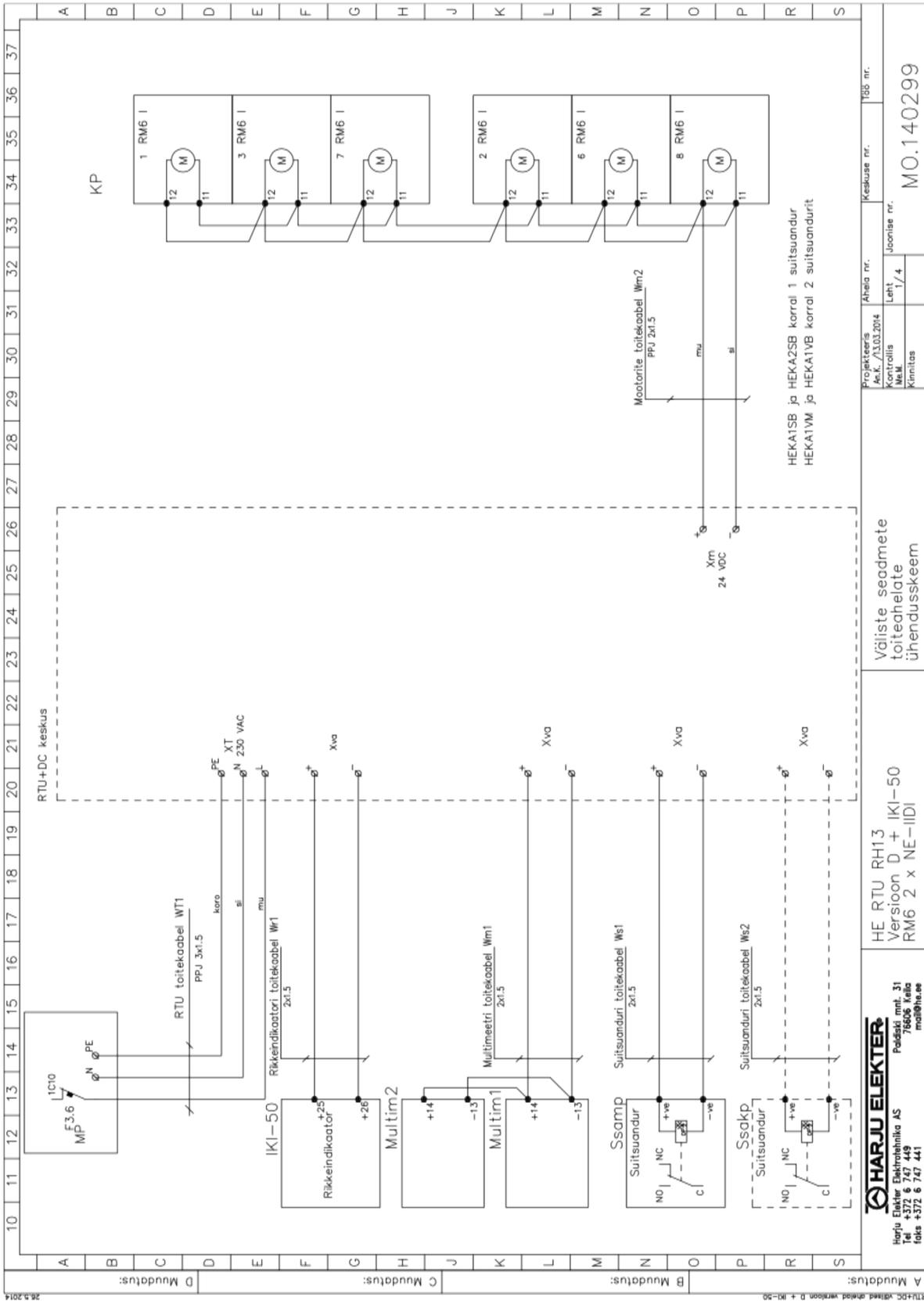
A Muudatus:		<b>HARJU ELEKTER</b> Harju Elekter Elektroonika AS Pöidläi mnt. 31 76606 Keila Tel +372 6 747 449 Faks +372 6 747 441 mail@he.ee		Signaalahelate ühendusskeem		Projekts nr. Jn.K. 73.03.2014		Kesuse nr. T88 nr.	
B Muudatus:		HE RTU version D + IKI-50 RM6 2 x NE-IIID seadmeteile		Alala nr. 3/5		Joonise nr. MO.140275			
C Muudatus:				Kontroll Maht Kinnitas					
D Muudatus:									



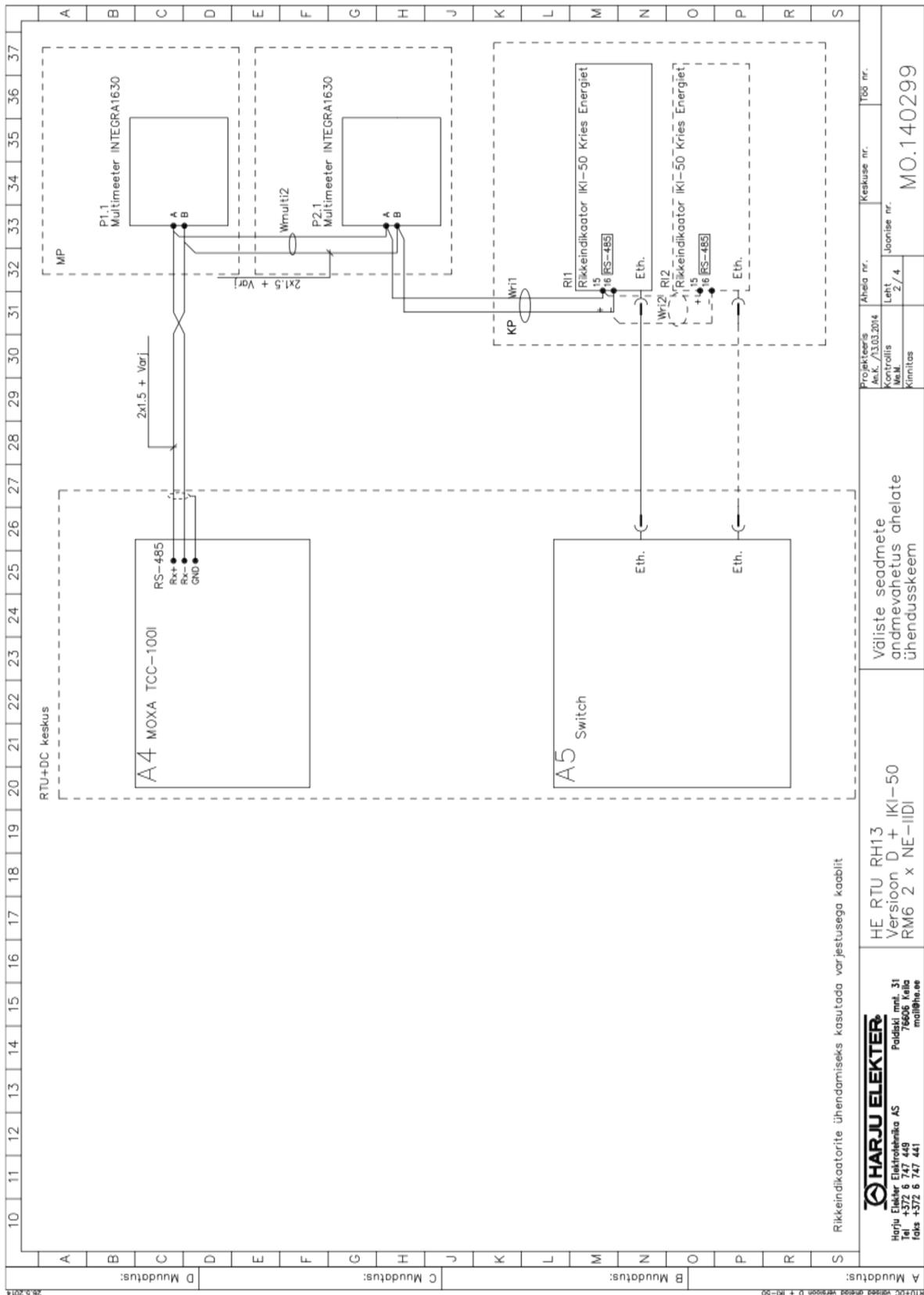
Kõik juhtmed 1,5mm<sup>2</sup> ristlõikega, kui ei ole märgitud teisiti!

A Muudatus:		<b>HARJU ELEKTER</b> Harju Elekter Elektrotehnika AS Paldiski mnt. 31 Tel +372 6 747 449 faks +372 6 747 441 mail@ha.ee		HE RTU version D + IKI-50 RM6 2 x NE-IIID seadmetele		Juhtahelate ühendamise		Projekteris Ank. 73.03.2014 Keskuse nr.		Töö nr.	
B Muudatus:								Kinnitas Leht 4/5 Joonise nr.		MO.140275	
C Muudatus:								Keskuse nr.			
D Muudatus:								Joonise nr.			





A Muddatus:		B Muddatus:		C Muddatus:		D Muddatus:			
<p><b>HARJU ELEKTER</b> Harju Elekter Elektroonika AS Põhiküla tee 31 10141 Tallinn Tel: +372 6 47 449 faks: +372 6 747 441</p>		<p>HE RTU RH13 Version D + IKI-50 RM6 2 x NE-III</p>		<p>Välise seadmete toiteahelate ühenduskeem</p>		<p>Projektors As.K./13.03.2014 Kontrollis Me.M. Kinnitas</p>		<p>Ahela nr. Leht 1/4</p>	<p>Keskuse nr. 165 nr. MO.140299</p>



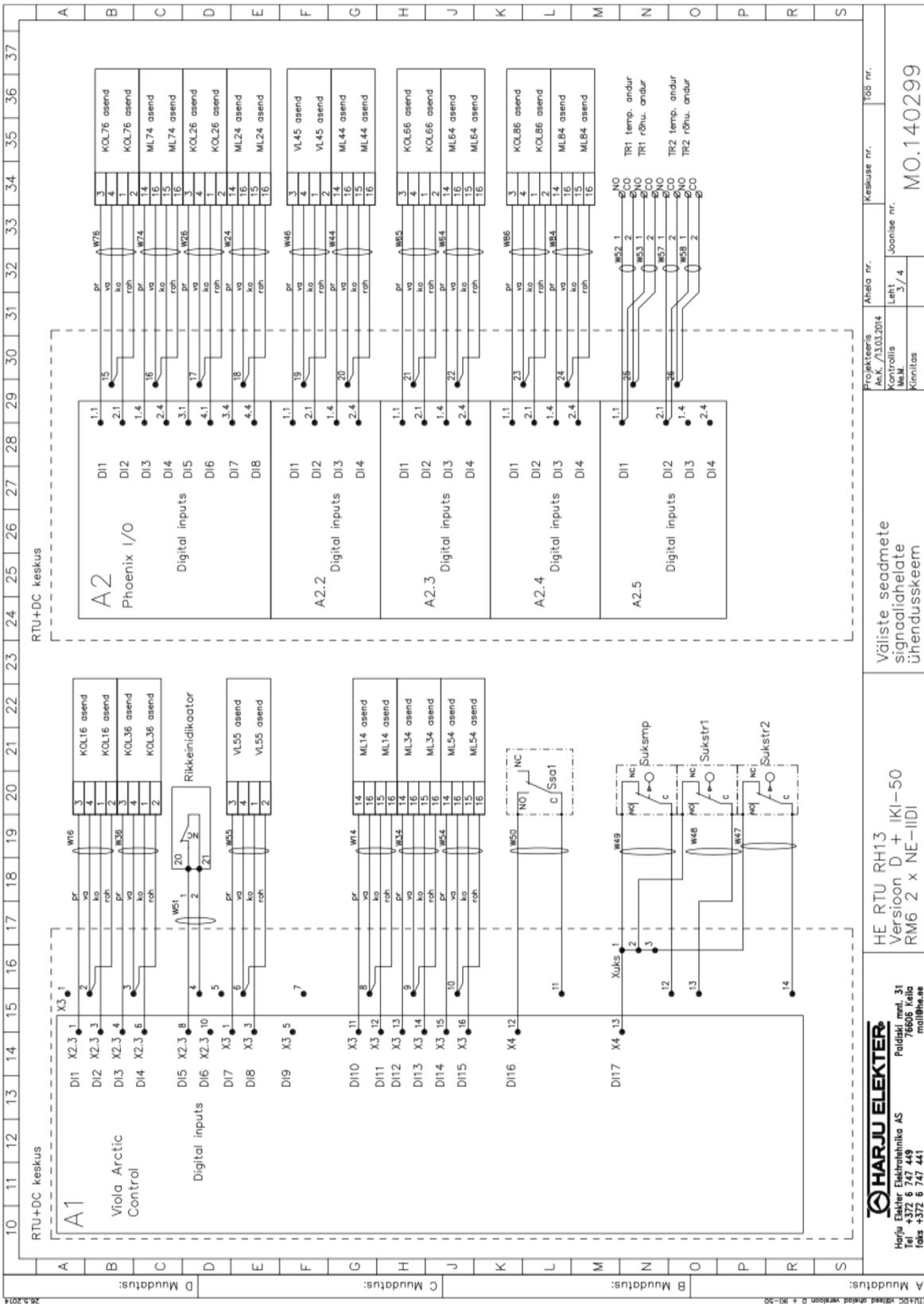
26.3.2014

**HARJU ELEKTER**  
 Harju Elektr. Elektrotehnika AS  
 Paldiski pmt. 31  
 Paldiski, Harju maakond  
 telefon +372 6 747 441

HE RTU RH13  
 Versioon D + IKI-50  
 RM6 2 x NE-III

Väliliste seadmete  
 andmevahetus anelate  
 ühendusskeem

Projekteeris: Anela nr. Keskuse nr. Töö nr.  
 As.K. /13.03.2014  
 Kontrollis: Me.M. Joonise nr.  
 Ma.N. 2/4  
 Kiinnitas: MO.140299



**HARJU ELEKTER**  
 Harju Elekter Elektrotehnika AS  
 Paldiski mnt. 31  
 78606 Kella  
 tel +372 6 747 449  
 faks +372 6 747 441

HE RTU RH13  
 Versioon D + IKI-50  
 RM6 2 x NE-IIID

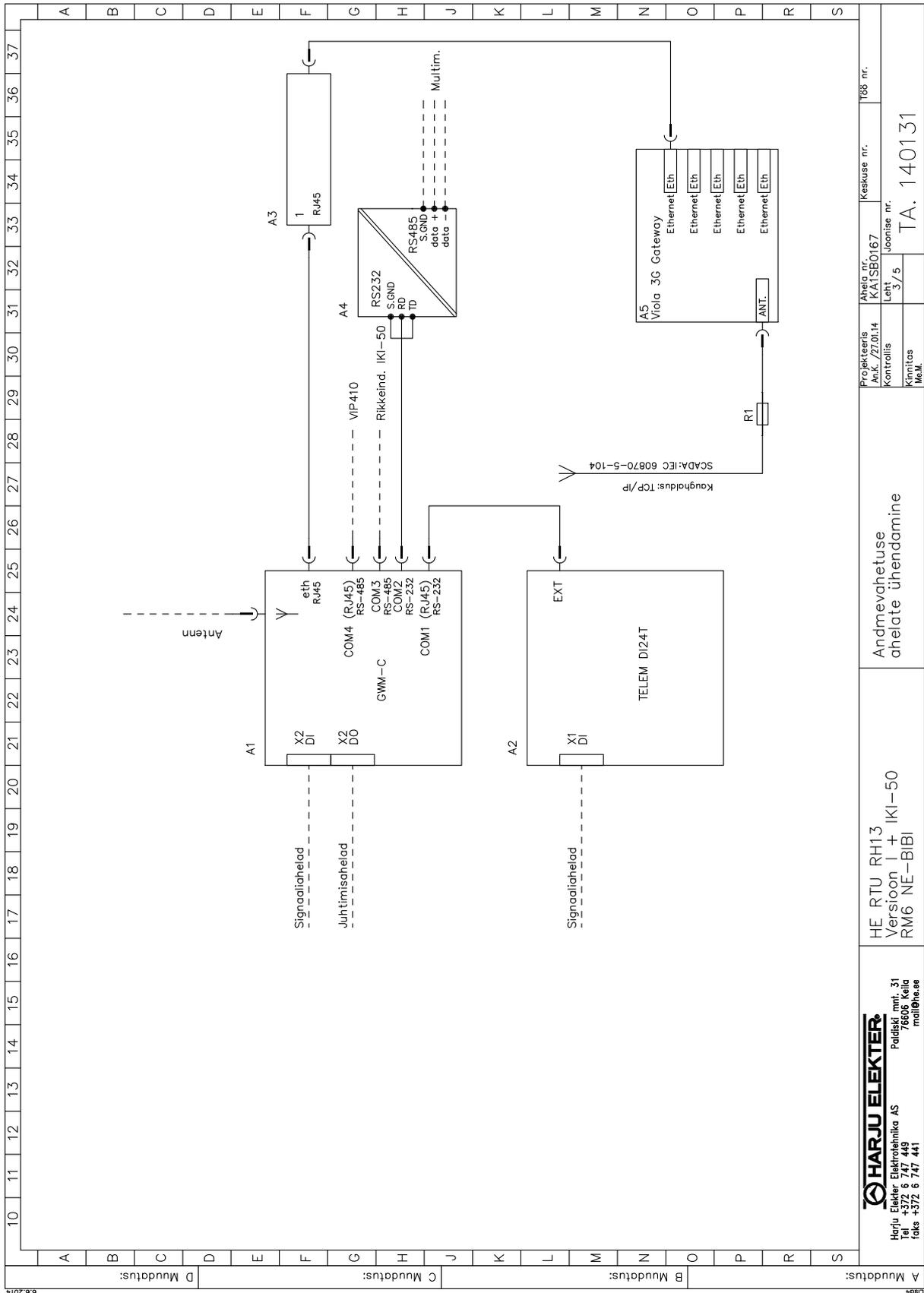
Välisste seadmete  
 signaalilahelate  
 ühendusskeem

Projekts nr. /13.03.2014  
 Arhitekti nr. /13.03.2014  
 Keeluse nr. /13.03.2014  
 Leht 3/4  
 Joonise nr. MO.140299



	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
A	Seadmete tähised																											
B	Q1 – RTU seadme peadiili																											
C	B1 – toitemuundur 230 VAC/24 VDC																											
D	B2 – UPS 24 VDC, 40 A																											
E	B3 – Toitemuundur 24 VDC/ 48 VDC																											
F	BA1 – Aku 12 V, 27 Ah																											
G	BA2 – Aku 12 V, 27 Ah																											
H	A1– Andmeõive ja juhtimiskontroller TELEM GMM–C																											
J	A2– Laiendusmoodul TELEM D124T																											
K	A3– Switch MOXA EDS–505A																											
L	A4 – Konverter RS232/RS485																											
M	A5 – Viola 3G Gateway																											
N	K1 – AC OK signaali rele																											
O	P1 – taimer akude kontrolli ahelas (nädalaprogramm --> 1 x nädalas 10 min paus)																											
P	F1 – Küttekeha kaitseülili 1C2																											
R	F2 – KP mootorite toiteahelate kaitseülili 2C16																											
S	F3 – Suitsuandurite kaitseülili 2C2																											
A	S1 – Temperatuurandur																											
B	E1 – Küttekeha 230 VAC, 100 W																											
C	X24 – 24 VDC klemmiist																											
D	Xdo – Mootorite juhtahelate klemmiist																											
E	Xm – Mootorite toiteahelate klemmiist																											
F	Xva – väliste 24 VDC ahelate klemmiist																											
G	Xsas – Suitsuandurite signaaliahelate klemmiist																											
H	Xuks – Ukseandurite signaaliahelate klemmiist																											
I	R1 – Piksekaitse																											
J	Juhtmestus																											
K	230 VAC toiteahelad – MKEM 2.5																											
L	24 VDC ahelad min. MKEM 0.75																											
M	48 VDC ahelad min. MKEM 0.75																											
N	24 VDC UPSi ja akude ahelad MKEM 2.5																											
O	DI ja DO ahelad min. MKEM 1.0																											
P																												
Q																												
R																												
S																												
A	Mudatus:																											
B	Mudatus:																											
C	Mudatus:																											
D	Mudatus:																											
<p><b>HARJU ELEKTER</b>          Harju Elekter Elektroonika AS          Paldiski avar. 31          10100 Paldiski          faks +372 6 747 441</p> <p>HE RTU RH13          Versioon I + IKI–50          RM6 NE–BIBI</p> <p>Spetsifikatsioon</p> <p>Projektants          Ank./Z/01.14          Keskuse nr.          KAI5B0167</p> <p>Leht          1/5</p> <p>Joonise nr.          TA. 140131</p> <p>188 nr.</p>																												





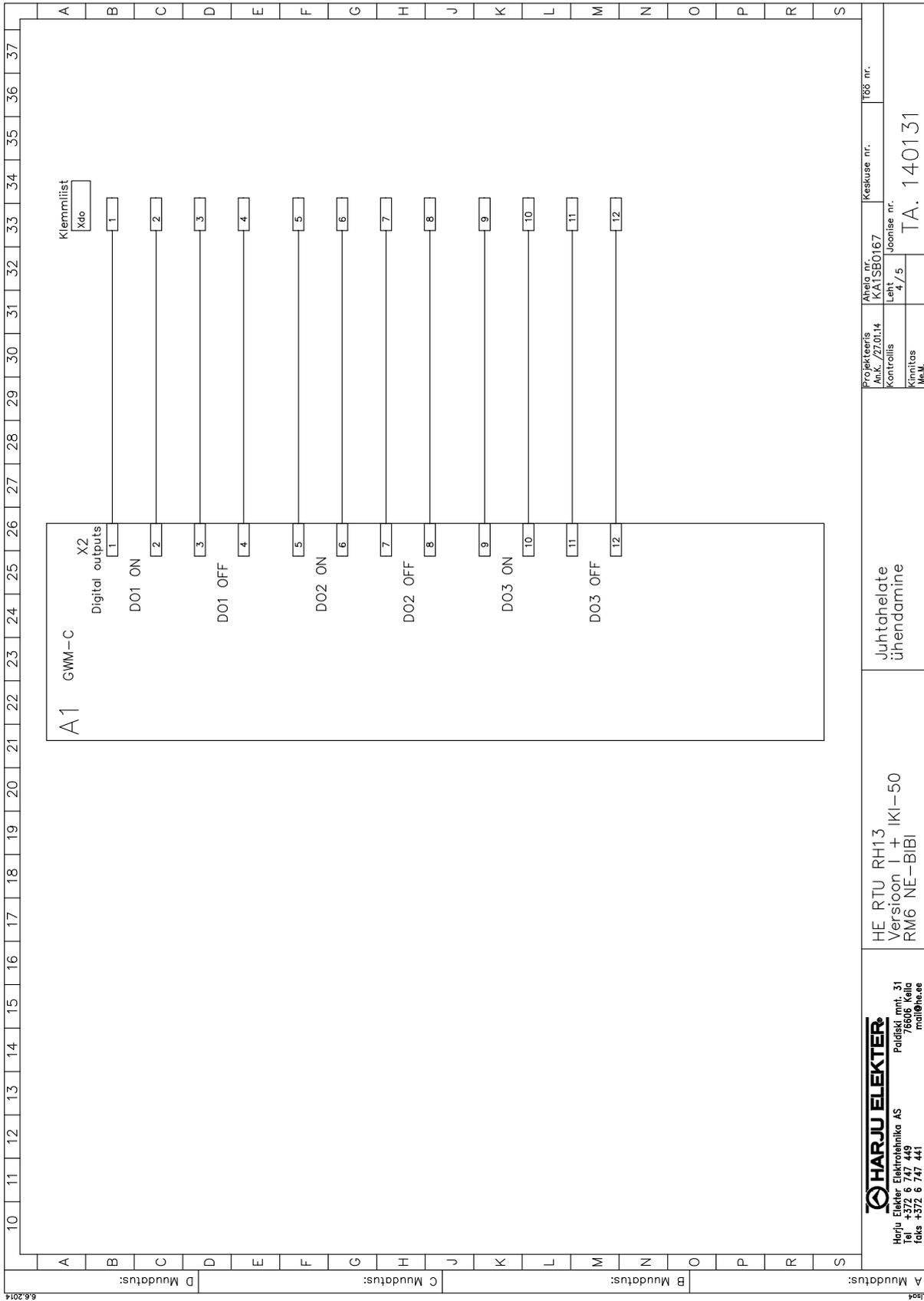
A Muddatus: B Muddatus: C Muddatus: D Muddatus: 6.6.2014

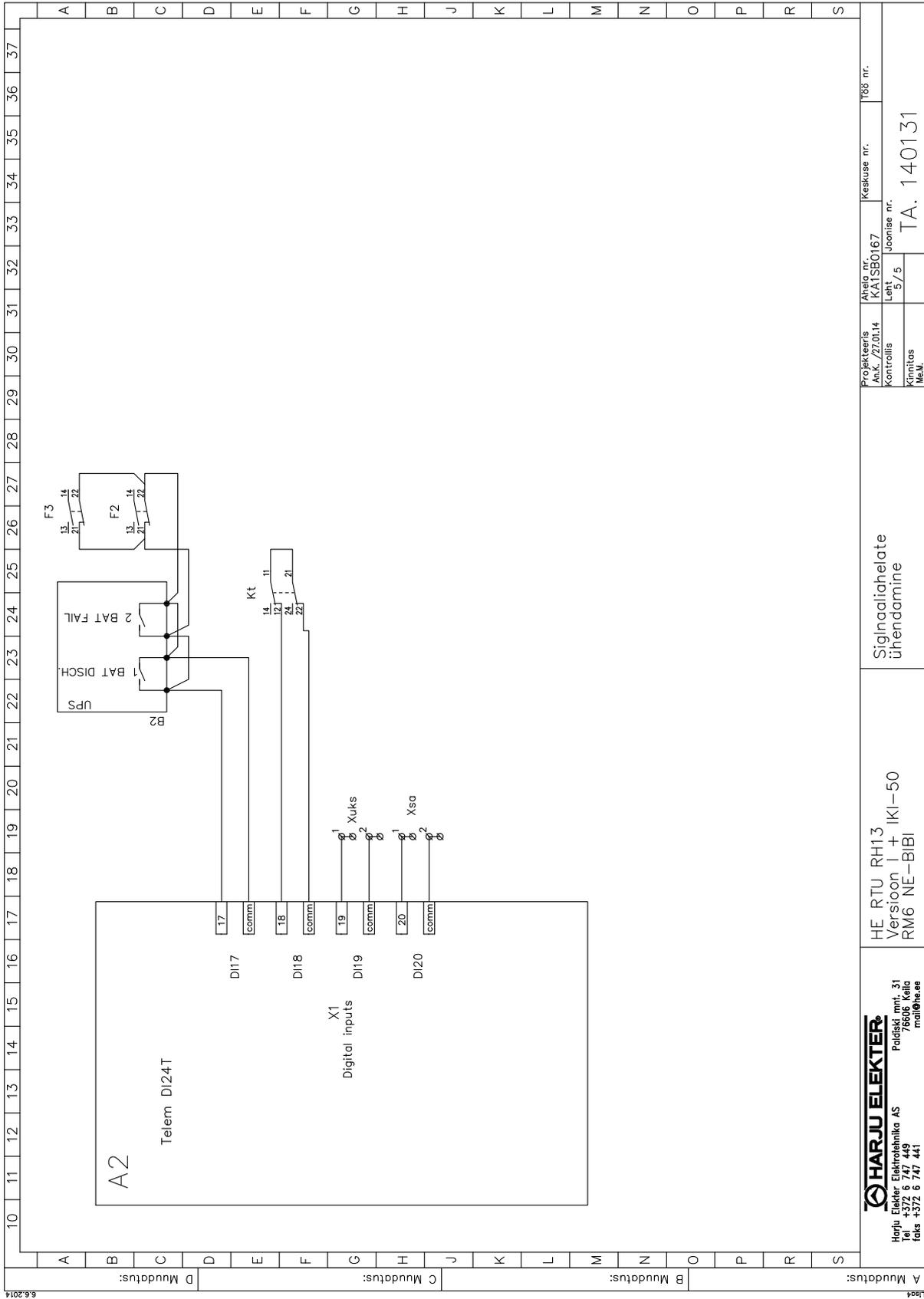
**HARJU ELEKTER**  
 Harju Elekter Elektrotehnika AS  
 Paldiski mnt. 31  
 76606 Keila  
 Tel. +372 6 747 449  
 Faks +372 6 747 441  
 mail@he.ee

HE RTU RH13  
 Versioon 1 + IKI-50  
 RM6 NE-BIBI

Andmevahetuse  
 ahelate ühendamine

Projektsiooni  
 Arv. 27.01.14  
 Kontrollis  
 Leht 3 / 5  
 Kinnitas  
 Me.M.  
 Keskuse nr. 1085 nr.  
 KATSBO167  
 Loojase nr.  
 TA. 140131



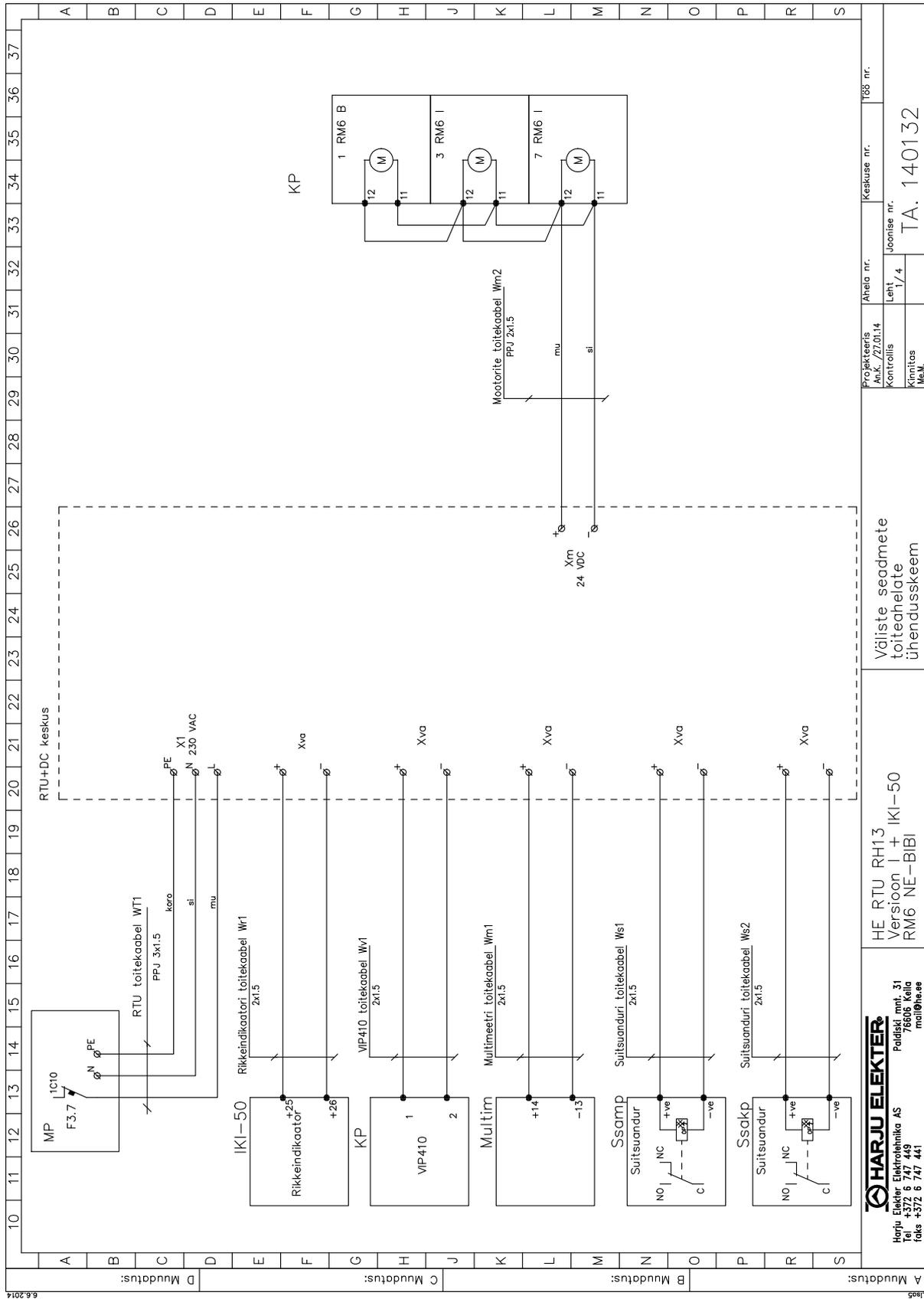


**HARJU ELEKTER**  
 Harju Elekter, Elektrotehnika AS  
 Paldiski avar, 31  
 Pööstusala  
 faks +372 9 747 441  
 email@hacee

HE RTU RH13  
 Versioon I + IKI-50  
 RM6 NE-BIBI

Signaaliühelate  
 ühendamine

Projekteeris	Ahela nr.	Keskuse nr.	188 nr.
Ank./27.01.14	KATSBO167		
Kontrollis	Leht	Joonise nr.	
	575		
Kinnitas			
Mää.			TA. 140131



8.6.2014

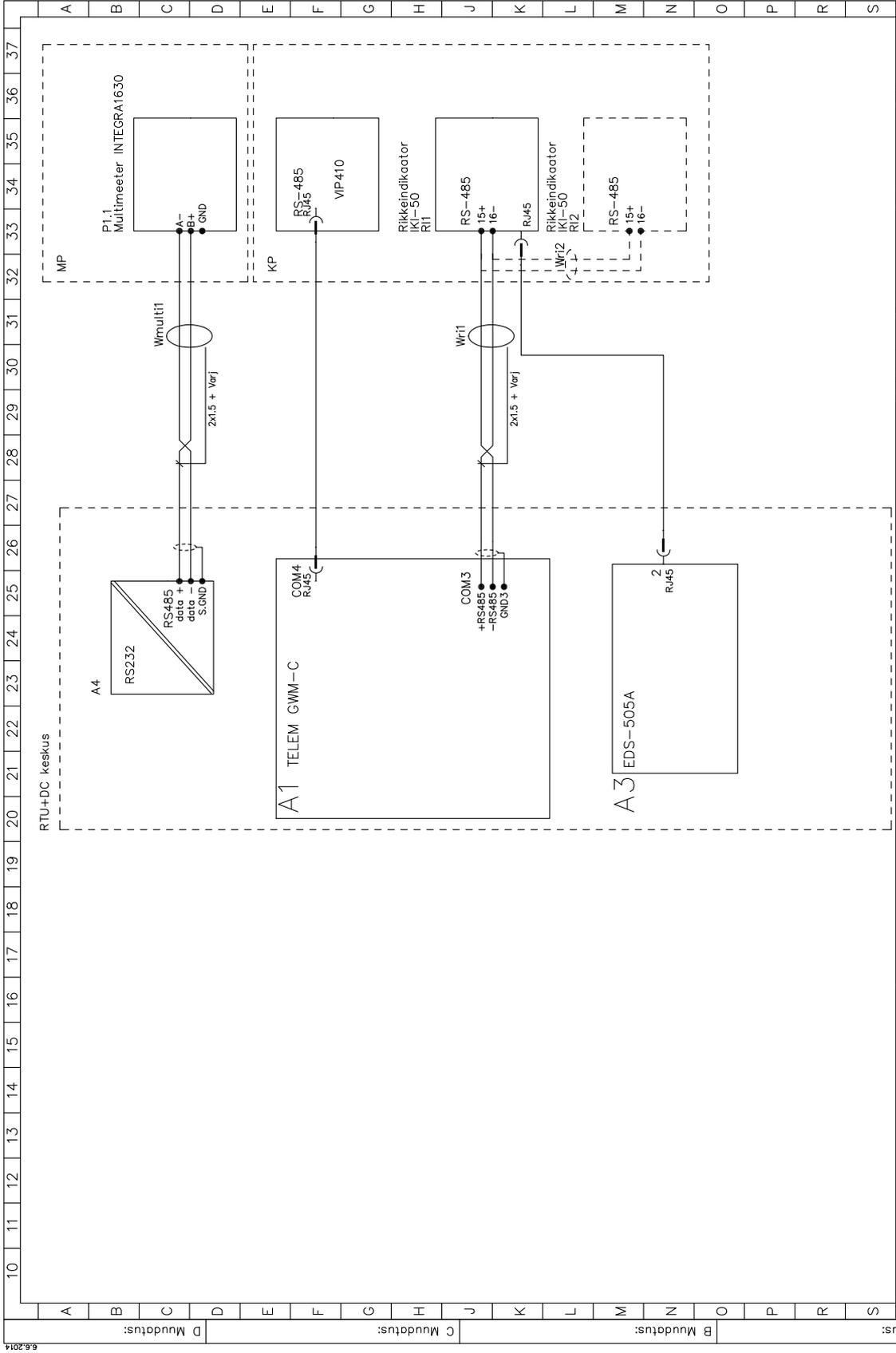
1955

**HARJU ELEKTER**  
 Harju Elekter Elektrotehnika AS  
 Paldiski (mnr. 31)  
 76005 Kella  
 tel: +372 6 747 449  
 faks: +372 6 747 441  
 info@harju.ee

HE RTU RH13  
 Versioon 1 + IKI-50  
 RM6 NE-BIBI

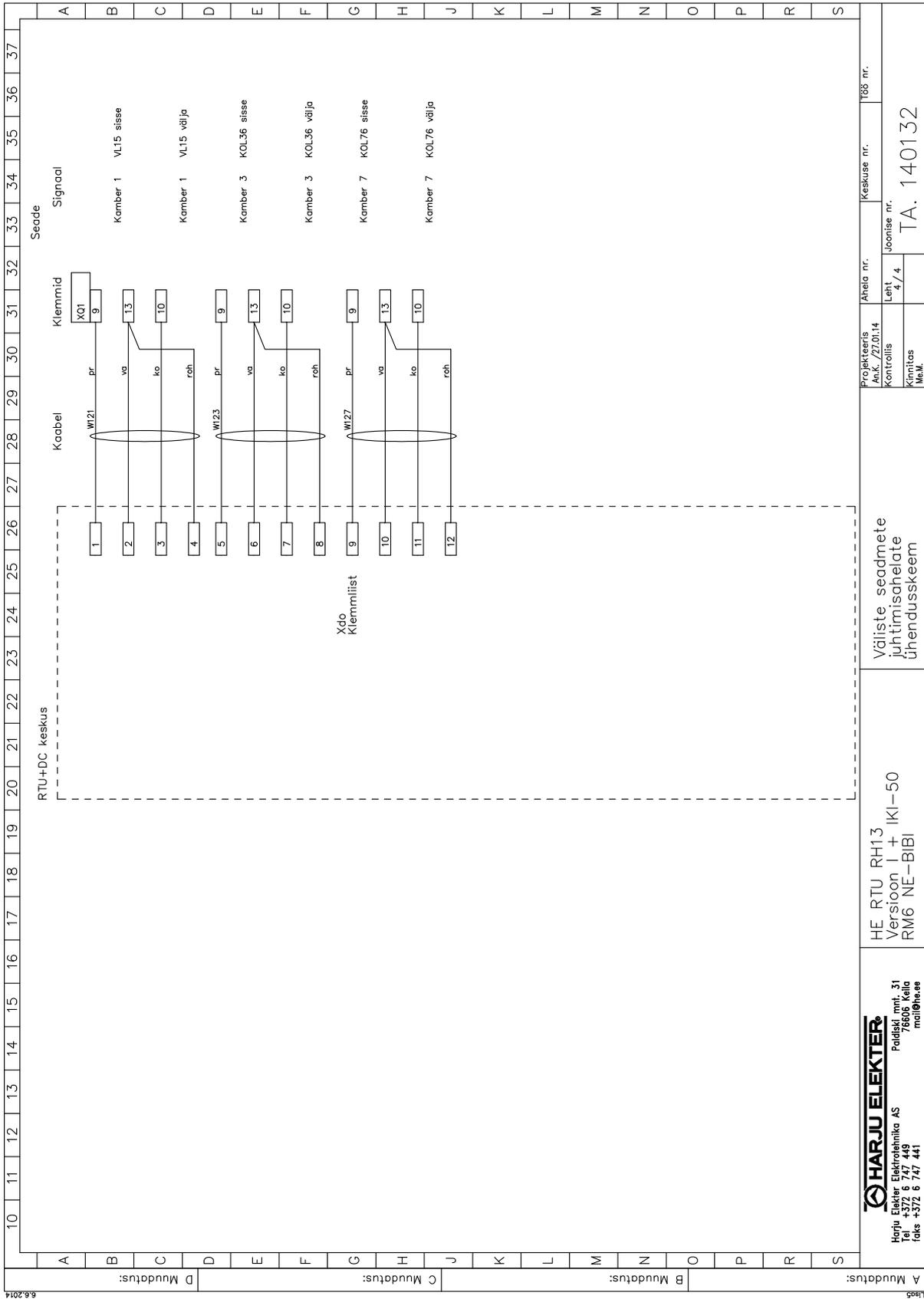
Väliliste seadmete  
 toiteahelate  
 ühendusskeem

Projektseis: Anela nr. Keskuse nr. 188 nr.  
 An.k./27.01.14  
 Kontrollis: Leht 1/4  
 Kinnitas: Me.M.  
 TA. 140132



A) Muudatus:		Projekteeris Ank./27.01.14		Ahela nr.	Keskuse nr.	1685 nr.
B) Muudatus:		Kontrollis Leht / 2 / 4		Joonise nr.		
C) Muudatus:		Kinnitas Me.M.		TA. 140132		
HE RTU RH13 Versioon I + IKI-50 RM6 NE-BIBI				Välise seadmete andmevahetus ahelate ühenduskeem		
 <b>HARJU ELEKTER</b> Harju Elekter Elektrotehnik AS Paldiski mnt. 31 76606 Kella tel +372 6 747 449 faks +372 6 747 441						





**HARJU ELEKTER**  
 Harju Elektrite Elektrotehnika AS  
 Paldiski ahist. 31  
 14100 Paldiski  
 faks +372 6 747 441  
 mail@harju.ee

HE RTU RH13  
 Versioon I + IKI-50  
 RM6 NE-BIBI

Väljste seadmete  
 juhtimispaneelide  
 ühendusskeem

Projekteeris  
 Ank./27.01.14  
 Kontrollis  
 Kinnitas  
 Mõk.

Ahela nr.  
 Keskuse nr. 108 nr.  
 Joonise nr.  
 Leht 4/4  
 TA. 140132

A Muddatus: B Muddatus: C Muddatus: D Muddatus: 1995 6.6.2014

## **LISA 6**

Viola Systems RTU teletabel on kaasas oleval CD plaadil failina Lisa6.xls

## **LISA 7**

Martemi RTU teletabel on kaasas oleval CD plaadil failina Lisa7.xls

## LISA 8

TTÜ mikrovõrgu skeem on kaasas oleval CD plaadil failina Lisa8.dwg