



EESTI MAAÜLIKOOL
Tehnikainstituut

Karl Randmaa

DIGITAALELEKTROONIKA LABORI ARENDUS

DEVELOPMENT OF DIGITAL ELECTRONICS LABORATORY

Magistritöö
Energiakasutuse õppekava

Juhendaja: nooremteadur Erkki Jõgi, MSc

2017

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Magistritöö lühikokkuvõte	
Autor: Karl Randmaa		Õppekava: Energiakasutus	
Pealkiri: Digitaalelektronika labori arendus			
Lehekülgi: 61	Jooniseid: 39	Tabeleid: 7	Lisaid: 8
<p>Osakond: Energeetika</p> <p>Uurimisvaldkond: 4. Loodusteadused ja tehnika, 4.17. Energeetikaalased uuringud, 4.8. Elektrotehnika ja elektroonika</p> <p>CERCS: T140 Energeetika, T170 Elektroonika, T190 Elektrotehnika</p> <p>Juhendaja: Erkki Jõgi</p> <p>Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu, 2017</p>			
<p>Magistritöö eesmärgiks oli dokumenteerida Eesti Maaülikooli Tehnikainstituudi digitaalelektronika labori toimimine ning selle tööd täiendada. Uurimustöö aktuaalsus seisneb taastuvenergeetika valdkonna arengul ning vajadusel energia tootmise ja juhtimise paremaks mõistmiseks. Magistritöö teoreetilises osas tutvutakse taastuvenergeetikaga ning samuti süsteemide automatiseerimisega üldisemalt. Praktilises osas selgitati süsteemi ajamite tööpõhimõtted ning kontrolliti üle labori toimimise hetkeolukord, mille käigus toodi välja labori toimimise kitsaskohad. Vaadati üle mõõtetulemuste esitamise kvaliteet juhtimiskilbi ekraanil, millel avastati suuri puudujääke. Katsetati edukalt mõõtetulemuste esitamise võimalust juhtekraanil kasutades <i>Modbus</i> andmeside liidest võttes aluseks muundurite sisesed mõõtetulemused. Lisaks kontrolliti üle juhtimiskontrolleri füüsilised ühendused ning määrati vabade terminali portide arvuga võimalikud lisatavad sisend- ja väljundsignaalid. Paremaks juhtekraani mõistmiseks täiendati paneeli graafilist disaini. Testiti sünteetilise generaatori juhtimist võrreldes omavahel määratud sisendvõimsust väljundvõimsusega, millest täheldati mittevastavust kõrgemate võimsuste korral. Juhtimisprogrammi tõhusamaks jälgimiseks mõtestati lahti juhtkood. Magistritöö on koostatud kavatsusega anda edasi digitaalelektronika labori hetkeolukorrast ning andmaks soovitusi edasisteks arendustegevusteks.</p>			
Märksõnad: andmehõive, automaatjuhtimine, redeldiagramm			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Master's Thesis	
Author: Karl Randmaa		Speciality: Energy Application Engineering	
Title: Development of Digital Electronics Laboratory			
Pages: 61	Figures: 39	Tables: 7	Appendixes: 8
<p>Department: Department of Energy Engineering</p> <p>Field of research: 4. Natural Sciences and Engineering, 4.17. Energetic Research, 4.8. Electrical Engineering and Electronics</p> <p>CERCS: T140 Energy research, T170 Electronics, T190 Electrical engineering</p> <p>Supervisors: Erkki Jõgi</p> <p>Place and date: Tartu, 2017</p>			
<p>The aim of the Master's Thesis was to document Estonian University of Life Sciences' the operation of the digital electronics laboratory and to improve its labour. The thesis is topical due to the growth and development of the renewable energy sector and its need for better understanding of the energy production and management. Theoretical section of the research paper consist of the brief overview of the renewable energy sources and their systems and system automation. Practical part of the paper involves the laboratory's device systems' principles introduction and the current situation of the system and its labour errors. The quality of the measurements presented on the main screen was examined and huge amount of errors were discovered. Then the <i>Modbus</i> communication protocols were tested successfully for the data transmission and presentation from the inner measurements of the inverters in order to solve the before mentioned problems. In addition the unoccupied ports of the logic controllers were illustrated to demonstrate the possible additional signal readings and writings. For the better understanding of the main screen the graphic design was improved. The power control of the synthetic generator was tested and mismanagement from the higher portions of the power was detected. In order to make the following of the main program more efficient it was examined and explained. This Master's Thesis is composed in order to give the overview of the current scenario and to recommend further actions for development of the digital electronics laboratory.</p>			
Keywords: automatic control, data management, ladder diagram			

SISUKORD

SISSEJUHATUS	6
1. TAASTUVENERGEETIKA.....	8
1.1. Taastuvenergeetika tehnoloogiad.....	8
1.2. Päikeseenergia.....	9
1.3. Tuuleenergia	9
1.4. Bioenergia	10
1.5. Geotermaalenergia	11
1.6. Merelise iseloomuga energia	11
1.7. Hüdroenergia	12
1.8. Taastuvenergeetika Eestis ja Euroopas	12
2. DIGITAALNE JUHTIMINE	14
2.1. Automaatjuhtimise ajalugu	14
2.2. Automaatjuhtimissüsteemide olemus	15
2.3. Digitaliseerimine juhtimissüsteemides	16
2.4. Programmeeritavad loogika kontrollid	17
3. DIGITAALLELEKTROONIKA LABOR	19
3.1. Labori tutvustus	19
3.2. Digitaalelektronika labori komponendid	20
3.2.1. Tuulik	20
3.2.2. Päikesepaneelid	22
3.2.3. Sünteetiline generaator	23
3.2.4. Muundurid.....	26
3.2.5. Analüsaatorid	29
3.2.6. Salvestusseadmed.....	31
3.2.7. Koormus	32
3.2.8. Juhtpaneel.....	33
3.2.9. Juhtimisseadmed	34
3.2.10. Kaitseseadmed.....	37
3. LABORI ARENDUS	39
3.1. Kaitseseadmed ning seadmete füüsiline ühilduvus.....	39
3.2. HMI paneeli koodide kontroll.....	40
3.3. Modbus kanalid.....	47
3.4. Kontrollerite ühendused teiste seadmetega.....	48

3.5. Juhtpaneeli arendus.....	49
3.6. Sünteetilise generaatori juhtimine.....	52
3.7. Juhtimisprogrammi täiendused.....	53
KOKKUVÕTE	55
KASUTATUD KIRJANDUS	57
DEVELOPMENT OF THE DIGITAL ELECTRONICS LABORATORY	60
LISAD	62
Lisa A. Digitaalelektronika labori muundurite koondandmed	63
Lisa B. Peajaotuskilbi nr. EK1 jõuskeem	64
Lisa C. Peajaotuskeskuse elektriskeem	66
Lisa D. HMI ja PLC aadresskoodide ühilduvus	68
Lisa E. Kontrolleriga ühendatud seadmete nimekiri vastavalt portidele	74
Lisa F. Loogikakontrollerite hõivatud portide skeemid.....	75
Lisa G. Kommenteeritud PLC1 loogikakontrolleri juhtprogramm.....	76
Lisa H. Kommenteeritud PLC2 loogikakontrolleri juhtprogramm.....	88
Lisa I. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks.....	103

SISSEJUHATUS

Käesolevas uurimustöös on tutvustatud Eesti Maaülikooli Tehnikainstituudi võimalusi simuleerida taastuvenergiaallikate tööd digitaalelektronika laboris, mille peamine funktsioon on taastuvenergia allikate uurimine.

Teema aktuaalsus seisneb taastuvenergeetika lahenduste tehnoloogiate arengul, mis on tootjate omavahelise konkurentsi tõttu muutunud üha kättesaadavamaks ja otstarbekamaks. Süsteemide jõukohasemaks muutumist prognoositakse ka tulevikku vaadates [1].

Hetkel taastuvenergia lahenduste rajamisel on suurimaks faktoriks süsteemi tasuvusaeg ehk millise aja vältel rajatud seade end ära majanduslikus mõttes ära tasub või kasumit tootma hakkab. Eelkõige määravad tasuvusaja ära süsteemi ehituse ning hoolduse kulud. Tasuvusaega mõjutavad peamiselt kasutatavate tehnoloogiate efektiivsus, keskkonna maksud, makstavad taastuvenergiatoetused kui ka kütuse hind [2].

Päikese- ja tuuleenergia kütuse hinna määrab eelkõige avatud elektrituru börsil kujunenud elektri hind. Tasuvusaega antud süsteemidel on võimalik vähendada kasutades omatarbeks toodetud energiat ära olukorras, kus elektri hind börsil on kõrge ning müüa siis, kui börsil elektri on hind madal. Juhtudel, kui ei ole võimalik omatarbeks toodetud energiat kasutada, salvestatakse toodetud energia hiljem kasutamiseks, kui on otstarbekam energiat mitte müüa.

Võrguühendusteta aladel võrreldakse taastuvenergia elektrijaama võrgu väljaehituse maksumusega ja hooldusega. Paljudel juhtudel tasub kohapeal energia tootmine ja tarbimine sellisel juhul ära, kui võrgu hoolduse tasud on liialt kõrged.

Enamasti kasutatakse autonoomsetes süsteemides taastuvenergia allikat, akupanka ja diisilgeneraatorit, kuid lahendusi võib olla erinevaid. Selleks, et erinevaid seadmete koostööd ühes süsteemis analüüsida on otstarbekas ennekõike süsteem modelleerida. Niisamuti on võimalik simuleerida ja analüüsida võrguühendusega süsteeme, selgitamaks välja süsteemide kitsaskohti ning parendada nende energia juhtimist.

Käesoleva magistritöö eesmärgiks ongi digitaalelektronika laboris taastuvenergia allikate poolt toodetud energia juhtimise võtete analüüsimise parendamine ning edasise arendustegevuse jaoks olukorra dokumenteerimine.

Töö esimeses osas tutvutakse taastuenergeetika valdkonnaga. Selgitatakse taastuenergia allikate olemusi, taastuenergia tootmise tehnoloogiaid ning hetkeolukorda Eestis ja lähiümbruses.

Töö teises osas tutvustatakse automaatjuhtimise arengut mõiste tekkimise algusaegadest tänapäevani, automaatjuhtimis võtetega ning selgitatakse digitaliseerimise olemust juhtsüsteemides ning programmeeritavate loogikakontrollerite tööpõhimõtet.

Töö kolmandas peatükis näidatakse digitaalelektronika labori seadmeid ning selgitatakse ajamite tööpõhimõtteid.

Töö viimases ehk neljandas peatükis tuuakse välja digitaalelektronika labori töö kitsaskohad, kontrollitakse toimivaid energia juhtimise ja analüüsimise võtteid, täiendatakse labori juhtimisprogrammi ning antakse soovitusel edasisele arendustegevusele.

Käesolev magistritöö võiks saada kasutust digitaalelektronika labori edasiarenduses alusdokumendina, milles on selgitatud laboris valitsev hetkeolukord.

1. TAASTUVENERGEETIKA

1.1. Taastuvenergeetika tehnoloogiad

Taastuvenergeetika ressursideks nimetatakse põhiliselt energia tootmist järgmistest energiaallikatest: päikesest, tuulest, biomassist, geotermaalenergiast, merelt ning voolavast veest (hüdroenergia). Sellises järjestuses on arvatud olema ka planeedi Maa potentsiaalset taastuvenergia ressurside kättesaadavuse võimalust [3]. Taastuvenergia tehnoloogiate poole vaadatakse üha enam just mõeldes Maa sõltuvusest fossiilsetest kütustest tänapäeval, selle kasutamise mõjust Maa atmosfäärile ning ka potentsiaalset võimalust, et ühel päeval ei pruugi olla selline energia tootmise viis enam võimalik ressurside lõppemise näol [4].

Taastuvenergeetika tehnoloogiad jagunevad kolme generatsiooni. Esimese generatsiooni tehnoloogia on peamiselt levinud piirkondades, mis on rikkad oma maavarade poolest. Selle tehnoloogia peamiseks allikateks loetakse hüdroenergiat, biomassi ning geotermaal energiat [4]. Oma olemuselt ei vaja need energiaallikad keerukaid süsteeme, et kasutada ära nende potentsiaali, mistõttu olid nad ka esimesed viisid taastuvenergia kasutamiseks.

Teise generatsiooni tehnoloogiate alla kuuluvad tänapäeval turgu tegevad taastuvenergia allikate tehnoloogiad nagu tuuleenergia, elektrilised päikesepaneelid, päikesekollektorid kui ka näiteks koostootmisjaamad. Neid tehnoloogiad iseloomustab ka praegusel hetkel suur potentsiaal, mis suudab ka tõestada juba olemasolevate süsteemide näol oma otstarbekust kui ka järjest konkurentsivõimelisemad energiatootmise maksumused [4]. Sellised tehnoloogiad on olemuselt juba keerukamad, kui esimese generatsiooni omad, kuid neid kasutatakse asukohtadel, mis ei ole oma maavarade poolest väga rikkad kuid vajadus energia järele on kõrge.

Kolmanda generatsiooni moodustavad tehnoloogiad, mille potentsiaalset kasulikkust alles uuritakse ning arendatakse. Sellisteks võimalusteks on biomassi termokeemiline muundamine, biorafineerimine, ookeanide energiad, päikese-soojuselektrijaamad. Suurel kohal on selle generatsiooni tehnoloogitel ka nanotehnoloogial [4].

1.2. Päikeseenergia

Kuna planeet Maa asub Päikesesüsteemis ning Päike on peamine energiaallikas, mis reguleerib enamus Maal toimuvatest looduslikest protsessidest, võib nimetada planeeti Päike kõige suurema potentsiaalse energiaallikana Maale. Hetkel toimivate tehnoloogiate tulemusena on võimalik Päikeselt saadava energiaga toota elektrit või soojust.

Elektrit saadakse otse päikesekiirgusest, mis langeb pooljuhtmaterjalidest toodetud päikesepaneelidele ehk *PV*- paneelidele. Elektrienergia tekib paneelis, kui valguse toimel vabastatakse elektronide liikumine erinevalt laetud pooljuhtivates materjalides. Levinuimad *PV*-paneelid on ränipõhisest materjalidest, mille kasutegurid võivad olla vastavalt tootjale umbes 40 % ümber [5]. Paneelid paigutatakse päikeselisele asukohale üldjuhul kas hoonete katustele või maapinnale.

PV-süsteemid võivad olla autonoomsed (*off-grid*) ehk elektrivõrgust sõltumatud või elektrivõrguga ühendatud (*on-grid*). Tüüpiline autonoomne süsteem koosneb päikesepaneelidest, paneelide kinnitustest, inverterist, elektrit juhtivatest kaablitest, akudest kui ka tarbijast. Inverteris toimub päikesepaneelide poolt tekitatud alalisvoolu muundamine vahelduvvooluks ning akudesse salvestatakse tarbimisest üle jäänud energia. Võrguühendusega süsteemis võib vajadusel ära jätta akude olemasolu, kuna energiat on võimalik suunata tagasi elektrivõrku. Viimasel juhul on aga tavaliselt süsteemis ka elektriarvesti selleks, et tasaarveldada võrguoperaatoriga elektri maksumused.

Päikeseenergia soojuseks muundamisel on kasutusel erinevaid tehnikaid. Levinuimad on päikese soojusenergiat suunates vee või mõne muu vedeliku temperatuuri tõstmise spetsiaalsetes kollektorites. Kasutatakse ka võimalust peeglite abil päikesekiiri koondades vedelikele nende temperatuuri tõstes [5].

1.3. Tuuleenergia

Inimkond on õhu horisontaalset liikumist kasutanud erinevail viisidel. Küll on tuult mehaaniliselt kasutades purjetades või veepumpadena. Nüüdisajal on levinumaks viisiks tuuleturbiinidega elektri tootmine, kus tuule kineetilise olemusega pannakse tuuleturbiini labad mehaaniliselt pöörlema, mille tulemusena tekitatakse tuuliku generaatoris elektrivool [5].

Tuuleenergial on kõrge teoreetilise potentsiaaliga, mis kasvab võrdeliselt tuulekiiruse kuubi väärtusega, kuid tuulikud on sellest võimelised kinni püüdma umbes 40-50 %. Seetõttu on otstarbekas tuulikule valida asukoht kus on suured tuule kiirused. Üldjuhul on sellisteks kohtadeks rannikuäärsed kohad, kus tuul on merelt või ookeanilt saanud takistuseta oma hoogu koguda [5].

Tuuleturbiinide ehituses eristatakse peamiselt kaht tüüpi konfiguratsioone: horisontaal telje suunal liikuvaid turbiine ja vertikaal suunal liikuvaid turbiine. Praegusel hetkel on levinumad horisontaalsel teljel pöörlevate labadega turbiinidega, nende kõrgemate tootlikus näitajate tõttu [5].

Tuuleturbiinide generaatorite kesksel kohal on elektri muundamise süsteem, mis koosneb erinevates masinseadmetest ning erinevate tuulikute puhul võivad lahendused olla erinevad. Tänapäevastes süsteemides on tuulegeneraatorina peamiselt kasutusel kas asünkroongeneraatorid, püsिमagnet sünkroon generaatorid. Generaatorid saavad energia tuuliku pöörlevatelt labadelt. Väljundenergia saadetakse aga üldjuhul läbi filtri, kuna saadud energia on ebaühtlase kvaliteediga, mis võib sisaldada kõrgemaid harmoonilisi. Peale seda muundatakse endiselt iseloomult ajas kiirelt muutuv vahelduvvool korra alalisvooluks ning peale seda sooritatakse vastupidine protsess. See protsess on vajalik vastavate pingeparametrite saavutamiseks [5].

1.4. Bioenergia

Biomassiks peetakse päikeselt saadud energiaga fotosünteesi tulemusel kasvanud orgaanilist materjali. See kuivatatud taimejäänuste kogum muundatakse üldjuhul soojuseks, elektriks või vedelaks kütuseks. Sellisel viisil saadud energiat nimetatakse bioenergiaks [5].

Biomassiks võib olla otseselt bioenergiaks muundamiseks kasvatatud taimed, kui ka juba töödeldud materjali jäägid või ka toidujäägi. Kuna nii fossiilsete energiaallikate kui ka bioenergia on pärit orgaanilisest ainest on neil sarnased karakteristikad ja jooned [5]. Võrreldes biomassi kasutamist fossiilsete allikatega on taastuvenergia allikaks määramiseks primaarse allika taastumise kiirus, mis loetakse olevat vähemalt ühe inim põlvkonna pikkune.

Bioenergial on mitmeid erinevaid saadusi. Alguse saab see termokeemilisest protsessist, mis tähendab biomassi põletamisest, gaasitamist või püroloosi. Põlemise tulemiks saadakse

kuum gaas, gaasitamise tulemiks saadakse kas madalaenergiaga gaas või keskmise energiaga gaas, püroloosi tulemiks on samuti kas keskmise energiaga gaas, süsi või süsivesinikud. Saadud gaasidega on võimalik käitada turbiine elektri tootmiseks. Madala- ja keskmise energiaga gaase saab kasutada sise põlemismootorite kütustena. Lisaks on keskmise energiaga gaasi saaduseks metaan, metanool ja biobensiin. Süsivesinike saaduseks on kütuse õlid ja nende destillaadid [5].

1.5. Geotermaalenergia

Teadaolevalt kannab Maa endas omadust tuuma poole liikudes näidata kõrgemaid temperatuure. Sellise soojuse energiaks muundamist nimetatakse geotermaalenergiaks, mis jagunevad algtemperatuuri järgi omakorda kolmeks: kõrge temperatuurilised- üle 180 °C, keskmise temperatuurilised- 100- 180 °C vahemikus, ning madalatemperatuurilised- alla 100 °C. Maapõue soojuse muundamise järgi liigitatakse energiat samuti kolme alagruppi: hüdrotermaalsed- , konduktiivsed- ja sügavpõhjavee süsteemid [5].

Hüdrotermaalsed süsteemid kasutavad maapõues leiduvaid kuumi vedelikke ja nende auru. Konduktiivsetes süsteemides kasutatakse kivimitesse salvestunud soojusenergiat ning magmat. Sügavpõhjavee süsteemide eesmärgiks on kuuma põhjavee tsirkuleerimine maapõue pooride ja kivimite vahel üldiselt vähemalt 3 kilomeetri sügavuselt. Teadaolevalt kasutatakse kaubanduslikel eesmärkidel ainult hüdrotermaalseid süsteeme. Saadud energia saab kasutada otseselt sooja tootmiseks, elektri tootmiseks kui ka soojus-elektri koostootmisjaamades [5].

1.6. Merelise iseloomuga energia

Merelise iseloomuga energia kasutamine elektri tootmiseks on levinum ookeanides, kuna võrreldes merede ja järvedega on ookeanis potentsiaalset energiat rohkem. Siiski on enamus seadmeid energia ammutamiseks merelistest oludest alles arenduse või prototüüpide faasis. Peamiselt üritatakse energiat kätte saada järgmiste loodusnähtustes: lained, loodetelt, loodete hoovustelt, ookeanide hoovustelt, ookeani vee temperatuuride erinevustest, vee soolasusest [5].

Energiat püütakse lainetelt nende laineharjade kõrguste muutumiste võnkumistest. Loodete energia on seotud Kuu gravitatsiooni jõuga, mis kergitab või langetab vee pinda. Tüüpiliselt kogutakse tõusu ajal anuma või barjääri taha suur kogus vett, mis mõõna ajal tühjendatakse hüdroelektrijaama põhimõttel. Niisamuti kasutatakse ära loodete hoovuseid, kus ookeani äärsetes kitsastes kaljuvahedes mõõna või tõusu ajal kogutakse energiat vee voolust. Samal põhimõttel püütakse energiat ka ookeanide hoovustelt, kus vee vool läbib generaatorit, mis oma olemuselt on sarnased tuuleturbiinidele. Ookeani veetemperatuuride erinevusest tekitatakse elektrienergia koostöös soojusvahetite ning madala keemistemperatuuriga vedelikega, mille aur käivitab turbiiniga koostööl elektrigeneraatori [6]. Ookeani vee soolasusest tekitatakse elektrienergia ostmoosi teel piirkondades, kus magedaveelised jõed segunevad soolase ookeani veega [7].

1.7. Hüdroenergia

Elektrienergiat, mis saadakse voolava vee muundamisega nimetatakse hüdroenergiaks. Hüdroenergia on võimaldatud veeringluse ja gravitatsiooni koostööl, kust kõrgematele pinnavormidele sadestunud vesi liigub madalamate pinnavormide poole [5].

Hüdroenergia muundamine elektrienergiaks toimub hüdroelektrijaamadeks, mis oma tööpõhimõtte ja veevoolu järgi jagunevad kolme kategooriasse: jõevoolu-, veehoidla- ja pumpla-hüdroelektrijaamad. Jõevoolu hüdrojaamade toodang sõltub otseselt jõevoolust, kus turbiin saab pöörlemiseks initsiatiivi jõe naturaalsest voolust. Veehoidlaga elektrijaamades toimub energia muundumine voolavast veest tammide abiga, mille taha kogutakse vesi reservuaari, kust läbi turbiinide suunatud veest tekitatakse elektrivool. Pumpla-veehoidlaga jaamad ei ole energiaallikad, kuid neid kasutatakse energia salvestusvõimalusena. Tööpõhimõtte järgi pumbatakse vesi ajahetkel, kui lähipiirkonnas energiavajadus väike on, kõrgemale veemahutisse, kust energiavajaduse tõustest vee potentsiaalse energia mõjul tühjendatakse mahuti ning muundatakse see elektrienergiaks [5].

1.8. Taastuvenergeetika Eestis ja Euroopas

Eesti kasutas 2016. aastal elektrienergia tootmisel 15,1 % taastuvenergiat kogu elektri toodangust. Enim olid kasutusel biomass ja biogaasist toodetud energiat 785 GWh,

tuuleenergiat 592 GWh, hüdroenergiat 35 GWh [8] ning päikeseenergiat 3 GWh [9]. Eestis oma geograafiliselt asukohast tingituna ei ole levinud energia tootmiseks kõrgetemperatuuriline geotermaalenergia kasutamine ega ka lainete ning loodete energiat. Küll aga levib ühe enam madalatemperatuurilise geotermaalenergia kasutamine nii majapidamistes kui ka tööstushoonetes nii kütmise kui ja jahutamise eesmärkidel.

Taastuvenergiaga elektri toomise peamine erinevus võrreldes ülejäänud Euroopaga on Eesti riigi kõrge elektritootmine biomassist, mis on tingitud Eesti metsarohkusest. Kogu Euroopa Liidu lõpptarbimisest moodustas 2015-. aastal biomassis elektri tootmine kõiges 3,8 %. Euroopa liidu peamine taastuv elektrienergia allikas on hüdroenergia, moodustades kogu energia lõpptarbimisest 11,5 %. Teisel kohal on tuuleenergia 8,9 %-ga ning kolmas on päikeseenergia 3,8 %-ga. 1,4 % moodustavad muud taastuvenergia allikad [8].

Taastuvenergia osakaal soojusmajanduses loeti 2015. aasta andmetel 49,62 % lõpptarbimisest [9], mille kasvutrend on saavutatud odavama hakkepuidu kasutamisel võrreldes maakütte õli ja maagaasiga [8]. Kogu taastuvenergia osakaal aastal 2015 moodustas 28,6 % lõpptarbimisest [9], millega on saavutatud ka Euroopa Liidu poolt määratud kava täitmine aastaks 2020, kus taastuvenergia osakaal lõpptarbimisest peab moodustama vähemalt 25 % [12].

2. DIGITAALNE JUHTIMINE

2.1. Automaatjuhtimise ajalugu

Esimesed ilmingud süsteemide automaatselt juhtimisest on pärit üle 2000 aasta tagasi, kui Kreekast pärit leiutaja Ktesibios kasutas vesikella töös nivooregulaatorit [13], mille eesmärk oli vee kontrollitud voolamine anumast ning vesikella mahuti uuesti automaatsel täitmisel. Selle tegevusega oli juba võimalik kella tööst välja jätta inimliku eksimuse vead ning tagati süsteemi vähem ressursse vajav juhtimine. Selline põhimõte on säilinud tänapäevase ni kõikide süsteemide automaatses juhtimises, sest juhitavad süsteemid sisaldavad erinevaid muutujaid, mille parameetrid tuleb stabiilse ja täpse juhtimise saavutamiseks hoida konstantsena. Modernsemad tagasisidega automaatjuhtimissüsteemide alguseks peetakse 1900ndaid, peale mida on automaatjuhtimine arenguetapid jaotatud nelja perioodi vahel [13]:

1. kuni 1900- algeline automaatjuhtimine;
2. 1900 kuni 1940- eelklassikalise automaatjuhtimise periood;
3. 1935 kuni 1960- klassikalise automaatjuhtimise periood;
4. 1955 kuni tänapäev- moderne automaatjuhtimine.

Algelise automaatjuhtimise esimesteks võteteks peetakse temperatuuri kontrollimist seadmetes ning mahutites 18ndal sajandil. Selleks suudeti kontrollida temperatuuri inkubaatorites, ahjudes kui ka leiutati ka esimesed termostaadid, sensorid, mis olid aluseks ka aurumasina releedele. 19nda sajandil tegeleti peamiselt masinate rootorite kiiruse reguleerimisega kui endiselt ka temperatuuri, vedelike tasemete juhtimisega. Leiutati laevade juhtimis mehhanisme, käigukaste. Periood lõpeb esimeste elektriliste releede ja solenoidide kasutamisega [13].

20nda sajandiga algas eelklassikaline automaatjuhtimise periood, mille alguse toodeti juba seadmeid nagu voolu-, pinge, sageduse kontrollereid, auru- ja elektrimasinate juhtimissüsteeme jne. Probleemiks oli aga see, et seadmed olid üsna lihtsa disainiga, kuid süsteemide teoreetilisi olemusi ei osatud veel analüüsida, mistõttu tõrkusid juhtimissüsteemid alatasa. Selle perioodi lõppu peetakse modernsete automaatjuhtimise teooriate alguseks ning leiutati ka esimesed (*PID*-regulaatorid) proportsionaal-integraal-diferentsiaalregulaatorid [13].

Klassikalisel automaatjuhtimise perioodil olid juba teadmised süsteemide juhtimise ja disaini kohta pädevad ning jätkati paljude süsteemide täiustamisega, mis olid eriti tähtsal kohal sõdade perioodil. Sellisteks valdkondadeks olid kommunikatsiooni süsteemid, kahurite lasketäpsuse täiustamised servomootoritega. Täiustati ka automaatjuhtimise teooriaid blokk diagrammide ning *Laplace*'i teisendustega. Perioodi lõppedes standardiseeriti paljud juhtimismudelid [13].

Moderne automaatjuhtimise ajastu, mille alguseks loetakse 1955 aastat, jätkati süsteemide täiustamist endiselt sõjatööstuses, kus põhirõhk oli suunatud reatiivmürskude täpsemaks juhtimiseks ja manööverdamiseks, millest hiljem arenes välja kosmoserakettide automaatjuhtimissüsteemid. Samuti jõuti järeldusele, et kasutades automaatikat süsteemide juhtimises on võimalik optimeerida süsteemide kulusid, seda tänu elektroonika ning mikroelektronika arengule, mida oli võimalik kontrollida digitaliseeritud arvutitega [13]. Sealt sai alguse digitaalelektronika teadusharu.

2.2. Automaatjuhtimissüsteemide olemus

Iseseisvalt toimiv masin või masinate süsteemi, kus inimene ei pea vahetult osa võtma töö protsessist nimetatakse automaatjuhitavaks süsteemiks. Sellist kooslust jagatakse juhtimisobjektiks ja juhtimisseadmeks, mille vahel edastatakse informatsiooni signaalide näol. Infoks on üldjuhul füüsilised suurused või nähtused nagu temperatuuri, pinge, voolu, asendi, kiiruse, rõhu jms. teisendatud vormid [14].

Juhtimissüsteemide toimimiseks on tarvilik sisendmuutuja signaal, mis muundatakse juhtimisseadmes ning seadmest väljastatakse väljundmuutuja. Väljundmuutuja väärtust mõõdetakse ning võrreldakse üldjuhul sisendiga. Sellist juhtimissüsteemi nimetatakse suletud kontuuriga juhtimissüsteemiks, mille väljundist saadetakse signaal sisendväärtusega võrdlemiseks. Süsteemides, mille sisendi väärtust ei mõjuta väljundsignaal parameeter nimetatakse avatud kontuuriga süsteemideks. Sellisel juhul sisendi väärtus sõltub kas ajast või matemaatiliselt ette antud mudelist [14]

Meetodeid automaatseteks süsteemide juhtimiseks liigitatakse kolme alagruppi [14]:

1. klassikalised juhtimismeetodid;
2. moodsad juhtimismeetodid;

3. intellektuaalsed juhtimismeetodid.

Klassikalised juhtimismeetodid toimivad tagasiside põhimõttel, kus juhtimine saavutatakse väljundi vea järgi. Selliselt juhitud süsteemid on kirjeldatavad lineaarsete diferentsiaalvõrranditega, mille lahendamiseks kasutatakse *Laplace*'i teisendusi sagedustunnusjoonte tekitamiseks ning analüüsiks. *PID*-regulaatorid on levinumad seadmed kasutamaks lihtsamates klassikalistes süsteemides. Selliseks süsteemiks on näiteks mootori pöörlemisageduse määramine sisendis väljundväärtusest sõltuvalt [14].

Moodsamat juhtimismeetodit kasutatakse keerukamates mitmelisidusate süsteemides, mis põhinevad olekuruumil ning nende olekumuutujatel. Selliselt juhitud süsteemid vajavad oma arvutuste komplitseerituse tõttu digitaalseid arvuteid, millega lahendatakse süsteemi analüüsiks ning juhtimiseks algebraisi meetodeid ning nende siirdeprotsesse [14]. Sellised süsteemid on kasutusel näiteks katlamajades, kus pidevalt kontrollitakse süsteemi anduritega hetke olekuparameetreid, mille signaale analüüsitakse juhtprogrammis. Juhtprogramm saadab siis vastavalt käskluse olekuparameetreid muuta või säilitada teistele seadmetele, mis vastutavad signaalide parameetrite väärtuse eest.

Intellektuaalseid juhtimismeetodeid kasutatakse inimeste intuiitivsetele kogumustele põhinedes kasutades hägusloogika kontrollereid ja eksperthinnangute meetodeid. Sellisel süsteemide töös leidub hulgaliselt määramatusi, millel ei ole konkreetset väärtust [14]. Sellised süsteemid on kasutusel näiteks robotikas või isesõitvate autode juhtimissüsteemides, kus autol tuleb iseseisvalt ja ohutult kulgeda mööda valitud marsruuti muutuvates liiklusoludes.

2.3. Digitaliseerimine juhtimissüsteemides

Tänapäeval peetakse arvuti või muu digitaalse seadmega süsteemide juhtimist kõige optimeeritumaks viisiks. Seetõttu lisatakse süsteemidesse erinevaid programmeeritavaid loogikakontrollereid ja andureid. Erinevate ettevõtete toodangute sobitumine süsteemidesse on lihtsustatud kontrolleri standartiseerituse tõttu. Automatiseeritud süsteemid on aga küllaltki erinevaid, mistõttu on tarvilik kontrolleri integreerimisel süsteemiga programmeerida juhtimistarkvara [15].

Kuna digitaalsed kontrollid on enamasti võimelised vastu võtma ainult digitaalseid signaale siis automaatsete süsteemide juhtimine toimib füüsiliste suuruste muutmisega,

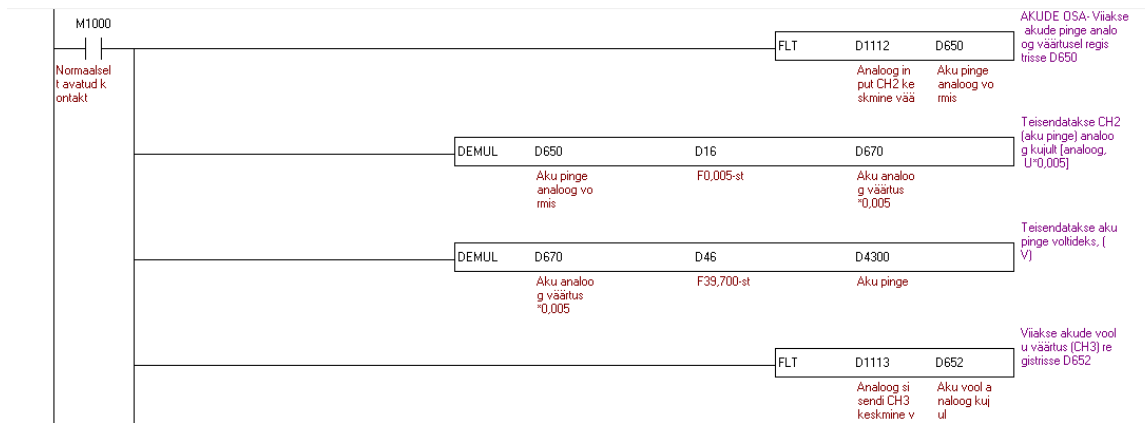
mille andurid väljastavad üldjuhul pidevaid analoogsignaale. Digitaalsed juhtimissüsteemid on suletud kontuuriga, kus andurilt saadetakse analoogsignaali, mis on üldjuhul pinge, analoog-digitaal muundurisse. Selles seadmes toimub pidevalt ajas muutuva analoogsignaali kvantimine, kus teisendatakse signaal binaarkujule. Binaarkujule teisendatud väärtust nimetatakse diskreetseks väärtuseks, millel on konkreetne väärtus, mis ajas enam ei muutu. Seda väärtust on võimalik esitada graafiliselt, kui ka juhtprogrammi pool analüüsida ning kasutada süsteemi juhtimisel. Viimase olukorra puhul teisendatakse signaal digitaal-analoog muunduris jällegi analoogsignaaliks, mis on juhitava seadme tööparameetrite reguleerimise aluseks [16].

2.4. Programmeeritavad loogika kontrollid

Automatiseeritud tööstustes on programmeeritavad loogika kontrollid (*PLC*-d) möödapääsmatud seadmed [17]. *PLC*-dega on asendatud vanades ja kohmakates süsteemides releede ja taimerite süsteemid, mis olid ühenduses omavahel kaablitega. Kontrollid koosnevad ise kahes komponendist: *PLC* riistavarast ning programm koodist [18].

Riistavaraline osa koosneb korpusest, toiteploki, programmeerimise terminalist, sisendi- ja väljundi sektsioonist ning keskest protsessorist. Toiteploki saab *PLC* tööks vajaliku energia. Programmeerimise terminalis koostatakse vajalik programm süsteemi käitamiseks. Sisendi- ja väljundi sektsioonid on ühendatud seadmete või anduritega otse, kogumaks informatsiooni või saates neile käsklusi. Keskses protsessoris toimub programmi käitamine süsteemi kontrollimisel [18].

Levinuimaks *PLC* programmeerimise keeleks on redel loogika (*ladder logic*), kuid ka teised programmeerimise keeled on kasutatavad [19]. Redel loogikaga diagrammiga on võimalik tekitada digitaalseid signaale ning salvestada neid mäluregistritesse [18]. Väljalõige redel loogikast, mis on kasutatud ka käesolevas töös, on näidatud joonisel 2.1.



Joonis 2.1. Väljavõtte redel loogika diagrammist.

PLC-d on võimelised vastu võtma ainult elektrilisi signaale, kuid juhitud või kontrollitavad seadmed väljutavad üldjuhul füüsilisi parameetreid. Selleks muundatakse need suurused kas binaar-, digitaal- või analoogsignaale, mis on vastuvõetavad *PLC*-dele [20]. Otseselt analoogsignaale ei ole *PLC* suuteline lugema, kuid need muundatakse diskreetseteks suurusteks kas *PLC*-s või välises *A/D*-muunduris.

3. DIGITAALELEKTROONIKA LABOR

3.1. Labori tutvustus

Uuritava objekti näol on tegemist 2014. aastal eraettevõtte Energiatehnika OÜ poolt loodud taastuvenergeetika uurimiseks loodud katsesendiga. Labor asub Eesti Maaülikooli Tehnikainstituudi (Fr. R. Kreutzwaldi 56/1, Tartu) viiendal korrusel ruumis nr. 504. Taastuvenergia komponentideks on päikesepaneelid, tuulegeneraator, sünteetiline generaator. Täiendavalt on süsteemis energia salvestamiseks akupank, tuuliku tipuenergia talletamiseks ülikondensaator, täpsete ilmastiku andmete omastamiseks meteoroloogiajaam, jälgimissüsteem ning energiaanalüsaatorid, koormuse simuleerimiseks kaks radiaatorit, soojapuhur, elektripistikud. Juhtimiskilp, milles labori juhtimine toimub on näidatud 3.1.



Joonis 3.1. Digitaalelektronika labori juhtimiskilp

Digitaalelektronika labori peamiseks eesmärgiks on olla vahendiks uurimustöödel taastuvenergeetika valdkonnas. Lisaks on katsesend on ehitatud nii, et enamus töös oleva süsteemi mõõdetud andmed on vabalt kättesaadav veebis ning tulemusi saab kasutada anda üliõpilastele kasutamiseks õppetöös. Süsteemis oleva sünteetilise generaatori abil saab analüüsida laborist eraldiseisva taastuvenergia seadme tööd integreerituna Maaülikooli taastuvenergia labori seadmetega. Olulise omadusena on katsesendil veel võimalus lahutada

tootmise pool üldisest elektrivõrgust, nii et labori karakteristika on võrdeline autonoomse süsteemiga.

Installeeritud taastuenergia võimsus laboris on võrreldav väikesele eralamajale sobiliku võimusega ning süsteem kuulub Eesti võrgueeskirja järgi mikrotootja nimekirja. Mikrotootjateks nimetatakse üldise elektrivõrguga liidetud taastuenergia seadete süsteemi, mille kogu installeeritud võimsus ei ületa 15 kW [22]. Antud süsteem on paigaldatud 2,5 kW võisusega päikesepaneel ja tuulegeneraator installeeritud võimsusega 3,5 kW. Kogusummaks teeb see 6 kW installeeritud võimsust. Arvestades juurde sünteetilise generaatori võimsuse, milleks on 3,6 kW, saab uurimustöödeks kasutada kogu installeeritud võimsust 9,6 kW. Vajadusel sama võrgulepinguga jätkates on võimalik lisada 9 kW jagu tootmisvõimsust päikesepaneelid, tuulegeneraatori vms näol.

3.2. Digitaalelektronika labori komponendid

3.2.1. Tuulik

Digitaalelektronika laboris on tuulest energia saamiseks 3,5 kW võimsusega tuulegeneraator, mille tootjaks on *Windspot*. Tuulegeneraatori peamised nimiandmed on toodud tabelis 3.1.

Tabel 3.1. Tuuliku *Windspot* 3,5 nimiandmed [22]

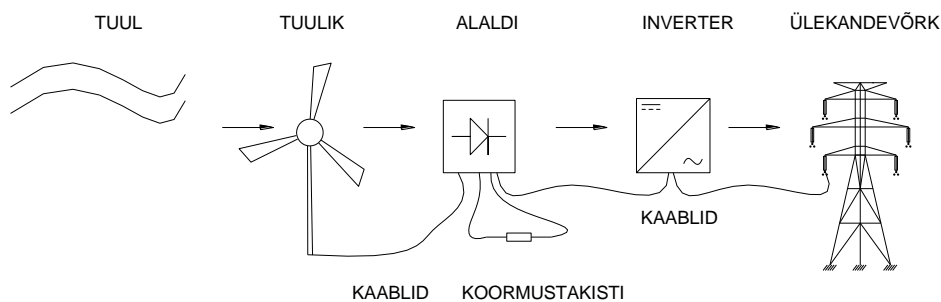
Nimetus	Väärtus
Nimivõimsus	3500 W
Mass	185 kg
Hinnanguline energiatoodang (5-7 m/s)	4,802-10,839 kW·h
Nimi pöörlemiskiirus	250 min ⁻¹
Rootori pindala	12,88 m ²
Käivitus tuulekiirus	3 m/s
Maksimaalne tuulekiirus	60 m/s

Tegu on kolme labaga väiketuulikuga, mille rootori diameeter on 4,05 m ja pikkus rootori ninast sabani 3,2 m [22]. Tuulik asub 4 m pikkuse jala otsas ja asub Tehnikainstituudi katusel, mis teeb tuuliku kõrguse maapinnast umbes 25 m [23]. Tuuliku asukoht on näidatud joonisel 3.2.



Joonis 3.2. Tehnikainstituudi tuulegeneraatori paigaldus

Tuuliku käivitab vähemalt 3 m/s kiirusega puhuv vastutuul, mis paneb tuuliku rootori horisontaaltelje suunaliselt. Rootori pöörlemisega tekitatud kineetiline energia suunatakse mööda kaableid alaldisse, kus tuuliku pöörlemisel tekitatud ebaühtlase kvaliteediga vahelduvpinge muundatakse alalispingeks. Alaldiks on süsteemis *MWP 4G-20K*, mis võimaldab vastu kuni 500 V vahelduvvoolu [24]. Liiga kõrgel tuulekiirusel või tuuliku seiskamiseks on alaldiga ühendatud koormustakisti, mille töö tulemusena vajadusel pidurdatakse või seisatakse tuulik. Normaalses alalispingele muundatud energia suundub inverterisse *WindyBoy WMA WB3600TL*, kus omakorda muundatakse toodetud energia 230 V võrgupingele. Tuulest saadava energia teekond tarbijani on näidatud joonisel 3.3.



Joonis 3.3. Tuule energia teekond tarbijale kasutatavaks

Tuulik on integreeritud ülejäänud laboriga ning tema tootlikust on võimalik analüüsida süsteemi ülejäänud komponentidega.

3.2.2. Päikesepaneelid

Energiat päikeselt valguse näol muundatakse elektrienergiaks Tehnikainstituudi katusele paigaldatud kümne *DelSolar* polükristall päikesepaneeli poolt. Ühe paneeli võimsuseks on tootja poolt märgitud 250W, mis kokku teeb 2,5 kW installeeritud võimsust. Päikesepaneelide paigutus on näidatud joonisel 3.4.



Joonis 3.4. Päikesepaneelide paigaldus Tehnikainstituudi katusel

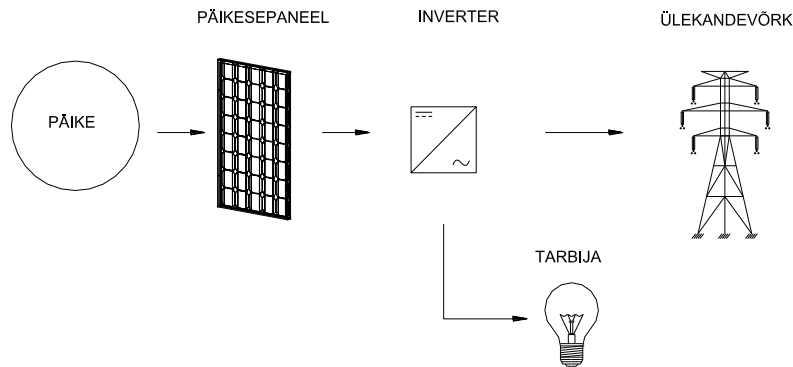
Päikesepaneelide võimsus on tootja poolt antud 25 °C juures. Päikesepaneelide tootlikkus on tingitud takistusest, mis kasvab temperatuuri tõustes ja langeb temperatuuri langedes. Mida väiksem on elektrit tootvate osakeste takistus seda suurem on päikesepaneeli tootlikkus. See tähendab, et reaalses olukorras, päikesepaistelise ilmaga, kui paneelid on korralikult jahutatud alla 25 °C võib reaalne paneelide poolt välja antud võimsus olla suurem, kui tootja nimiandmetes kirjas ning kõrgema temperatuuri korral väiksem. *DelSolar 250* nimiandmed on näidatud tabelis 3.2.

Tabel 3.2. *DelSolar* päikesepaneeli nimiandmed [25]

Nimetus	Väärtus
Nimivõimsus	250 W
Mõõdud	1650 x 990 x 42 mm
Mass	18 kg
Kasutegur	15,3 %
Avatud ahela pinge	37,37 V
Pinge maksimaalse võimsuse korral	30,05 V
Lühisahela vool	8,63 A
Vool maksimaalse võimsuse korral	8,12 A

Kui omavahel jadamisi ühendatud kümnele päikesepaneelile langeb peale päikesekiirgus hakkab paneeli sees toimuma fotoefekt, mille tulemusena tekib alalispinge. Energia suundub mööda kaableid edasi inverterisse, kus toimub alalispinge konverteerimine

vahelduvpingeks, mis on sobilik tarbimiseks. Inverterist suundub energia esmajoones lähemal olevatesse tarbijatesse. Juhul, kui tarbijate energiavajadus on rahuldatud hakkab energia liikuma tagasi võrku müümiseks. Energia saamine valguskiirguse toimel on näitatud joonisel 3.5.

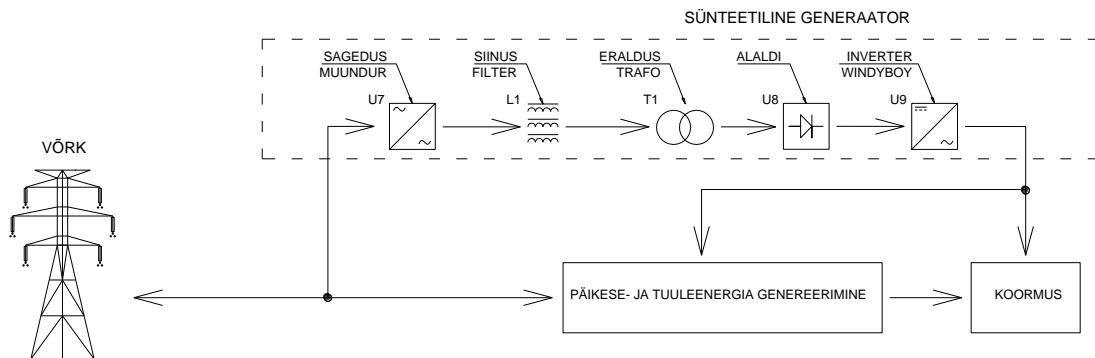


Joonis 3.5. Elektrienergia tootmine valguskiirgusest põhimõtteskeem [26]

Päikesepaneelid on integreeritud ülejäänud laboriga ning tema tootlikust on võimalik analüüsida süsteemi ülejäänud komponentidega.

3.2.3. Sünteetiline generaator

Sünteetiline generaator kujutab endast seadmete kogumit, millega on võimalik imiteerida taastuvenergia allika karakteristikat ning analüüsida selle toodangut koostöös ülejäänud digitaalelektronika labori seadmetega. Sünteetilise generaatori põhimõtteskeem ja süsteemi integreerimine ülejäänud laboriga on näidatud joonisel 3.6.



Joonis 3.6. Sünteetilise generaatori põhimõtteskeem integreerituna ülejäänud digitaalelektronika laboriga

Sünteesiline generaatori tööks on tarvilikud viis järgmist komponenti:

1. sagedusmuundur *VFD037EL4A (U7)*;
2. siinusfilter *FUSS-EMV 3AFS400 (L1)*;
3. eraldustrafo (*TI*);
4. alaldi (*U8*);
5. *SMA* muundur *Windy Boy 3600TL* võimsusega 3,6 kW (*U9*).

Energia sünteetilise generaatori tööks tuleb ülekandevõrgust, mis suubub mööda kolmefaasilise elektriliini pidi sagedusmuunduri (*U7*) sisendisse. Sagedusmuunduri sageduse muutmisega toimub tema väljundpinge reguleerimine. Sagedusmuunduri väärtuste muutmine toimub kas käsitsi ekraanilt (*HMI*) ette andes või automaatselt läbi kohaliku internetivõrgu.

Edasi liigub reguleeritud energia läbi siinusfiltri (*L1*), kus toimub sagedusmuunduri poolt tekitatud ebakvaliteetse pinge silumine. Pinge teeb mitte vastavaks võimalik kõrgemate harmooniliste olemasolu, mis võib rikkuda teiste elektroonikakomponentide töö kvaliteeti või need koguni rikkuda. Antud skeemis on siinusfilter eelkõige tarvilik alaldi (*U8*) tööks, mis ei pruugi korrektselt toimida juhul kui pinge sisaldab harmoonilisi. Ebakvaliteetne väljundpinge tase on sagedusmuundurite tüüpiliseks probleemiks [27]. Laboris kasutatava siinusfiltri *FUSS-EMV 3AFS400* nimiaandmed on näidatud tabelis 3.3.

Tabel 3.3. Sünteetilise generaatori siinusfiltri *FUSS-EMV 3AFS400* nimiaandmed [28]

Nimetus	Väärtus
Faaside arv	3
Nimipinge	500 V (400 V+ 25%)
Nimivool, I_r	10 A
Käivitusvool	1,1 x I_r
Min. impulsside sagedus	3 kHz
Max. impulsside sagedus	18 kHz
Võimsus kadu	165 W
Mass	6,7 kg
Alumiiniumi sisaldus	1,9 kg

Filtreeritud energia suundub edasi läbi eraldustrafo (*TI*), mille peamine eesmärk on tagada energia ühesuunaline liikumine ohutuse eesmärgil. Transformaatori töö tulemusena on eraldatud primaarahel sekundaarahelast, mis on tagatud elektrit juhtivate osade galvaanilisel eraldamisel. Sekundaarahela teeb ohutuks maa potentsiaali eraldamine [29]. Eraldustrafo

(*T1*) ja siinusfilter (*L1*) on näidatud joonisel 3.7. Tarvitipoolne transformaatore väljundpinge on võrdväärne sisendpingega, kuna mähiste keerdude arv on sama [30].



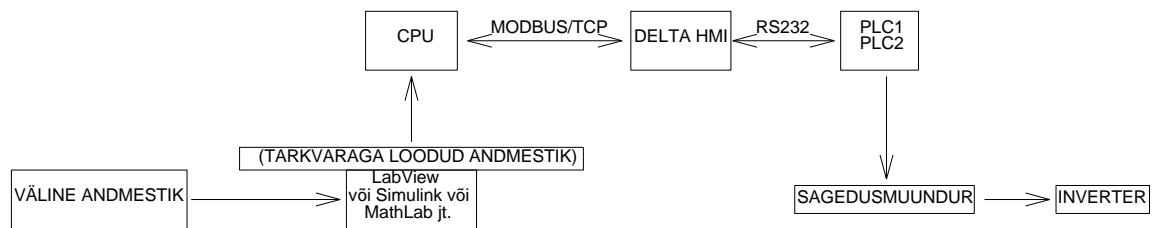
Joonis 3.7. Eraldustrafo *T1* (vasakul) ja siinusefiltri *L1* (vasakul) paiknemine juhtimiskilbis

Selles etapis võib genereeritud vahelduvpinge endiselt olla ebahühtlaste väärtustega, mis ajalisel plaanis on kiire muutumise iseloomuga. Seetõttu kasutatakse energiat konverteerimiseks Energiatehnika OÜ poolt ehitatud alaldi (*U10*), milles muundatakse ebahühtlane vahelduvvoolu pinge alalispingeks, mida on omakorda lihtsam konverteerida Eesti võrgustandardile vastavaks hühtlaseks 230 V pingeks. Viimasel juhul on seadmeks inverter *SMA Windyboy 3600 TTL (U9)*, mida on lähemalt tutvustatud muundurite peatükis. Alaldi kohta puudub dokumentatsioon täielikult.

Inverteri (*U9*) väljundvõimsus on imiteeritud energiaallika väljundvõimsuseks, mis on integreeritud ülejäänud labori süsteemidaga. Generaatori toodangut digitaalelektronika laboris on võimalik analüüsida järgmistel juhtudel:

1. ühendatud üldvõrguga;
2. autonoomselt;
3. päikeseenergiaga toodanguga;
4. tuuliku toodanguga;
5. eelnimetatud võimaluste kombineeritud toodanguga.

Sünteesilise generaatori töö juhtimine on võimalik käsitsi või automaatselt. Käsitsi juhtimine on saavutatud juhtpaneelilt valitud võimsuse väärtuse sisse trükkimisega. Automaatne juhtimine on saavutatud nii nagu näidatud joonisel 3.8.



Joonis 3.8. Sünteetilise generaatori automaatse juhtimise põhimõtteskeem

Koormuse karakteristik on võimalik importida eemal asuvast taastuvenergia elektriyaamast või on see võimalik luua tarkvaras. Sellisteks tarkvaradeks on *Labview*, *MathLab* jms. Antud juhul on karakteristik andmed võetud *.RCP* või *.CSV* laiendiga failist, mis saadetakse arvutist *Modbus* sideliini protokolle pidi elektrikilbi (*EK-1*) uksele asuvasse juhtpaneeli. Ekraan on omakorda *RS-232* standardi kaabliga ühendatud programmeeritavate juhtkontrolleritega, mis juhivad juba sagedusmuunduri (*U7*) tööd.

3.2.4. Muundurid

Suuremad seadmed, millega muudetakse pinget tüüpi või suurust süsteemis on kokku üheksa. Kaks inverterit, *Sunny Island 6.0 H* ja *Flexiva ZEMIS WG5K*, on oma otstarbalt vastavalt energia salvestuseks akudesse ja ülrikondesaatorisse, kus muundatakse 230 V vahelduvpinge 48 V alalispingeks. Muundamine on nende seadmetega võimalik kahepidisel muundamisel [31,32]. Vastavad inverterid on näidatud joonisel 3.9. Dokumentatsioonis on tähistatud need muundurid vastavalt *U4* ja *U5*.



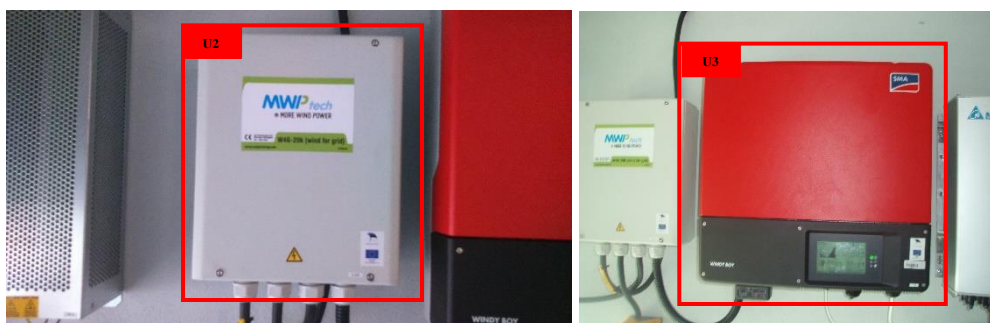
Joonis 3.9. Digitaalelektronika labori 230VAC/48VDC inverterid. Vasakul *Flexiva ZEMIS WG5K* juhtimiskilbis ja paremal *Sunny Island 6.0 H* juhtimiskilbi seinal

Kahe inverteri alla on määratud sama seeria sagedusmuundurit *Delta VFD-EL*, millega reguleeritakse koormusi vastavalt sünteetilise generaatori ja tarbijat iseloomustava soojapuhuri tööd. Muundurid annavad välja vastavalt 0,4 kuni 3,7 kW elektrilist võimsust 400 V ning 0,2 kuni 2,2 kW 230 V juures [33]. Sagedusmuunduri installatsioon juhtkilbis on näidatud joonisel 3.10. Dokumentatsioonis on need sagedusmuundurid märgitud vastavalt *U7* ja *U10*.



Joonis 3.10. Sagedusmuundurid vasakul *DELTA VFD-EL037EL43A (U7)* ja paremal *DELTA VFD-EL002EL21A (U10)*

Tuuleenergia muundamiseks ja sünteetilise generaatori tööks on kasutuselt kaks täpselt sama inverterit- *WindyBoy 3600 TL*, mille energia muundatakse alalispingest 230 V vahelduvpingeks. Maksimaalne võimsus on inverteril 3,6 kW [34]. Kuna tuulik annab välja suhteliselt ebakvaliteetse karakteristikuga vahelduvpinget siis muundatakse see kõigepealt *MWP 4G-20K* alaldi abil alalispingeks [24]. *Windyboy 3600 TL* inverteri ja *MWP 4G-20K* asukohad on laboris on näidatud joonisel 3.9. Energia muundamine on süsteemis ette nähtud nende seadmetega ainult ühesuunaline. Dokumentatsioonis on inverterid tähistatud vastavalt *U3* ja *U2*.



Joonis 3.9. *MWP 4G-20K (U2)* tuuleenergia muundamiseks vasakul ja *Windyboy 3600 TL (U3)* sünteetilise generaatori töö jaoks paremal

Päikeseenergia võrgusobilikuks muundamiseks on kasutusel inverter *Solvía 2.5 EU G3*, mis muundab päikesepaneelide poolt tekitud alalispinge vahelduvpingeks. Maksimaalne võimsus on inverteril 2.5 kW [35]. *Solvía 2.5 EU G3* inverter on näidatud joonisel 3.10.

Energia muundamine on ette nähtud antud seadmega ainult ühesuunaline. Dokumentatsioonis on antud inverter tähistatud *UI*-ga.



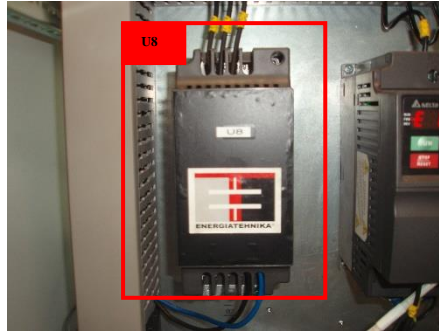
Joonis 3.10. Päikeseenergia inverter *Solvia 2.5 EU G3* asukoht õppelaboris

Juhtimiskontrollerite ja releede tööks vajalik alalispinge on saavutatakse *Delta Cliq Power Supply System 24 VDC* muunduriga. Seadmega muundatakse 230 V vahelduvpinge 24 V alalispingeks [36]. Muunduri asukoht juhtimiskilbis on näidatud joonisel 3.11. Dokumentatsioonis on tähistatud seade tähisega *U11*.



Joonis 3.11. Muunduri *Delta Cliq Power Supply System 24 VDC* asukoht juhtimiskilbis.

Sünteetilise generaatori tööks on laboris peale sagedusmuundurit paigaldatud Energiatehnika OÜ poolt ehitatud alaldi, mille dokumentatsioon puudub. Tööpõhimõtte järgi on tegu kolmefaasilise vahelduvpinge sisendiga alaldi, mis annab väljundiks alalispinge. Alaldi on dokumentatsioonis märgitud tähisega *U8* ja paigutus on näidatud joonisel 3.12.

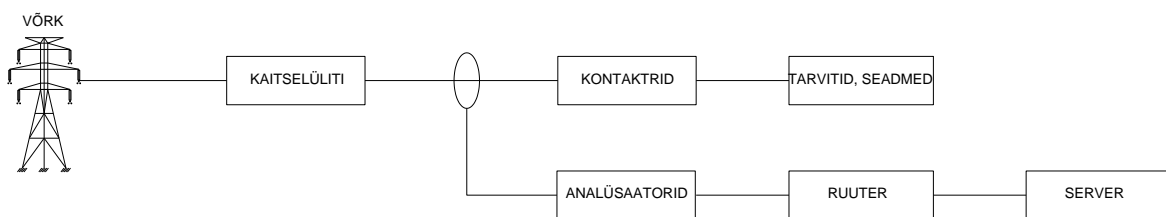


Joonis 3.12. Alaldi *U8* asukoht juhtimiskilbis

Digitaalelektronika labori muunduritel on erinev karakteristika, eesmärk ja tööpõhimõte, kuid muundurite peamised nimiandmed on koondati Lisasse A.

3.2.5. Analüsaatorid

Olulisel kohal digitaalelektronika labori töös on andmete logimine ja salvestamine. Selle jaoks on seatud üles energia analüsaatorite ühendused, mis koguvad erinevate seadmete toiteahelate andmeid voolutrafodega. Toiteahela juhtide ümber paigutatud trafodest saadetakse madaldatud voolu väärtused energiaanalüsaatoritesse, kus toimub toiteahelate andmete kogumine ning uurimine. Analüüsitud andmed saadetakse ruuteri kaudu serverisse, kust on võimalik andmeid edasi analüüsida või esitada graafiliselt. Energiaanalüsaatorite tööpõhimõtte skeem on näidatud joonisel 3.13.



Joonis 3.13. Energiaanalüsaatorite tööpõhimõtte skeem

Ümber toiteahela juhtide on pandud kokku 10 voolutrafot *P2 TC5*, mille eesmärgiks on muuta mõõtmisteks liiga kõrged voolu väärtused madalamaks, et nad oleksid sobilikud voolu väärtuste määramiseks. Tööpõhimõtte järgi töötab seade ampertangidele kohaselt, kus saab vooluahelat katkestamata saada elektriliselt laetud voolu väärtused, toiteahela ümber paigutatuna. Voolutrafo paigutus on näidatud 3.14. Voolutrafo kujutab endast elektromagnetit, mis tekitab juhtmes elektrivoolu liikumisega magnetis magnetvoo. See on

omakorda tekitab magneti ümber keritud mähises elektrivoolu. Tekitatud elektrivoolu väärtus on võrdeline esialgse voolu väärtuse ja mähise keerdude arvu jagatisega [37]. Mõõtmisi tehakse iga faasi kohta eraldi.



Joonis 3.14. Voolutrafode paigutus elektrikilbis

Sekundaarmähise otsad on ühendatud energiaanalüsaatoritega *Janitza UMG 605* ja kahe *UMG103*-ga. Seadmed on ka omavahel ühendatud, nii et *UMG 605* salvestab mõlema *UMG103* andmed. *UMG103*-del puudub iseseisvalt mälu andmete salvestamiseks, *UMG605*-l on selleks aga 250 MB võimekust. Omavahel on seadmed ühendatud *RS-485* sideliiniga. *UMG605* on tähistatud laboris *A1*-ga, kui *UMG 103* vastavalt *A2*-ga ja *A3*-ga. Lisaks salvestab *UMG 605* võrgupingeid iga faasi kohta eraldi ning *UMG103*-d kohtvõrgu pingeid. Tabelis 3.4 on näidatud vastavate seadmete voolu sisendid, mille energiad analüüsitakse.

Tabel 3.4. Energiaanalüsaatorite voolu otsad

<i>UMG 605 (A1)</i>	<i>UMG 103 (A2)</i>	<i>UMG 103 (A3)</i>
Võrguühendus I faas	Päikesepaneelide kohtvõrku	Sünteesiline generaator
Võrguühendus II faas	Tuulegeneraator kohtvõrku	Juhitav koormus
Võrguühendus III faas	Akuinverter kohtvõrku	Tarvitid.
Ülikondensaatori muundur	-	-

UMG103-de kõik sisendid on aktiivsed, mis tähendab, et neile lisada enam mõõtevälju ei saa. *UMG605*-le saab lisada ühe analoogsisendi temperatuuri mõõtmiseks, 2 digitaalsisendit ja 2 digitaalväljundit. Energiaanalüsaatorite paigutus elektrikilbis on näidatud joonisel 3.15.

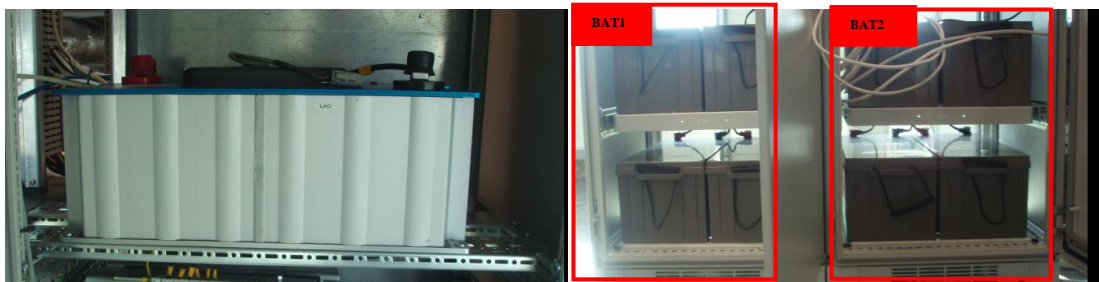


Joonis 3.15. Energiaanalüsaatorite paigaldus elektrikilbis

UMG 605 on ühendatud *RJ45* kaabliga ruuteriga, mis asub samuti elektrikilbis *EK-1*. Sealt saadetakse andmed edasi kohalikku serverisse, kus andmeid saab seal töödelda *GridVis* programmiga ja esitada teistes seadmetes. Töödeldud andmete kuju on näha ka Maaülikooli Tehnikainstituudi fuajee ekraanil, kui ka internetiaadressil www.energia.emu.ee.

3.2.6. Salvestusseadmed

Tuulikult, päikesepaneelidelt või sünteetiliselt generaatorilt toodetud energia on võimalik salvestada digitaalelektronika juhtimiskilpi paigutada ühte ülikondensaatorisse ja kaheksasse akusse. Akude ja ülikondensaatori paigutus juhtimiskilbis on näidatud joonisel 3.16.



Joonis 3.16. Ülikondensaatori asukoht juhtimiskilbis vasakul ja akude asetud paremal, kus *BAT1* tähistusega on esimene akupank ning *BAT2* tähistusega teine akupank

Ülikondensaatorina on kasutusel *Maxwell Technologies* toodanguga *BMO165FBXX*. Tüüpiliselt kasutatakse seadet hübriidsõidukites ajamites, raudtee tööstuses, suurte tööstuslike seadmete käivitamiseks või *UPS* tagavarasüsteemidena [38]. Ülikondensaatorite eelisteks akude ees, peetakse nende kiiret laadimist ja energia kättesaadavust, suurte

võimsuste kasutamist ning pikka töökindlust [39]. Ülikondensaatorite peamiseks puuduseks võrreldes akudega on nende kõrge maksumus. Laboris kasutatavate salvestusseadmete nimiandmed on toodud tabelis 3.5.

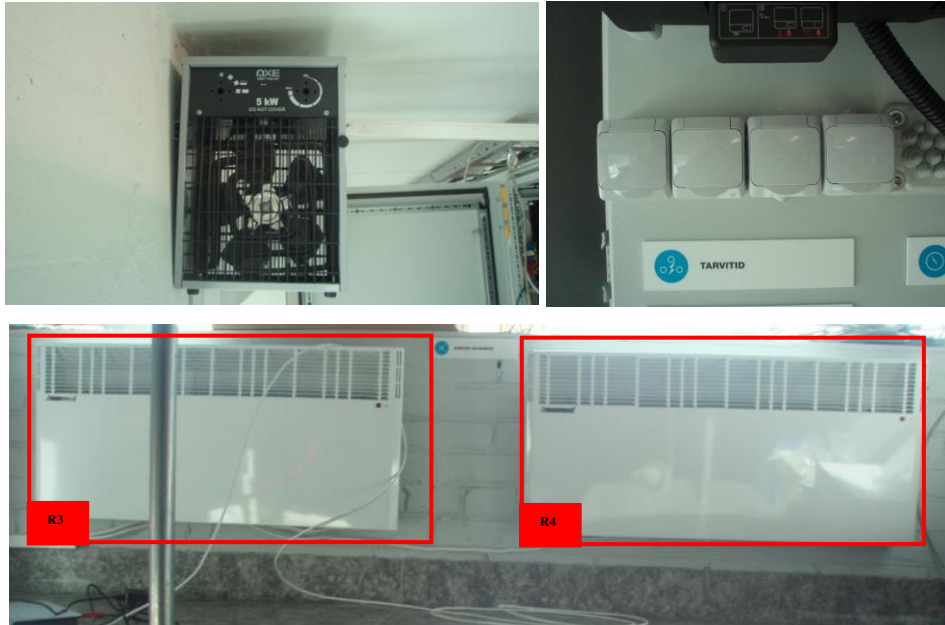
Tabel 3.5. Ülikondensaatori *BMO165FBXX* ja aku *BAT412201080 AGM* [38,40]

Nimetus		Ülikondensaator BMO165FBXX	Aku BAT412201080 AGM
Mahtuvus	Mahutavus	165 F	220 Ah
Pinge		48 V	12 V
Vool		100 A	20 A
Kaal		13,5 kg	65 kg
Tsüklid		~1000000	900- 90% tühjenemisel

Akude tootja on *Victron Energy*, kelle loodud mudel *BAT412201080 AGM*-tüüp akud on kasutusel digitaalelektronika laboris. Kokku on 8 akut, mis jaotatud kahte jadaühendusse (mõlemas 4 akut), mis on omavahel paralleelselt ühendatud. Sellise ühendusega on määratud akude pinge ja mahutavus. Kui ühe aku pinge on 12 V, siis neli akut jadamisi ühendatuna annavad kokku 48 V süsteemi. Kahe rööbiti ühendatud jada mahutavuse saab jadade mahutavuste väärtuste liitmisel. Antud juhul on selleks 440 Ah, mis on saadud kahe jada mahutavuse liitmise tulemusena.

3.2.7. Koormus

Digitaalelektronika laboril on omadus täielikult võrgust lahti ühenduda ning testida akusid või ülikondensaatorit koormates nende tühjenemist. Akude mahutavus võib väheneda ajaga, kuid võimalik on ka akude energiat kasutades mõne seadme tööks. Digitaalelektronika laboris on selle jaoks installeeritud üks soojapuhur võimsusega 5 kW, 2 radiaatorit, kumbgi võimsusega 400 W, mis teeb kogukoormuseks 5,8 kW. Lisaks on laboriga integreeritud 4 pistikupesa, kuhu saab erinevat liiki koormuseid ühendada kuni 16 A väärtuses. Seadmed on näidatud joonisel 3.17.



Joonis 3.17. Soojapuhur vasakul üleval, tarvitid paremal üleval, radiaatorid all

Dokumentatsioonis on soojapuhur märgitud tähistusega R2 ning radiaatorid vastavalt R3 ja R4.

3.2.8. Juhtpaneel

Juhtimiskilbi uksele on paigaldatud ekraan, kus on näidatud peamised seadmete hetkväärtused, kui ka on võimalik juhtida labori seadmete tööd. Juhtpaneeliks on *Delta Electronics*'i ekraani seerianumbriga *DOP-B10E615*. Tegu on värvilise puutetundliku ekraaniga, resolutsiooniga 1024x 600 pikslit, displei mõõduga 226x 128,7 mm. Suhtlus teiste seadmetega on võimalik ekraanil läbi interneti serverite, *USB* ühenduse kaudu kui ka *RS-232*, *RS-422* ja *RS-485* ühenduste kaudu. Võimalik on ka ekraani juhtimiskoodid salvestada *SD*-mälukaartile. Toiteks on vajalik 24 V alalisvoolu, kuid ekraan on ka varustatud 3 V liitium akuga [41]. Ekraani paigutust juhtimiskilbi uksele on näidatud joonisel 3.18.



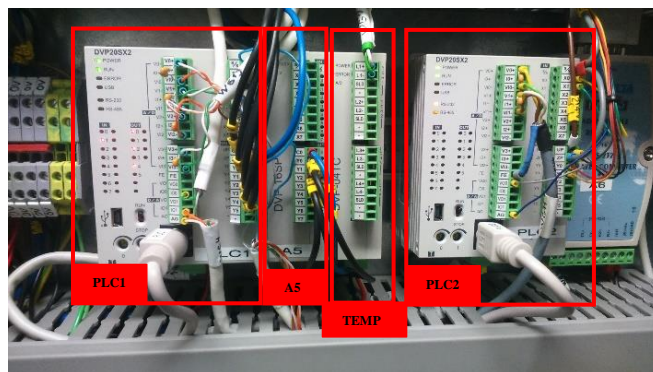
Joonis 3.18. Juhtpaneeli paigutus juhtimiskilbi uksele

Ekraanil on kuvatud kokku 9 lehekülge: juhtimine, päike, tuul, ülikondensaator, aku, võrk, sünteetiline allikas, koormus ja ilmajaam. Esimese-juhtimise leheküljelt on leitav digitaalelektronika labori komponentide võimsused ning seal toimub ka labori töö juhtimine. Nii päikesepaneele kui ka tuuliku toodangut on võimalik määrata kasutamaks kohtvõrgus või välisvõrguga ühenduses. Lisaks on võimalik määrata võimsused nii koormusele, kui sünteetilisele generaatorile. Ülejäänud lehekülgedel on näha täpsemad väärtused seadme hetkeolukorda iseloomustamiseks.

Juhtpaneeli graafilist poolt saab muuta kasutades programmi *DopSoft*, mis on mõeldud *Delta Electronics* ekraanide kuva loomiseks. Ekraanipilti on võimalik kontrollida ning jälgida ka arvutiekraanilt. Selleks tuleb kohalikku võrku sisse logida ning sisestada õige *IP*-aadress ning parool *eRemote* tarkvarasse. Ekraani pilt on kuvatav tegevuse tulemusena arvutiekraanil.

3.2.9. Juhtimisseadmed

Süsteemi juhtimiseks toetutakse programmeeritavatele loogikakontrolleritele. Juhtimine on ära jaotatud kahe kontrolleri vahel, mis on tähistatud vastavalt *PLC1* ja *PLC2*. Mõlemad on sama marki seadmed- *Delta DVP20SX211T*. *PLC1*-ga on liidetud ka kaks lisamoodulit *Delta DVP-16SP11R* tähisega *A5*, lisa portide tekitamiseks ning tähistuseta *Delta DVP-04TC-S* termopaar terminalide lisamoodul, temperatuuride salvestamiseks. Programmeeritavate loogikakontrollerite asetus juhtimiskilbis on näidatud joonisel 3.19.



Joonis 3.19. Programmeeritavad loogikakontrollerid juhtimiskilbis. Vasakult *PLC1* (*DVP20SX211T*), *A5* (*DVP-16SP11R*), *TEMP* tähistusega seade (*Delta DVP-04TC-S*), *PLC2* (*DVP20SX211T*)

Kui *PLC2* ülesanneteks on ülikondensaatori muunduri töö juhtimine ja andmete salvestamine, siis *PLC1*-ga talletakse ülejäänud andmed ning toimub ka ülejäänud süsteemi juhtimine. *Delta DVP20SX211T* kuulub *DVP20SX2* seeriasse, mille mudelil on [42]:

1. 4 analoogsisendit 12-bitise resolutsiooniga ($V0+$; $V0- \dots V3+$; $V3-$);
2. 2 analoogväljundit 12-bitise resolutsiooniga ($VO0- VO1$);
3. 8 digitaalsisendit ($X0-X8$);
4. 6 NPN-transistorväljundit ($Y0-Y6$);
5. 3 liidest (*USB*, *RS-232*, *RS-485*);
6. umbes 16 000 programmkäsu maht;
7. kuni 8 lisamoodulit analoogsisendile ja väljundile;
8. lisamoodulitega kuni 248 digitaalsisendit ja 254 digitaalväljundit.

DVP-04TC-S on termopaar terminalide lisamoodul, mida kasutatakse temperatuuri logimiseks 14-bitise resolutsiooniga. Lisamoodulil on logimiseks 4 kanalit (*L1-L4*). Andmevahetus teiste seadmetega on võimalik *RS-485* liidese kaudu.

DVP-16SP11R digitaalsisendite ja -väljundite terminalide lisamoodul, millel on 8 digitaalsisendit ($X0-X7$) ning 8 rele väljundit ($Y0-Y7$). Andmevahetus teiste seadmetega on võimalik *RS-485* liidese kaudu.

Loogikakontrolleritega mõjutatakse otseselt muundurite töö karakteristikaid, kui ka kontrollitakse lülitusi kontrollerite ja releede kaasamisel. Juhtimiskilbis on peamiste lülituste

sooritamiseks 5 kontaktorit ja 7 releed. Kontaktorite ja releede asetus juhtimiskilbis on näidatud joonisel 3.20.



Joonis 3.20. Kontaktorite ja releede asetus juhtimiskilbiks. *K1-K5, K11* on kontaktorid, *K6-K10* releed ning *V1* ja *V2* releed

Kontaktorid *K1-K5* on *ABB* toodangu mudel *AF09Z-30-10-21*, mis on tegumoe poolest mõeldud juhtima süsteeme kuni 690 V vahelduvvooluga ja 220 V alalisvooluga. Peamiselt kasutatakse neid kolmefaasiliste mootorite juhtimiseks ja vähe- või mitteinduktiivsete koormuse reguleerimiseks [43]. Digitaalelektronika laboris kontaktor *K1* kontrollib PV-paneelide üldvõrgu ühendust, *K2*- PV-paneelide kohtvõrgu ühendust, *K3*- tuuliku üldvõrgu ühendust, *K4*- tuuliku kohtvõrgu ühendust, *K5*- akude laadimise liini üldvõrgust.

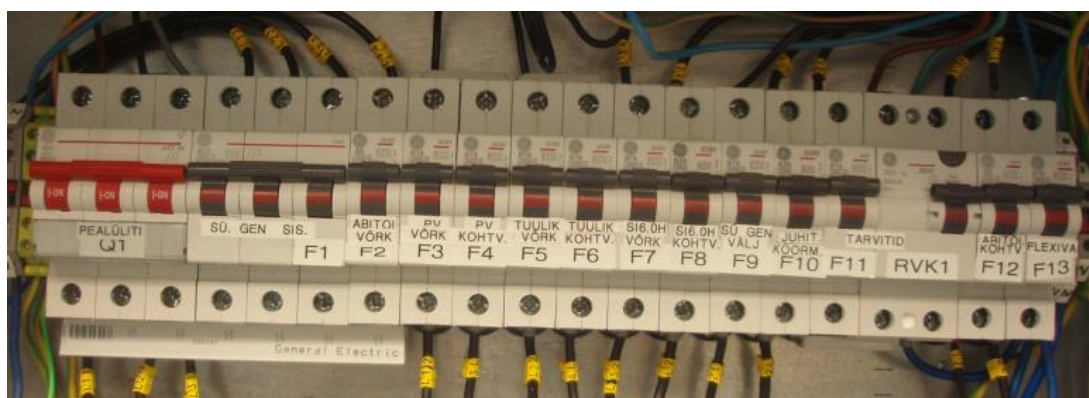
Kontaktor *K11* on *General Electricu* toodangu mudel *CL00 01E*, mis on kolmepooluseline kontaktor, mis on eelkõige juhuks, kui loomulik toiteallikas lakkab töötamast [44]. Juhtimiskilbis tagab see kontaktor juhtimiskontrollerite toite kohtvõrgule ümber lülitumisel.

Releed *K6-K10* on *Omron*'i toodangu mudel *24V DC G2R-1-SND*, mille eesmärk juhtimiskilbis on muuta juhtimiskontrollerilt väljuv signaal muuta kontaktori lülituseks vastavaks. Releed *K6*-ga kontrollitakse kontaktori *K2* tööd, *K7*-ga *K1* tööd, *K8*-ga *K4* tööd, *K9*-ga *K3* tööd, *K10* *Sunny Islandi* võrguühenduse tööd.

Releed *V1* ja *V2* on samuti *Omron*'i toodangud aga mudeliks *G3NA-210B*, mis laboris kontrollivad radiaatorite *R3* ja *R4* sisse või välja lülitamist.

3.2.10. Kaitseseadmed

Selleks, et tagada ohutus nii seadmetele, kui ka inimestele on digitaalelektronika labor varustatud kaitselülititega, mille peamised eesmärgid on kaitsta seadmeid ülekoormuste eest ning rikke korral inimesi ka elektrilöögi eest [45]. Labor on varustatud kokku 16 *General Electricu* kaitselülitiga. Kaitselülitite paigutus laboris on näidatud joonisel 3.21.



Joonis 3.21. Kaitselülitite astetus juhtimiskilbis esimese ukse taga üleval ning teise ukse taga asuvate kaitsete pilt all

Enamus kaitselüliteid on jaotuskeskuse vasakpoolse ukse taga. Esimeseks kaitselülitiks on tähisega *Q1* kolmefaasiline 40 A kang-lahklüliti seerianumbriga *666616*. Antud lülitiga on võimaldatakse kogu kilbi süsteem rikke korral või hooldustöödeks eraldada ülekandevõrgust.

Pealüliti kõrvale on paigutatud tähisega *F1* sünteetilise generaatori kolmefaasiline *B*-karakteristika 10 A (*G3*) kaitselüliti sünteetilisele generaatorile, millega on võimalik lahutada generaator ülekandevõrgust.

F1 kaitselüliti kõrvalt edasi, vasakule on paigaldatud 10 ühefaasilist *G101* seeria automaatkaitseülilitit konkreetse seadme kaitseks. *F2* tähisega ning *B10* karakteristikaga on märgistatud abitoite ülekandevõrgust, millega on võimalik eraldada abitoite liin

ülekandevõrgust. *F3* tähisega ning *B16* karakteristikaga on märgistatud *PV*-paneelide ühendus ülekandevõrguga, millega on võimalik katkestada ühendus *PV*-paneelide ja ülekandevõrgu vahel. *F4* tähisega ning *B16* karakteristikaga on tähistatud *PV*-paneelide ning kohtvõrgu vahelist eraldusvõimalust. *F5* tähisega ning *B16* karakteristikaga on tähistatud tuuleturbiini ühenduse ja ülekandevõrgu eraldusvõimalust. *F6* tähistusega ning *B16* karakteristikaga kaitselülitiga on tähistatud tuuleturbiini ja kohtvõrgu eraldusvõimalust. *F7* tähistusega ning *B16* karakteristikaga kaitselülitiga on võimalik eraldada *Sunny Island 6.0H* inverter üldvõrgust. *F8* tähistusega ning *B25* karakteristikaga kaitselülitiga on võimalik eraldada *Sunny Island 6.0H* inverter kohtvõrgust. *F9* tähistusega ning *B16* karakteristikaga kaitselülitiga on saavutatud eraldusvõimalus sünteetilise generaatori ja kohtvõrgu vahel. *F10* tähistusega ning *B25* karakteristikaga on võimalik eraldada juhitava koormuse osa elektrivõrgust. *F11* tähistusega ning *B16* karakteristikaga seeriast *G61* kaitselülitiga on võimalik eraldada tarvitid elektriühendusest. Viimane on omakord ühendatud ühefaasilise rikkevoolukaitsmega, mis on tähistatud *RVK1* tähisega, ning mille eesmärk on kaitsta inimest või looma, juhul kui ta saab seadme kaudu otsese elektrilöögi. Antud rikkevoolu kaitse on mõeldud 25 A nimivooluga seadmetele ning rakendub lekkevoolu muutumisel rikkevooluks ehk kui seadme kaitstava ahela summaarne lekkevool ületab seadeväärtust 30 mA. *RVK1* kõrval on *F12* tähistusega ning *B6* karakteristikaga kaitselüliti seeriast *G61* abitoite kohtvõrgu eraldamiseks kohtvõrgust. *F13* tähistusega ning *B10* karakteristikaga kaitselüliti eesmärgiks on võimaldada *Flexiva* ülikondensaatori muunduri eraldus elektrivõrgust.

Jaotuskeskuse parempoolse ukse taga on veel 3 kolmefaasilist *G103* seeria kaitselülitit. *F14* tähistusega ning *B50* karakteristikaga kaitselülitiga on saavutatud ülikondensaatori eralduse võimalus tema muundurit *Flexiva*. *F15* ja *F16* on vastavalt esimese ja teise akupaki eraldamiseks *Sunny Island 6.0H* inverterist. Mõlema nimirakendusvool on 63 A ning kaitsme karakteristik on tähiseks on *B*. Jaotuskeskuse elektriskeem on näidatud lisas C.

3. LABORI ARENDUS

3.1. Kaitseseadmed ning seadmete füüsiline ühilduvus

Digitaalelektronika labori algolukorraga tutvumiseks kontrolliti füüsiliselt üle seadmete omavahelised kaablite ühendused, ning koostati .*dwg* fail, mille mastaabi ja keerukuse tõttu ei ole see kuskil esindatud. Vajadusel on see kättesaadav töö autorilt, kuid labori lisad joonistega erinevate seadmete ühilduvusest on kättesaadavad juhtimiskilbis *EK-I* või Eesti Maaülikooli Tehnikainstituudi serverist. Koostatud .*dwg* fail on oma olemuselt üsna kohmakas, kui tema eeliseks on kõikide seadmete ja kaablite tuvastamine ühest failist vastupidiselt labori lisadele, mis koosneb 15st erinevast joonisest. Failis on esitatud seadmed, umbkaudse asukohaga juhtimiskilbis, nende markeering, seadmete omavahelised ühendused kaablitega ning kaablite markeering.

Selle töö osana täiendati juba olemasolevat jaotuskilbi *EK-I* jõuskeemi, mis on näidatud lisas B ning koostati kilbi jaoks elektriskeem, mis on näidatud lisas C. Jõuskeemile lisati lihtsamaks jälgimiseks seadmete nimed, tähised ning selgitusena energia liikumise võimalused. Lisaks kontrolliti kaitsmete vastavust liigkoormuse tunnustele, kus seadme nimivool peab olema väiksem liinikaitsme nimivoolust [46]. Tulemused kanti tabelisse 3.1.

Tabel 3.1. Kaitsmete ja nende seadmete ühilduvuse kontroll (punasega märgitud seadme voolu kõrgemad väärtused liini kaitsesga, sinisega väiksemad)

Tähis	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>	<i>F4</i>	<i>F5</i>	<i>F6</i>	<i>F7</i>	<i>F8</i>
Kaitseseadme nimivool, A	<i>B10</i>	<i>B6</i>	<i>B16</i>	<i>B16</i>	<i>B16</i>	<i>B16</i>	<i>B16</i>	<i>B25</i>
Seadme tähis	<i>U7</i>	<i>U11</i>	<i>U1</i>	<i>U1</i>	<i>U3</i>	<i>U3</i>	<i>U4</i>	<i>U4</i>
Seadme nimivool, A	11,2	1,4	11	11	15	15	20	20
Tähis	<i>F9</i>	<i>F10</i>	<i>F11</i>	<i>F12</i>	<i>F13</i>	<i>F14</i>	<i>F15</i>	<i>F16</i>
Kaitseseadme nimivool, A	<i>B16</i>	<i>B25</i>	<i>B16</i>	<i>B6</i>	<i>B10</i>	<i>B50</i>	<i>B63</i>	<i>B63</i>
Seadme tähis	<i>U9</i>	<i>U10</i>	Tarvitid	<i>U11</i>	<i>U5</i>	<i>U5</i>	<i>U4</i>	<i>U4</i>
Seadme nimivool, A	16	11,2	16	1,4	16 _{max}	75	40	40

Kontrolli tulemusena leiti, et eelnimetatud seaduspärasusele ei vasta kolme kaitsme alla paigutatud seadmed. Laboriga talitades on töö autorile silma jäänud kaitsme *F7* kohatine väljalülitumine, mis võib olla põhjustatud otseselt kontrolli tulemuse kinnitamiseks.

Kaitsme *F1* puhul ei ole väljalülitumist täheldatud, kuid otseselt kaitstav sagedusmuunduri töö on piiratud inverteri sätetega, mistõttu ei ole sagedusmuundur seni olnud piisavalt koormatud kaitselüliti reageerimiseks. Lisaks pole sagedusmuunduri nimivool niivõrd palju

suurem kaitsmega ettenähtule, mis on 1,2 A lubatust suurem. *B*- karakteristikaga kaitselüliti normaalingimustes sellisel vahel ei reageerigi, millel on ette nähtud suurima ajaga vähemalt 1,13 kordne nimivoolu kordsus talituseks [46]. Selle seaduspärasuse järgi saab väita, et antud kaitseseade on liinikaitseks seadmele sobilik.

Samuti on ülikondensaatori muunduri kaitsme väärtus madalam, kui seadme enda, mille laadimise ja tühjenemisel on suurim lubatud vool 75 A, mis on 25 A suurem, kui kaitsmega määratud. Väljalülitumist ei ole samuti täheldatud ehk mitte liiga suure koormusega ülikondensaatori laadimise või tühjenemise tõttu ning protsessi vähem kui tunnise kestmise tõttu. 1,45 kordse nimivoolu korral on *B*-karakteristikaga kaitselülilil omadus rakenduda tunnist väiksema aja jooksul [46]. Ehk 50 A suuruse kaitsme korral on rakendusvooluks 72,5 A, mis on ligilähedane muunduri maksimaalse koormusega. Siiski korrektse talituse täitmiseks tuleks nimetatud kolm liinikaitset (*F1*, *F7*, *F14*) välja vahetada suurmate ja sobilikemate vastu.

Leitud ei ole *U5* tähistusega ülikondensaatori muunduri nimivoolu, kuid maksimaalse voolu lubatud suurus on suurem kui kaitsmega ette nähtud. Normaaltalitusel võib seadme töö jätkuda tõrgeteta kaitselülitist tingimata, kuid maksimaalsel koormusel tõenäoliselt reageerib ka kaitselüliti vähem kui tunni möödudes.

Kolme kaitselüliti (*F2*, *F10* ja *F12*) olid kaitstava seadme liini nimivooludest kõrgemad, mis seadme liini häirest tingituna ei pruugi reageerida ohule ning tekitada seadmetes suuri kahjustusi. Antud kaitseseadmed tuleks samuti sobilike väärtuste vastu välja vahetada.

Edasise tegevusena võiks kaitsmete toimimise üle kontrollida ka mõne kaitsmete karakteristikaid iseloomustava tarkvaraga.

3.2. HMI paneeli koodide kontroll

Visuaalsel kontrollil tuvastati, et kõikidel lahtritel juhtimiskilbi paneelil ei kuvata adekvaatseid näite. Kuna ekraan saab oma käsukoodid loogikakontrolleritelt, kontrolliti *HMI*-l kuvatavate aadresside vastavust loogikakontrollerite juhtimisdiagrammile (*ladder* loogika). Selleks vaadati juhtimispaneelil näitude lugemise või kirjutamise aadresse ning otsiti vastav käsuriidat loogikakontrolleri juhtimisdiagrammil.

Tulemused esitati tabeli kujul ning on leitavad ka lisa D. Kokku leiti aadresse juhtimispaneelilt 92. 9 neist aadressidest on puhtalt ekraanil navigeerimise jaoks lehekülgede vahetamiseks. Kolme aadressi funktsioon on ekraanil teadmata.

Esimese ehk juhtpaneeli leheküljel on näidatud 8 seadme võimsused: Päikeseenergia võimsus (kW), tuuleenergia võimsus (kW), ülikondensaatorsalvesti võimsus (kW), akusalvesti võimsus (kW), üldvõrgu aktiivvõimsus (kW), kohtvõrgu aktiivvõimsus (kW), tarvitite aktiivvõimsus (kW) ja sünteetilise allika aktiivvõimsus (kW). Kuvatav neist on ainult 1- akusalvesti võimsus. Akusalvesti võimsus on leitav ka *PLC* juhtimisdiagrammis. Küll aga ei ole leitav ükski teine näidu aadress diagrammilt. Esimene paneel on näidatud ka joonisel 3.1. Joonised on näidatud võrguühenduseteta olukorras simulaatoril.

		0000	0000	1050				
Päikeseenergia võimsus (kW)	0.0	Päikesepaneeli välisvõrguühendus	Ühenda					
Tuuleenergia võimsus (kW)	0.0	Päikesepaneeli kohtvõrguühendus	Ühenda					
Ülikondensaatorsalvesti võimsus (kW)	0.0	Tuuliku välisvõrguühendus	Ühenda					
Akusalvesti võimsus (kW)	0.0	Tuuliku kohtvõrguühendus	Ühenda					
Üldvõrgu aktiivvõimsus (kW)	0.0	Välis- ja kohtvõrguühendus	Ühenda					
Kohtvõrgu aktiivvõimsus (kW)	0.0	Sünteetilise allika võimsus (kW)	0.0					
Tarvitite aktiivvõimsus (kW)	0.0	Juhitava koormuse võimsus (kW)	0.0					
Sünteetilise allika aktiivvõimsus (kW)	0.0	Võimsuste seadistus käsitsi	Luba					
Juhtimine	Päike	Tuul	Ülikonden-saator	Aku	Elektrivõrk	Sünteetiline generaator	Koormus	Ilmajaam

Joonis 3.1. Juhtimise lehekülje ekraani kuva

Samal ekraani lehekülje paremas veerus on toimub ka energia juhtimise võimaluste valimine kontaktorite lülituste näol. Selles veerus on juhtimisdiagrammiga vastavuses kõik peale ühe käsu, milleks on võimsuste seadistuse käsitsi lubamine või keelamine.

Teise ekraani lehekülje peal on kuvatav päikeseenergiaga seonduvad näitajad, kokku ühe juhtimisfunktsiooniga nupuga ning seitsme energiat iseloomustava parameetriga. Päikeseenergia ekraanikuva on näidatud joonisel 3.2.

Päikeseenergia	
Muunduri olek	Viga
Paneelide väljundpinge (V)	0
Paneelide väljundvool (A)	0.0
Paneelide väljundvõimsus (kW)	0.0
Muunduri väljundpinge (V)	0
Muunduri väljundvool (A)	0.0
Muunduri väljundvõimsus (kW)	0.0
Päeva energiatoodang (kWh)	0.0

Päikeseenergia								
Juhtimine	Päike	Tuul	Ülikondensaator	Aku	Elektrivõrk	Sünteetiline generaator	Koormus	Ilmajaam

Joonis 3.2. Päikeseenergia tööparameetrite lehekülje ekraani kuva.

Teisel ekraanil on toimivad 3 indikaatorit, milleks on paneelide väljundpinge, väljundvoolu ja väljundvõimsuse parameetrid. Samuti on nende päritolu leitav kontrolleri juhtimisdiagrammilt. Indikaatorite nagu muunduri olek, muunduri väljundpinge, muunduri väljundvool, muunduri väljundvõimsus ning päeva energiatoodang lähteadressid ei ole kuvatud juhtimisdiagrammil ning ei ole kuvatud midagi ka ekraanil.

Kolmanda ekraani leheküljel on kuvatud tuuliku toodetud energia, kus on kuvatud 4 parameetrit ning 1 juhtimisfunktsiooniga nupp. Tuuleturbiini ekraanikuva on näidatud joonisel 3.4.

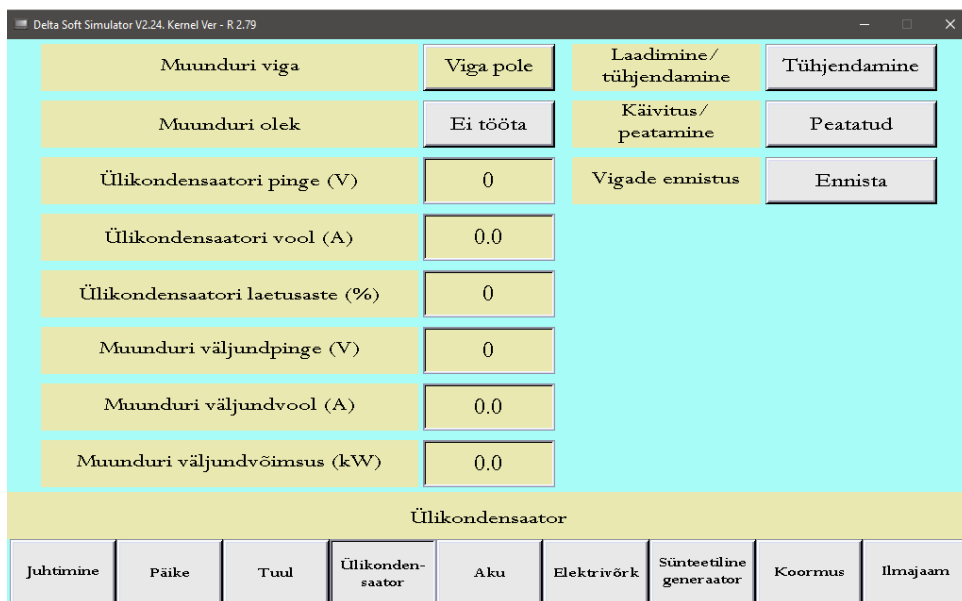
Tuuleenergia	
Muunduri olek	Ei tööta
Muunduri väljundpinge (V)	0
Muunduri väljundvool (A)	0.0
Muunduri väljundvõimsus (kW)	0.0
Päeva energiatoodang (kWh)	0.0

Tuuleenergia								
Juhtimine	Päike	Tuul	Ülikondensaator	Aku	Elektrivõrk	Sünteetiline generaator	Koormus	Ilmajaam

Joonis 3.4. Tuuliku tööparameetrite lehekülje ekraanikuva.

Kolmandal ekraanil ei toimi ükski kuvatavatest parameetritest ning nende päritolu aadressid ei ole leitavad juhtimisdiagrammilt.

Neljandal ekraani leheküljel on kuvatud ülikondensaatoriga seonduvate parameetrite väärtused ning juhtimine. Kokku on leheküljel kuvatud 5 juhtimisfunktsiooniga nuppu ning 6 ülikondensaatori hetkeolukorda iseloomustavat parameetrit. Ülikondensaatori ekraanikuva on näidatud joonisel 3.5.



Joonis 3.5. Ülikondensaatori tööparameetrite lehekülje ekraanikuva.

Ülikondensaatori juhtimisdiagramm pärineb teisest loogikakontrollerist, märgistusega *PLC2*. Selle ekraani leheküljel on aadresside päritolu on järgitav juhtimisdiagrammil kümnest juhust seitsmel. Ühe juhtimisfunktsiooniga nuppu- muunduri olek, ning kahe ülikondensaatori muunduri tööparameetri näidud- muunduri väljundpinge ja väljundvool, ei ole päritolu leitav juhtimisdiagrammilt. Ülejäänud funktsioonide ning juhtimisfunktsioonide nuppude- muunduri vea nupu, ülikondensaatori pinge, ülikondensaatori voolu, ülikondesaatori laetuse aste, laadimise/tühjenemise nupu, käivituse/peatuse nupu, ning vigade ennistuse aadresside päritolu on leitav ka juhtimisdiagrammil.

Viiendal ekraani leheküljel on kuvatud akupanga 8 parameetri seonduvate näitajate kuvamine ning ka 1 juhtimisnupp. Akupanga ekraanikuva on näidatud joonisel 3.6.

Muunduri olek		Ei tööta
Aku pinge (V)	0	
Aku vool (A)	0.0	
Aku võimsus (kW)	0.0	
Aku temperatuur (°C)	0.0	
Muunduri väljundpinge (V)	0	
Muunduri väljundvool (A)	0.0	
Muunduri väljundsagedus (Hz)	0.0	
Muunduri võimsus (kW)	0.0	
Aku		
Juhtimine	Päike	Tuul
Ülikondensaator	Aku	Elektrivõrk
Sünteetiline generaator	Koormus	Ilmajaam

Joonis 3.6. Akupanga tööparameetrite lehekülje ekraanikuv

Viiendalt ekraanilt on jälgitavad akuga seonduvate parameetrite- aku pinge, voolu, võimsuse ja temperatuuri päritolu juhtimisdiagrammil. Leitavad ei ole muunduriga seonduvate parameetrite väärtused- muunduri väljundpinge, väljundvool, väljundsagedus ja võimsus. Lisaks ei ole leitav muunduri oleku nupu päritolu diagrammilt.

Kuuendalt ekraani leheküljelt on jälgitavad elektrivõrgu parameetreid. Kokku on sellel ekraanil 12 elektrivõrgu parameetrit ning 1 juhtimisnupp võrgulüliti vabastamiseks või rakendamiseks. Elektrivõrgu ekraani lehekülj on näidatud joonisel 3.7.

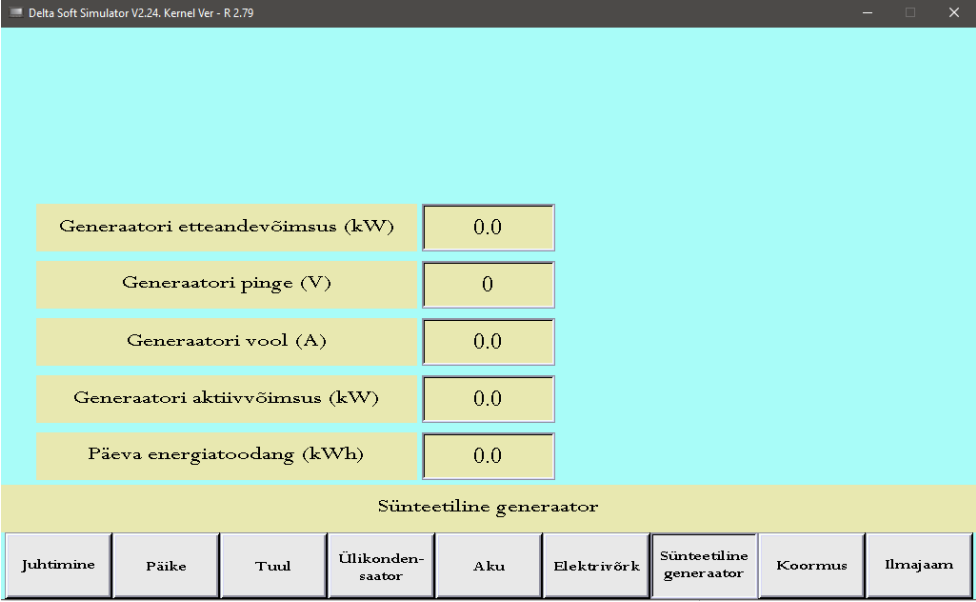
Võrgulüliti		Vabastatud		
Faasipinged (V)	0	0	0	L1 (päike) / L2 (tuul) / L3 (SI 6.0H)
Faasivoolud (A)	0.0	0.0	0.0	L1 (päike) / L2 (tuul) / L3 (SI 6.0H)
Aktiivvõimsused (kW)	0.0	0.0	0.0	L1 (päike) / L2 (tuul) / L3 (SI 6.0H)
Aktiivvõimsuste summa (kW)	0.0			
Välisvõrgu sagedus (Hz)	0.0			
Koguenergia (kWh)	0.0			
Elektrivõrk				
Juhtimine	Päike	Tuul	Ülikondensaator	Aku
Elektrivõrk	Sünteetiline generaator	Koormus	Ilmajaam	

Joonis 3.7. Elektrivõrgu tööparameetrite lehekülje ekraanikuv

Ükski kuuenda ekraani parameetrite aadresside päritolu ei ole leitav juhtimisdiagrammidelt.

Seitsmendalt ekraani leheküljelt on kuvatavad sünteetilise generaatori 5 tööparameetrit.

Sünteetilise generaatori ekraani lehekülg on näidatud joonisel 3.8.



Generaatori etteandevõimsus (kW)	0.0
Generaatori pinge (V)	0
Generaatori vool (A)	0.0
Generaatori aktiivvõimsus (kW)	0.0
Päeva energiatoodang (kWh)	0.0

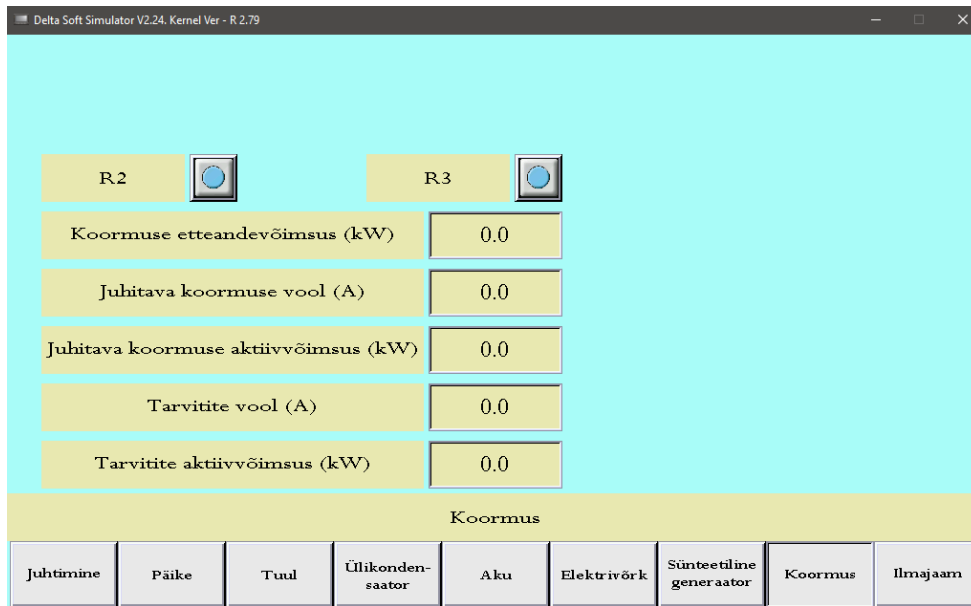
Sünteetiline generaator

Juhtimine	Päike	Tuul	Ülikonden- saator	Aku	Elektrivõrk	Sünteetiline generaator	Koormus	Ilmajaam
-----------	-------	------	----------------------	-----	-------------	----------------------------	---------	----------

Joonis 3.8. Sünteetilise generaatori tööparameetrite lehekülje ekraanikuva

Sünteetilise generaatori ekraanil on juhtimisdiagrammilt leitav ühe parameetri aadress, milleks on generaatori etteande võimsus. Ülejäänud parameetrid- generaatori pinge, generaatori voolu, generaatori aktiivvõimsuse ning päevane energiatoodangu parameetrid ei ole leitavad juhtimisdiagrammilt.

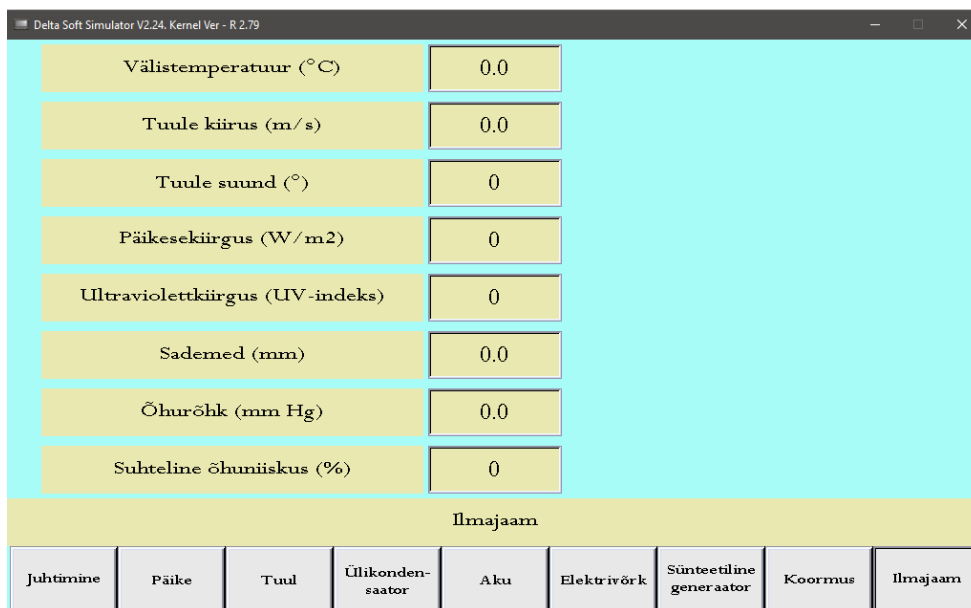
Kaheksanda ekraani leheküljel on kuvatavad etteantava koormuse hetke tööparameetrid ning kaks juhtimisnuppu radiaatorite sisse või välja lülitamiseks. Juhitava koormuse ekraani lehekülg on näidatud joonisel 3.9.



Joonis 3.9. Koormuse tööparameetrite lehekülje ekraanikuva

Juhitava koormuse leheküljel on juhtimisdiagrammilt leitavad radiaatorite R2, R3 sisse ja välja lülitamise nuppude aadressid ning koormuse etteande võimsuse aadress. Nuppudel on küll aadressid, kuid realsel lülitamisel ei muutu radiaatorite lülitusaste. Ülejäänud parameetrid- juhitava koormuse aktiivvõimsus, tarvite vool ja tarvite aktiivvõimsus ei ole leitav juhtimisdiagrammilt.

Üheksanda ekraani leheküljel on kuvatud 9 ilma parameetrit, mis on pärit kohalikest Tehnikainstituudi ilmajaamast. Ilmajaama ekraani leheküljel on näidatud joonisel 3.10.



Joonis 3.10. Ilmajaama lehekülje ekraanikuva

Ilmajaama leheküljel asuvate parameetrite aadressid ei ole juhtimisdiagrammilt ühtegi võimalik leida ning väärtuseid ei kuvata.

Kõikide juhtpaneeli aadressid ning nende vastavus kontrolleri programmiga on toodud välja tabelis D.1, mis asub lisas D. Sellest tabelist ilmneb, et 80-st aadressist, mis on labori parameetrite visualiseerimiseks või lülituste tegemiseks, on juhtimisdiagrammiga vastavuses 28, mis on 35% selliste aadressidest.

3.3. Modbus kanalid

Kuna enamus aadressidele puudub juhtimispaneelil vaste juhtimisprogrammist uuriti võimalike alternatiivne andmete esitamisel juhtekraanile. Üheks selliseks võimaluseks on muundurite sisese tarkvara kasutamine esitamaks neis mõõdetavaid väärtusi. Hetkel laboris *Modbus* kommunikatsiooni liidese kaudu andmete edastamine ei toimu. Seda kontrolliti kasutades *WireShark* tarkvara, mille eesmärk on registreerida kõik võrgus toimuv liiklus.

Delta loogikakontrolleril on omadus suhelda läbi programm tarkvara ka just *Modbus* kommunikatsiooni liidese kaudu. Kontrolleri programmeerimise tarkvaras *WPLSoft* on leitavad ka erinevad käsud nagu MODRW, MODRD, MODWR, mis tähistavad vastavalt *Modbus* liidese kaudu andmete lugemist ja kirjutamist, ainult lugemist ning ainult kirjutamist. Lisaks on tarkvarast leitavad erinevad spetsiaalsed registrid ning kontrolleri sisesed mälad *Modbus* sideliini andmete talletamiseks või töötlemiseks.

Veendumaks, et *Modbus* liidese kaudu on võimalik saata andmeid läbi kontrolleri juhtpaneelile, võeti eesmärgiks kirjutada andmeid juhtpaneelil juba olemasolevasse registrisse. Selleks kasutati vabavaralist tarkvara *ShortBusModBus Scannerit*, millega on võimalik jälgida kõiki seadme *Modbus* liidese algaadresse. Katses, otsiti toimiv kontrolleri aadress ning muudeti selle väärtus *ShortBusModBus* tarkvaraga, mis tähendab, et teistelt seadmetelt on võimalik andmeid edastada juhtkontrollerisse, ning neid edastada ekraanile.

Edasine arendustegevus võiks fokuseerida labori olemasolevate seadmete *Modbus* kanalite uurimisele selgitamaks, milliseid mõõtmisi sooritatakse seadmetes endis ning mis kanalitel on nad kättesaadavad. Tegevuse tulemusena oleks võimalik eelmises peatükis täheldatud andmete puudulikkude esitamist juhtekraanil täiendada.

3.4. Kontrollerite ühendused teiste seadmetega

Juhtimiskontrolleri suhtluseks teiste seadmetega tehti kindlaks olemasolevate portide ühenduste viisid teiste seadmetega ning märgiti ka vabade portide olemasolu, et välja selgitada võimalikud lisaühendused. Juba kontrolleriga ühendatud seadmed koos portide sisestuste ning kaabli märgistusega on näidatud lisa E tabelis E.1.

17.05.17 seisuga on *PLC1* digisisendid kasutusel ei ole kuid digiväljundid on kõik kasutusel, analoogsisenditest ja –väljunditest on kasutusel kõik terminali pordid. Hõivatud on ka kõik kommunikatsiooni liideste pordid peale USB pordi. Kõikide kontrollerite portide hõivatus näidati ka tabelis 3.2.

Tabel 3.2. Kontrollerite ja lisamoodulite portide hõivatuse koondtabel

Kontroller	A/D	D/A	IN	OUT	RS-232	RS-485	USB
<i>DVP20SX2, PLC1</i>	4/4	2/2	0/8	6/6	1/1	1/1	0/1
<i>DVP20SX2, PLC2</i>	2/4	1/2	2/8	2/6	1/1	1/1	0/1
<i>DVP-04TC-S, A5</i>	1/4	-	-	-	-	0/1	-
<i>DVP-16SP11R</i>	-	-	0/8	4/8	-	1/1	-
Kokku:	7/12	3/4	2/24	12/20	2/2	3/4	0/2

Antud tabel on koostatud põhimõttel näitamaks mitu porti terminalidest on hõivatud. Sidekriipsuga on märgitud porditerminali puudumine. *A/D*-ga on tähistatud analoogsisendite pordid, *D/A*-ga analoogväljundite pordid, *IN*-ga digitaalse signaali sisendid, *OUT*-ga digitaalse signaali väljundid, *RS-232*-ga vastava sideliidese port, *RS-485*-ga vastava sideliidese port, ning *USB*-ga vastava sideliidese port.

Sama kuupäeva seisuga on *PLC2* digitaalsisenditest hõivatud 2 porti ning digitaalväljunditest samuti 2 porti, mis tähendab, et vabu porte on vastavalt 6 ja 4. Analoogsisenditest on kasutusel 2 kanalit ning väljunditest 1 port, mis tähendab, et vabu porte on vastavalt 2 ja 1. Hõivatud on ka kõik kommunikatsiooni liideste pordid peale *USB* pordi.

DVP-04TC-S termopaar terminalide lisamooduli, neljast pordist on kasutusel üks ning kolm on vaba temperatuuri logimiseks. Ainuke kommunikatsiooniliides on seadmel hõivatud.

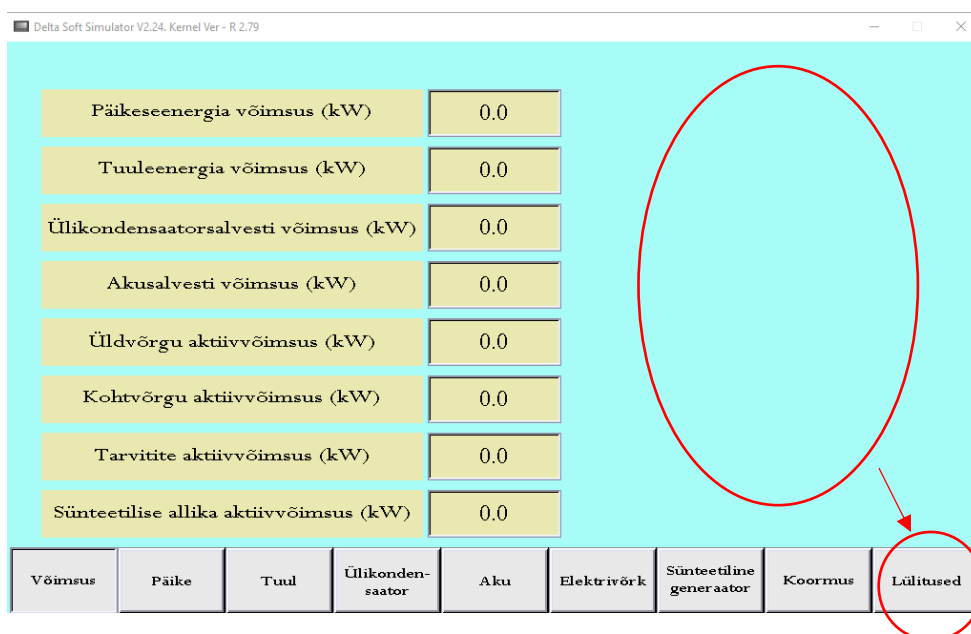
DVP-16SP11R digitaalsisendite ja väljundite terminalide lisamoodulil on kaheksast digitaalsest sisendist vabad kõik pordid ning kaheksast väljundist on neli kasutuse.

Kommunikatsiooniliides ei ole hõivatud seadmel. Hõivatud loogikakontrollerite skeemid on näidatud Lisas F.

Kokkuvõtvalt väideti, et sellisel loogikakontrollerite hõivatuse korral on võimalik veel viie analoogkanali kaudu signaale vastu võtta, ühe analoogväljundi kaudu väljastada kontrollerist signaale, lugeda on võimalik kahekümne kahe kanali kaudu digitaalsignaale ning väljastada kaheksa kanali kaudu digitaalsignaale.

3.5. Juhtpaneeli arendus

Töö käigus arendati ekraanil kuvatava info disaini nii, et töö autori mõistes oleks ekraanil kuvatav info ning toimingud loogilisemad tavakasutaja vaatenurgast. Esiteks kaotati juhtpaneelilt ilmajaama andmed, kuna sealne info oli ebaadekvaatne ning juhtpaneelist paremal asub ilmajaama enda ekraan, kus kogu ilmajaama andmed täpsemalt näidatud. Selle asemele tekitati lülituste lehekülg, kust toimub kogu süsteemi juhtimine. Võimsuste leheküljele jäeti alles ainult peamised võimsuse näitajad. Samuti muudeti esimese lehekülje nimetus juhtimiselt võimsuseks. Joonisel 3.11. on näidatud täiendatud ekraanikuva lahendus. Punaste ringidega on märgitud muudatuste asukohad.



Joonis 3.11. Juhtpaneeli avakuva uuendatuna.

Päikese, tuule, ülikondensaatori ja akude lehekülgedel graafilisi muudatusi ei tehtud. Muudatusi tehti aga elektrivõrgu leheküljelt, kus võrgulüliti oleku muutmise lülitusnupp

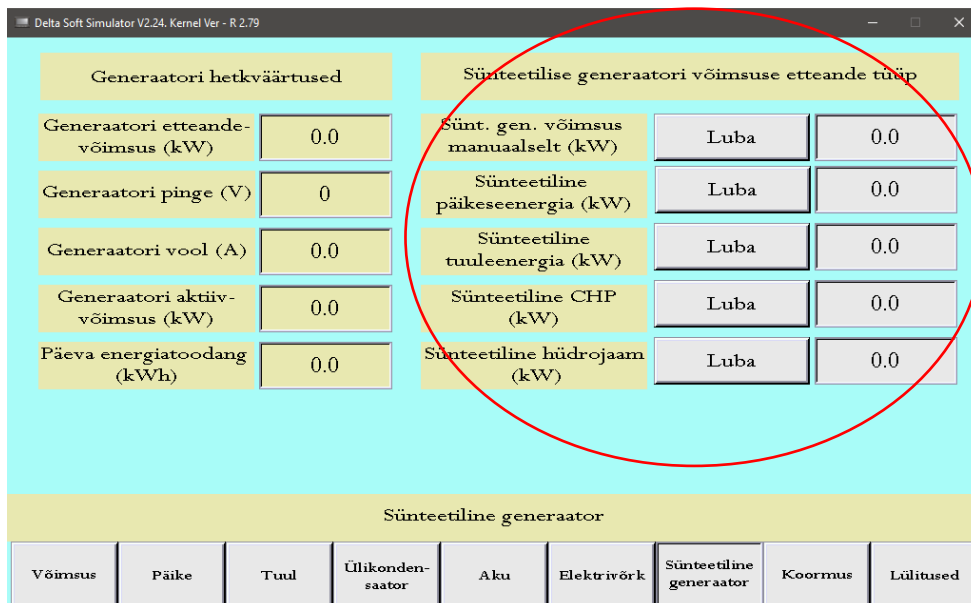
viidi kõrgemale selleks, et iga rea kohta sama tekstiga selgitustekst viia ühele reale ning veeru pealsesse, ruumi kokkuhoiu mõttes. Täiendatud elektrivõrgu lehekül on näidatud joonisel 3.12, ning muudatused on märgitud punaste tähistega.

Võrgulüüti				Vabastatud
	L1, pääke	L2, tuul	L3, SI 6.0FH	
Faasipinged (V)	0	0	0	
Faasivoolud (A)	0.0	0.0	0.0	
Aktiivvõimsused (kW)	0.0	0.0	0.0	
Aktiivvõimsuste summa (kW)	0.0			
Välisvõrgu sagedus (Hz)	0.0			
Koguenergia (kWh)	0.0			

Elektrivõrk								
Võimsus	Päike	Tuul	Ülikondensaator	Aku	Elektrivõrk	Sünteetiline generaator	Koormus	Lülitused

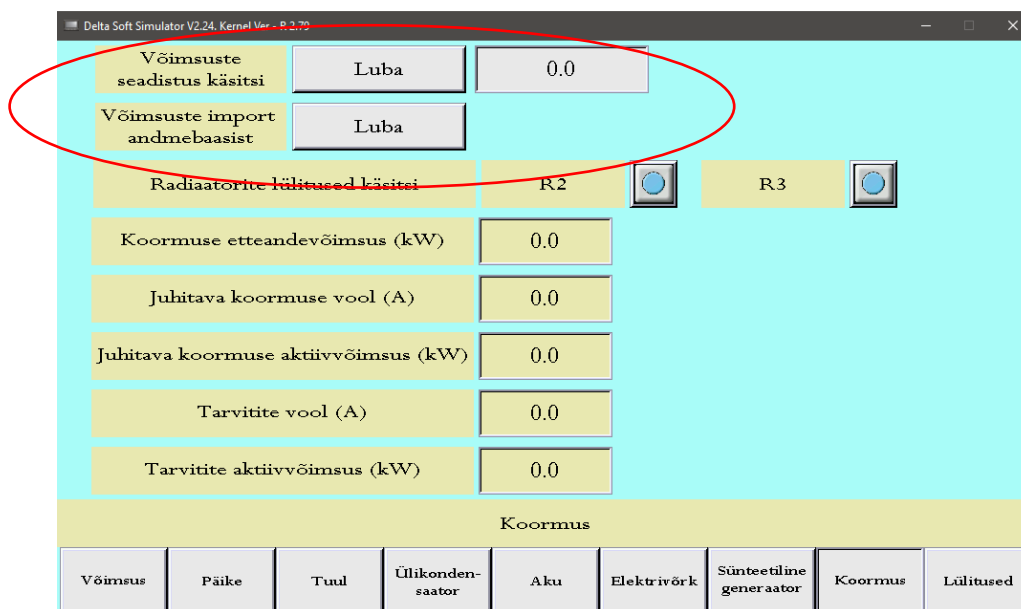
Joonis 3.12. Elektrivõrgu lehekülje muudatused.

Sünteetilise generaatori leheküljel kitsendati väärtuste selgituste tekstidega kaste, selleks et tekitada ruumi uutele lülitusvõimalustele. Lülituste lahtri eesmärgiks on ekraanilt valides sünteetiline generaator käivitada vastavalt valitud energiaallika koormusgraafiku alusel. Karakteristika valikule määrati ära lubamise või keelamise mälu ning andmete registrid. Sünteetilise generaatori võimsuse valikult manuaalselt tuleb aktiveerida *M12* mälu ning sünteetilise generaatori tööarakteristika võetakse registrist 600. Sünteetilise päikeseenergia tööarakteristika jaoks aktiveeritakse *M13* kontakti viimisel kõrgseisu, mis on indikaatoriks andmete lugemise registrist 602. Sünteetilise tuuleenergia tööarakteristika jaoks aktiveeritakse *M14* kontakti viimisel kõrgseisu, mis on indikaatoriks andmete lugemisele registrist 604. Sünteetilise koostootmisjaama tööarakteristika jaoks aktiveeritakse *M15* kontakti viimisel kõrgseisu, mis on indikaatoriks andmete lugemisele registrist 606. Sünteetilise hüdrojaama tööarakteristika jaoks aktiveeritakse *M16* kontakti viimisel kõrgseisu, mis on indikaatoriks andmete lugemisele registrist 608. Programmikoodi neid registreid lisatud ei ole ning karakteristikad seisuga 18.05.2017 samuti puuduvad. Täiendatud sünteetilise generaatori lehekül on näidatud joonisel 3.13, ning muudatused on märgitud punaste tähistega.



Joonis 3.13. Sünteetilise generaatori lehekülje muudatused.

Koormuse leheküljel lisati graafiline võimalus valida võimsused käsitsi või valida võimsuste import andmebaasist. Võimsuste valimine andmebaasist on planeeritud toimima *M11* kontakti viimisel kõrgseisu, mille järel alustatakse andmete lugemist juhtimiskontrolleri registrist 506. Täiendatud sünteetilise koormuse leheküljel on näidatud joonisel 3.14, ning muudatused on märgitud punaste tähistega.



Joonis 3.14. Koormuse lehekülje muudatused

Lülituste leheküljel loodi ilmajaama lehekülje asemele, kuhu koondati algselt juhtimise leheküljel olnud ümberlülituste võimalused, kui ka arendustegevuse käigus loodud

koormuse ning sünteetilise generaatori töökarakteristika valiku võimalused. Uue lülituste lehekülje kuva on näidatud joonisel 3.15.

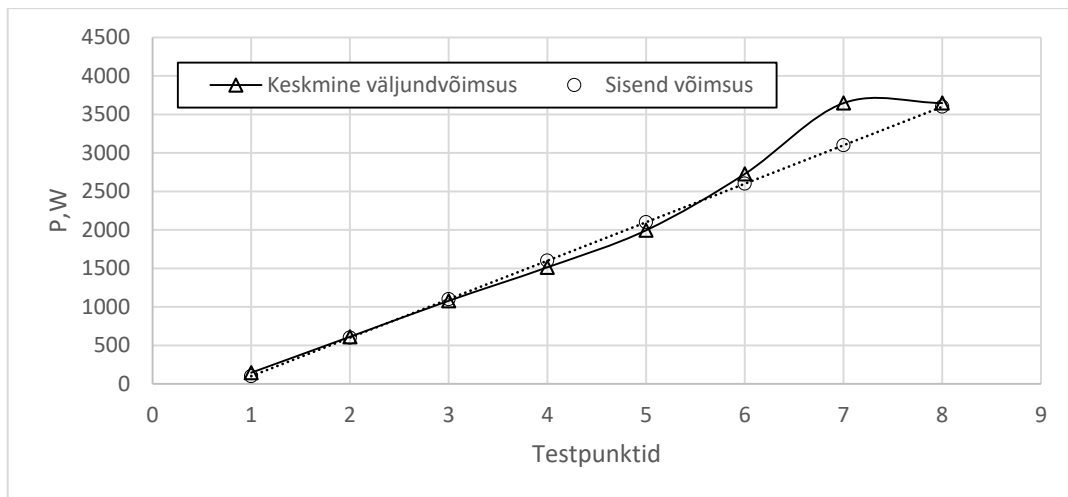
Delta Soft Simulator V2.24. Kernel Ver - R 2.79								
Võrgulülit	Vabastatud	Koormuse võimsuse seadistus käsitsi	Luba	0.0				
Päikesepaneeli välisvõrguühendus	Ühenda	Koormuse võimsuse import andmebaasist	Luba					
Päikesepaneeli kohtvõrguühendus	Ühenda	Sünt. gen. võimsus manuaalselt (kW)	Luba	0.0				
Tuuliku välisvõrguühendus	Ühenda	Sünteetiline päikeseenergia (kW)	Luba	0.0				
Tuuliku kohtvõrguühendus	Ühenda	Sünteetiline tuuleenergia (kW)	Luba	0.0				
Välis- ja kohtvõrguühendus	Ühenda	Sünteetiline CHP (kW)	Luba	0.0				
		Sünteetiline hüdrojaam (kW)	Luba	0.0				
Lülitused								
Võimsus	Päike	Tuul	Ülikondensaator	Aku	Elektrivõrk	Sünteetiline generaator	Koormus	Lülitused

Joonis 3.15. Lülituste lehekülje kuva

18.05.2017 seisuga on juhtimiskilbi *EK-1* juhtpaneelil endiselt kasutusel muutmata graafilise lahendusega ekraanikuva. Täiendavalt tuleks tekitada juhtprogrammis registrid ja koodikäsud sünteetilise generaatori ja juhitava koormusele ette antavate karakteristikatele.

3.6. Sünteetilise generaatori juhtimine

Töö käigus kontrolliti sünteetilise generaatori manuaalse juhtimise väljundvõimsuse vastavust sisendvõimsusele. Selleks sisestati juhtpaneelilt manuaalselt generaatori võimsus 500 W-se vahega alustades 0,1 kW-st lõpetades 3,6 kW-ga. Sisestatud väärtusi võrreldi inverter *WindyBoy 3600TL* ekraani võimsuse näiduga. Testi korrati kahel korral ning väljundvõimuste väärtused keskmistati. Testi tulemused on näidatud joonisel 3.16.



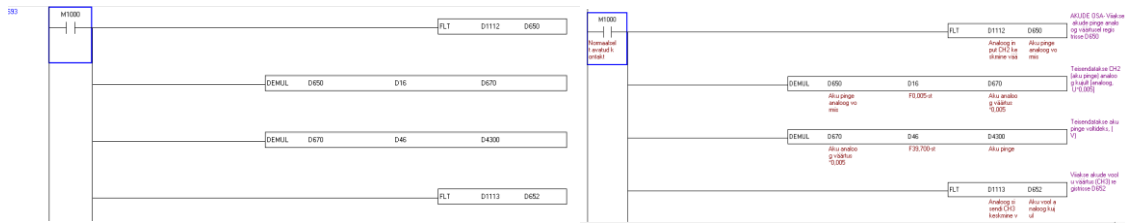
Joonis 3.16. Sünteetilise generaatori sisend- ja väljundvõimsuste vastavuse kontroll.

Testi tulemustest järeldati, et kuni 1100 W määratud sisendvõimsuste juures on väljundvõimsuste väärtused alati veidi kõrgemad. Sisendvõimsuste väärtuste vahemikus 1600- 2100 W, saadi väljundvõimsuste väärtused alati veidi madalamad, kui sisestatud väärtused. Suuremad erinevused leiti sünteetilise generaatori töös võimsuste kõrgemate väärtuste korral. Suurim erinevus täheldati eelviimase mõõtepunkti juures, kus sisendvõimsuse väärtuseks määrati 3,1 kW, kuid väljundväärtuseks saadi suurem tulemus kui maksimaalselt inverterile lubatud.

Testi tulemusena järeldati, et sisend- ja väljundvõimsused kuni 2,6 kW-ni on vastavuses teineteisega, kuid kõrgemate võimsuste väärtuste korral on sünteetilise generaatori juhtimine häiritud. Edasise tegevusena tuleks üle vaadata inverter *WindyBoy 3600TL* sisendpinge sõltuvus sagedusmuunduri väljundpingest.

3.7. Juhtimisprogrammi täiendused

Algne süsteemi juhtimisprogramm oli kättesaadav läbi *WPLSoft* tarkvara, mis läbi personaalarvuti ühendati ühte internetivõrku loogikakontrolleriga. Alla laetuna oli juhtprogramm puhas *ladder* loogikadiagramm, mis tähendab, et sel polnud ühtegi selgitust ning programmi järgimine raskendatud. Diagrammist arusaamise lihtsustamise eesmärgil mõtestati diagramm lahti ning kommenteeriti programmi tarkvarasse elementide vahetuse lähedusse nende olemused ning iga koodireaga saavutatav tegevus. Võrdlusena on toodud joonis 3.17 juhtimisprogrammi suvalisest koodireast alghetkel ning kõrval peale lahti mõtestamist.



Joonis 3.17. Kommenteerimata juhtprogrammi koodiread vasakul ning kommentaaridega juhtprogrammi koodiread paremal

Jooniselt 3.17. on näha kuivõrd arusaadavam on koodi lahti selgitatuna. PLC1 loogikakontrolleri kommentaaridega juhtkood on leitav lisas G ning PLC2 kommenteeritud juhtkood lisas H.

Teise loogikakontrolleri tähistusega *PLC2* juhtprogrammis on ka leida elemendid, mis töö autoril jäid lahti seletamata. Koodiridade peamiseks eesmärgiks on andmevahetus loogikakontrolleri ja teiste seadmete vahel. Küll aga jäi selgusetuks, mis seadmetega suheldakse ja mis andmeid edastatakse, kuna registreite päritolu jäi selgusetuks. Lisaks võrguühenduses programmkoodi käiates jääb inimsilmale mulje, et mingit andmete edastust koodiridadega ei saavutata, kuna väärtused elementide kohal ei muutu. Põhjus võib olla selles, et andmete edastamine või vastuvõtmine antud kujul ei toimigi või on andmete edastus niivõrd kiire, et see jääb inimsilmale tuvastamata. Samuti ei kasutata transporditavate andmete registreid koostöös ülejäänud koodireaga, mistõttu on ka võimalus, et koodi autoritel on juhuslikult mõne muu süsteemi juhtprogrammist jäänud alles koodiread, mille programm oli võetud digitaalelektronika labori juhtimise aluseks, kuid mis ei ole kustutatud. Kommenteeritud koodis on sellised registrid märgitud küsimärkidega, mille olemuse kohta teave puudub.

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli alusdokumentide loomine labori edasiarenduseks. Lisaks tehti soovitusel ning pakuti välja edasised suunad digitaalelektronika labori arendustegevuseks. Peamised dokumendid on leitavad magistritöö lisades. Täiendatud programmid on laetud üles Eesti Maaülikooli Tehnikainstituudi kohalikku serverisse.

Digitaalelektronika labor on loodud taastuenergia toodangu juhtimise, salvestusvõtete ning elektrivõrgu töökindluse tõstmise uurimiseks nii autonoomselt kui ka elektrivõrguga ühendatuna. Labori peamised komponendid on tuuleturbiin, päikesepaneelid, akupank, ülikondensaator, energia kvaliteedi analüsaatorid, jälgimise süsteem, ilmajaam, koormus ning sünteetiline generaator. Viimane komponent kujutab endast suvalise taastuenergia allika karakteristikate jälgendamise seadet.

Süsteemiga tutvumiseks kontrolliti füüsiliselt üle olemasolevate dokumentide vastavus reaalsele olukorrale, mis enamasti olid adekvaatsed, kuid kohati vajasisid täiendusi lihtsamaks süsteemi jälgimiseks. Loodi süsteemi peajaotuskilbi jaoks elektriskeem ning täiendati olemasolevat kilbi jõuskeemi.

Teostati süsteemi juhtpaneelil esitatud andmete algkoodide otsing, mille põhjuseks oli juhtpaneeli ekraani andmete mittevastavus reaalsele hetkeolukorrale visuaalsel ülevaatusel. Kontrolli tulemuseks saadi, et juhtpaneelil esitatud andmete algkoodidest olid vastavuses juhtprogrammiga 28 koodi 80-st ehk 35%.

Viimase probleemi lahenduseks otsiti alternatiive andmete esitamiseks juhtpaneelil. Optimaalseimaks lahenduseks leiti muundurite siseste mõõteandmete edastamist *Modbus* kommunikatsiooni liidese kaudu juhtkraanile. Selleks kontrolliti, milliseid andmeid edastatakse praegu *Modbus* liidese kaudu ning tulemuseks saadi, et seda liini ei kasutatagi. Seejärel katsetati kirjutamise võimalust *Modbus* liidese kaudu ekraanile, mille tulemusena väideti, et antud kommunikatsiooni liidest on võimalik andmete kuvamiseks kasutada.

Lisaks uuriti juhtkontrolleri mitte-hõivatud portide hetkseisu juhiks kui digitaalelektronika laborisse seadmeid lisatakse. Tulemuseks saadi, et lugeda on võimalik veel viit analoog- ning kakskümmend digitaalsignaali kontrolleritest ning väljastada üht analoog- ning kaheksa digitaalsignaali.

Kontrolliti sünteetilise generaatori sisend- ja väljundvõimuste vastavust, kuid leiti, et määratud kõrgemate võimsuste väärtuste korral generaatori töö juhtimine on häiritud.

Täiendust leidsid nii juhtpaneeli ekraanikuva, kui ka juhtprogramm. Juhtpaneeli ekraanikuva muudeti töö autori nägemuse järgi tavakasutajale loogilisemaks ning juhtprogramm mõtestati kommenteerides koodi nii, et süsteemi jälgimine oleks lihtsam.

Käesolev magistritöö võiks kasutust leida digitaalelektronika edasises arendustegevuses.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. *Taastuvenergeetika aastaraamat 2014*. (2015). . Tallinn: Taastuvenergeetika koda.
2. *Elektrituru käsiraamat*. (2016). . Tallinn: Elering.
3. **Prof. Zervos, A., Lins, C., & Muth, J.** (2010). *Re-think 2050*. Brüssel, Belgia: European Renewable Energy Council.
4. *Renewables in global energy supply* (2007). Prantsusmaa, Pariis: International Energy Agency. [WWW] www.iea.org/textbase/papers/2006/renewable_factsheet.pdf (24.05.2017).
5. **Ellabban, O., Abu-Rub, H., & Blaabjerg, F.** (2014). Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 748-764.
6. **Khan, N., Kalair, A., Abas, N., & Haider, A.** (2017). Review of ocean tidal, wave and thermal energy technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 590-604.
7. **Abbasi-Garravand, E., Mulligan, C. N., Laflamme, C. B., & Clairet, G.** (2016). Role of two different pretreatment methods in osmotic power (salinity gradient energy) generation. *Renewable Energy*, 96, Part A, 98-119.
8. *Elektrisüsteemi kokkuvõte 2016* (2017). Elering AS.
9. **Kuul, M.** (2017), Taastuvenergia tootmine vähenes aastaga kuus protsenti. Eesti Rahvusringhääling, [WWW] <http://www.err.ee/581197/taastuvenergia-tootmine-vahenes-aastaga-kuus-protsenti> (24.05.2017).
10. *Taastuvenergeetika aastaraamat 2015* (2016). . Tallinn: Taastuvenergeetika konda. [WWW] http://www.taastuvenergeetika.ee/wp-content/uploads/2016/12/TEK_aastaraamat_A4_juuni16_40lk_PREVIEW-1.pdf (24.05.2017).
11. Short assessment of renewable energy sources 2015 (2017). EUROSTAT.
12. **Štruc, M.** (2015). Share of renewables in energy consumption up to 15% in the EU in 2013- Three member states already achieved their 2020 targets. *Eurostat Press Office*. [WWW] <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/6734513/8-10032015-AP-EN.pdf/3a8c018d-3d9f-4f1d-95ad-832ed3a20a6b>; (24.05.2017).
13. **S. Bennett.** (1996). A brief history of automatic control. *IEEE Control Systems*, 16(3), 17-25.
14. **Tomson, J.** (1997). In Lehtla T. (Ed.), *Automaatjuhtimine*. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool.
15. **Rähni, A.** (2009). *Automaatjuhtimissüsteemid- õppeabimaterjal*. [WWW] http://ww2.dcc.ttu.ee/LAS/ISS0021/kaugope/AJS_1_0a.pdf (24.05.2017).
16. **Franklin, G. F., J. David, P., & Abbas, E.** (2009). Feedback control of dynamic systems. 910.
17. **Bayindir, R., & Cetinceviz, Y.** (2011). A water pumping control system with a programmable logic controller (PLC) and industrial wireless modules for industrial plants—An experimental setup. *ISA Transactions*, 50(2), 321-328.

18. **Alphonsus, E. R., & Abdullah, M. O.** (2016). A review on the applications of programmable logic controllers (PLCs). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1185-1205.
19. **Kilian, C.** (2002). Modern control technology: Components and systems. 2nd ed. 2001. Delmar, 560, 511.
20. **Wellenreuther, G., & Zastrow, D.** (2009). Automatisierung mit SPS – theorie und praxis. – Weisbaden: Vieweg + teubner . GWV Fachverlag, 827
21. Võrgueeskiri. (vastu võetud 26.06.2003, muudetud, täiendatud, viimati jõustunud 19.02.2016).- *Riigi Teataja*. [WWW] <https://www.riigiteataja.ee/akt/116022016014> (24.05.2017).
22. Windspot 1.5 KW Y 3.5 KW Owner's manual. [WWW] [http://www.energistar.com/documentation/50_030_001_C_MANUAL_windspot_3.5_y_1.5_\(ingl%C3%A9s\).pdf](http://www.energistar.com/documentation/50_030_001_C_MANUAL_windspot_3.5_y_1.5_(ingl%C3%A9s).pdf) (24.05.2017)
23. **Roon, K.** (2015). Väiketuulik linnakeskkonnas. (Bakalaureusetöö). Eesti Maaülikooli Tehnikainstituut. Tartu.
24. Tuulegeneraatori alaldi W4G-20K parameetrite tabel. [WWW] http://mikrogeneracja.blogspot.com/2012_07_01_archive.html (24.05.2017).
25. DelSolar D6P_B3A-WS 230W-250W Multi-Crystalline Photovoltaic Module. [WWW] http://www.delsolarpv.com/download/products/Module/MQWRD-01-01-93-D6P_B3A-WS-1.1-EN.pdf (24.05.2017).
26. **Agalgaonkar, Y. P., Pal, B. C., & Singh, R.** (2012). Impact of photo voltaic generation control on multi machine small signal stability. *IFAC Proceedings Volumes*, 45.
27. Danfoss handbook. Fact Worth Knowing about Frequency Converters. [WWW] <http://danfoss.ipapercms.dk/Drives/DD/Global/SalesPromotion/FWK/FWKComplete/> (24.05.2017)
28. Sine-Filter 3AFS400-xxx. Application and performance characteristics. [WWW] <http://www.fuss-emv.de/fileadmin/docs/produkt Datenblaetter/3AFS400-xxx.pdf> (24.05.2017).
29. Jõutrafode, elektrivarustusseadmete ja muude taoliste seadmete ohutus. Osa 2-6: Erinõuded üldkasutatavatele kaitseeraldustrafodele. EVS-EN 61558-2-6:2009- *Eesti Standardi Keskus*.
30. **Altpere, E.** (1993). Elekter igapäevases elus. Tallinn: Valgus.
31. Sunny Island 6.0H/8.0 technical data. [WWW] http://files.sma.de/dl/2485/SI_6H8H-AEN131411W.pdf (24.04.2017).
32. Flexiva ZEMIS WG5K Short Description. Säilitatakse Tartus, Fr. R. Kreutzwaldi 56 (Maaülikooli Tehnikainstituut) ruumi 501 juhtimiskilbis EK1 [CD-ROM].
33. Datasheet VFD-EL. [WWW] <http://docs-asia.electrocomponents.com/webdocs/1236/0900766b812364ee.pdf> (24.05.2017).
34. Windyboy inverter installation guide. [WWW] http://fortiswindenergy.com/wp-content/uploads/2015/09/WB36TL_50TL-IEN102011.pdf (24.05.2017).

35. Operation and installation manual for SOLIVIA 2.5 EU G3. Säilitatakse ,Tartus Fr. R. Kreutzwaldi 56 (Maaülikooli Tehnikainstituut) ruumi 501 juhtimiskilbis EK1 [CD-ROM].
36. Delta CliQ Power Supply System 1 AC / 24 VDC / 5 A Technical Data [WWW]
<http://www.deltapsu.com/products/download/Datasheet/DRP024V120W1AA> (24.05.2017).
37. **Webster, J. G., & Eren, H.** (2014). Measurement, instrumentation, and sensors handbook, second edition: Electromagnetic, optical, radiation, chemical, and biomedical measurement . *CRC Press*, 16
38. Maxwell BMOD0165 P048 BXX Datasheet.
http://www.maxwell.com/images/documents/hq_48v_ds10162013.pdf [WWW] (24.05.2017).
39. **Conway, B. E.** (1999). Electrochemical supercapacitors : Scientific fundamentals and technological applications. *New York: Plenum Press*.
40. Victron Energy Gel and AGM Batteries. [WWW]
<https://www.victronenergy.it/upload/documents/Datasheet-GEL-and-AGM-Batteries-EN.pdf> (24.05.2017).
41. DOP B10 Instruction sheet. [WWW] <http://induprogess.pl/media/files/download/7017/delta-ia-hmi-dop-b10s615-e615-q-tc-en-sc-tur-20140618.pdf> (24.05.2017)
42. DVP SX-2 Instruction Sheet. [WWW]
<http://www.datasheetarchive.com/pdf/download.php?id=264f4f0f06e0d15c04f11ee4cef38361449851&type=P&query=DVP20SX2> (24.05.2017)
43. AF09Z-30-10-21 Datasheet. [WWW] <http://new.abb.com/products/1SBL136001R2110/af09z-30-10-21-24-60v50-60hz-20-60vdc-contactor> (24.05.2017).
44. GE Energy, Control and Automation For industrial applications ED.03 Contactors and overload relays. [WWW]
https://www.geindustrial.com/india/brochures/Contactors_andOLRs.pdf (24.05.2017).
45. EVS-EN 60898-1:2003 Elektritarvikud. Liigvoolukaitselülited majapidamis- ja muudel taolistel paigaldistel. Osa 1: vahelduvvoolu kaitselülited.- *Eesti Standardi Keskus*.
46. **Teemets, R.** (1994). Kaitselülited. Tallinna Tehnikaülikool, 91

DEVELOPMENT OF THE DIGITAL ELECTRONICS LABORATORY

SUMMARY

The aim of the Master's Thesis is to create source documents for further development of the digital electronics laboratory and give recommendations in the before mentioned direction. The main document created can be found in the thesis' appendixes. The updated software programs are uploaded to the Estonian University of Life Sciences, Institute of Technology's local ethernet server.

The digital electronics laboratory itself is used for the research and development purposes of the renewable energy sources energy-control technics, storage management and grid reliability on and off the grid. Its main components are photovoltaic panels, wind turbine, supercapacitor, battery bank, monitoring system, power analysers, resistive loads, weather station and synthetic generator. The last mentioned component is used for imitating a random renewable energy source's characteristics.

In order to identify the systems current condition the existing documents were overviewed and their conformity with the actual scenario, which were found essentially adequate but for the more straightforward understanding needed improvement. The electric scheme and connection control diagram were created.

The inspection of the original codes of the control panel was executed due to the inadequate displayed readings on the screen, which were discovered visually. The test concluded that 28 of the 80 original codes were corresponding to the control program, which represents 35% from all the codes represented in the control panel for measurement readings or system management.

To solve the forgoing problem, alternatives were considered to display competent readings. The most optimal solution provided was to acquire values form the inverters' inner measurement and to transmit these values by using *Modbus* communication protocols. Firstly, the operating *Modbus* communication interfaces were observed but no data was found transmitted. Then successful writing to the control panel by the *Modbus* communication protocols were executed to prove the possibility of such action.

In addition the non-occupied ports of the logic controllers were illustrated and counted in the interest of if the additional signals were needed to read from the devices or to send signals to appliances. The inspection concluded that in addition 5 analog- and 20 digital signal can be read by the controller and to write 1 analog- and 8 digital signals' information.

Also a test was required in order to examine the synthetic generator's power management whereas input power values were compared to the output values. The test indicated the mismanagement on the higher portion of power values.

The control panel's screen design was improved to make the layout understandable for a common user. Also the control program was updated with comments of a specific orders and component tags to help to follow the process more efficient.

This Master's Thesis is composed in order to give the overview of the current scenario and to recommend further actions for development of the digital electronics laboratory.

LISAD

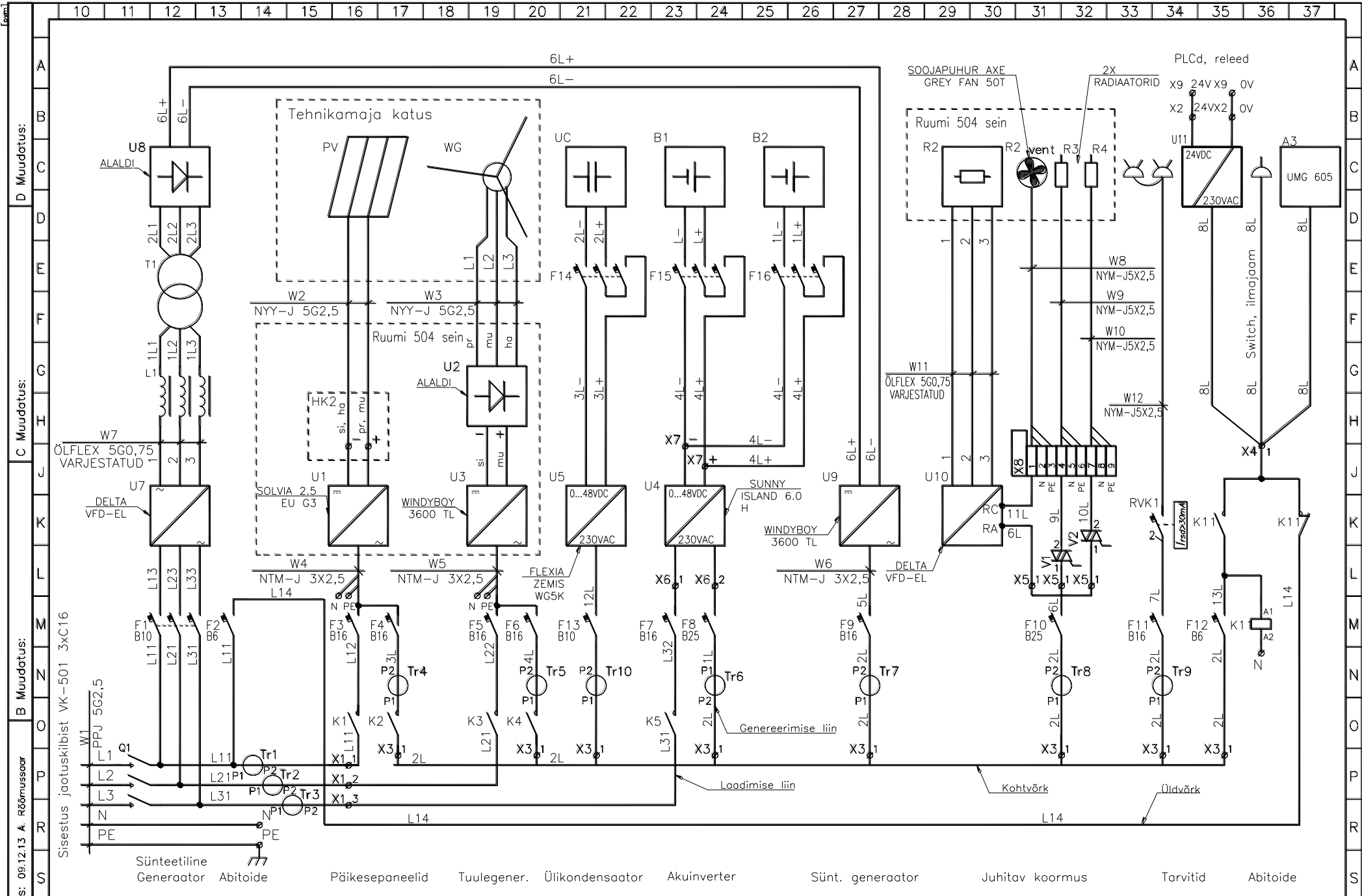
Lisa A. Digitaalelektronika labori muundurite koondandmed

Lisa A.1. Digitaalelektronika labori muundurid

Nimi	<i>Sunny Island 6.0 H</i> [31]	<i>Flexiva ZEMIS WG5K</i> [32]	<i>VFD022EL21A</i> [33]	<i>VFD037EL4A</i> [33]	<i>SMA Windyboy 3600 TL</i> [34]		<i>Solvia 2.5 EU G3</i> [35]	ALALDI	<i>MWP 4G-20K</i> [24]	<i>Cliq Power Supply System</i> [36]
Tähis	<i>U4</i>	<i>U5</i>	<i>U10</i>	<i>U7</i>	<i>U3</i>	<i>U9</i>	<i>U1</i>	<i>U8</i>	<i>U2</i>	<i>U11</i>
Seotus	Akud	Ülikondensaator.	Soojapuhur	Sünteeiline generaator	Tuulik	Sünt. gen.	PV-paneelid	Sünteeiline generaator	Tuulik	PLC, releed
Tüüp	<i>AC/DC</i>	<i>AC/DC</i>	<i>AC/AC</i>		<i>DC/AC</i>		<i>DC/AC</i>	<i>AC/DC</i>	<i>AC/DC</i>	<i>AC/DC</i>
Suund	Kahe	Kahe	Ühe		Ühe		Ühe	Ühe	Ühe	Ühe
Nimi võimsus	4,6 kW	-	2,2 kW	3,7 kW	3,68 kW		2,5 kW	-	12 kW	-
Sisendpinge	230 Vac	0-250 Vac	230 Vac	400 Vac	max 550 Vdc		150- 450 Vdc	-	max 500 Vac	230 Vac
Sisendvool	20 A	16 A max	24 A	11,2 A	max 2x 15 A		10 A	-	max 40 A	0,8 A
Väljundpinge	48 Vdc	360-390 Vdc	180-264 Vac	342-528 Vac	230 Vac		184- 264 Vac	-	max 750 Vdc	24 Vdc
Väljundvool	90/103 A*	10 A	11 A	8,2	max 16 A		11 A	-	max 40 A	5 A
Kasutegur	95 %	-	-		-		94,4 %	-	99,3 %	84 %

*Vastavalt laadimise vool ja tühjaks laadimise vool. Mõlemad märgitud sisendis, kuna kahe-suunaline energia liikumine on võimalik

Lisa B. Peajaotuskilbi nr. EK1 jõuskeem



A Muudatus: 09.12.13 A. Rõõmusaar

OU ENERGIATEHNIKA
Männiku tee 123/1
11216 Tallinn
WWW.ENERGIATEHNIKA.EE

D Muudatus: 09.12.13 A. Rõõmusaar

B Muudatus: 09.12.13 A. Rõõmusaar

C Muudatus: 09.12.13 A. Rõõmusaar

Sisestus jootuskilbist VK-501 3xX16
PPJU 5G2,5

Digitalelektriinika labor
Energiasalvestid
EK1 jõuskeem

Täiendas: Karl Randmaa
Kontrollis: Erkki Jõgi
Kinnitas:

Ahela nr.
Leht 1/1
Joonise nr.

Keskuse nr. EK1
Tõõ nr.

SP 10049 06

Lisa C. Peajaotuskeskuse elektriskeem

Skeem	Tähis	Tarbija nimetus	Võimsus kW	Rak. vool A	Kaabeldus
	Q1	Pealüliti (Sisestus kilbist VK-501)		40	PPJ 5G2,5
	F1	Sünteeiline generaator sisse		10	-
	F2	Abitoite üldvõrk		6	-
	F12	Abitoite kohtvõrk		6	
	F3	PV üldvõrk		16	NYM-J 3x2,5
	F4	PV kohtvõrk		16	
	F5	Tuulik üldvõrk		16	NYM-J 3x2,5
	F6	Tuulik kohtvõrk		16	
	F7	Sunny Island 6.0 üldvõrk		16	
	F8	Sunny Island 6.0 kohtvõrk		25	
	F15	Akupank I		63	
	F16	Akupank II		63	
	F9	Sünteeiline generaator välja		16	NYM-J 3x2,5
	F10	Juhitav koormus		25	
F11	Tarvitid (RVK1)		16	NYM-J 3x2,5	
		(Rikkevoolu kaitselüliti)	-		
	F13	Flexiva (alaldi)		10	
	F14	Ülikondensaator		50	
Tellija		Objekt, seade			Mõõt.
Eesti Maaülikool		Digitaalelektronika labori JK			
Teostas	Karl Randmaa	Nimetus			
Kontrollis	Erkki Jõgi				
Kinnitas					
EMÜ TE-EK		Leht	Tähis	Muudat.	
		1		-	

Lisa D. HMI ja PLC aadresskoodide ühilduvus

Tabel D.1 Juhtkraanil lehekülgede valiku aadressid

Juht ekraanid

Lülitus/kirjeldus	Aadress aktiivsel ekraanil (Write/Read)	Tüüp	Sisu (0/I)	Ladder juhtprogrammis saadavus
Juhtimine	\$1.1/\$1.0	Sheet	Juhtimine	-
Päike	\$1.1/\$1.0	Sheet	Päike	-
Tuul	\$1.1/\$1.0	Sheet	Tuul	-
Ülikondensaator	\$1.1/\$1.0	Sheet	Ülikondensaator	-
Aku	\$1.1/\$1.0	Sheet	Aku	-
Elektrivõrk	\$1.1/\$1.0	Sheet	Elektrivõrk	-
Sünteesiline generaator	\$1.1/\$1.0	Sheet	Sünteesiline generaator	-
Koormus	\$1.1/\$1.0	Sheet	Koormus	-
Ilmajaam	\$1.1/\$1.0	Sheet	Ilmajaam	-

Tabel D.2 Juhtpaneeli lehekülje aadressid

Juhtpaneel				
Lülitus/kirjeldus	Aadress	Tüüp	Sisu (0/I)	Ladder juhtprogrammis saadavus
Päikeseenergia võimsus (kW)	\$4010	Text box	123.4	EI
Tuuleenergia võimsus (kW)	\$4104	Text box	123.4	EI
Ülikondensaatorsalvesti võimsus (kW)	\$4210	Text box	123.4	EI
Akusalvesti võimsus (kW)	\$4304	Text box	123.4	Jah
Üldvõrgu aktiivvõimsus (kW)	\$4432	Text box	123.4	EI
Kohtvõrgu aktiivvõimsus (kW)	\$4226	Text box	123.4	EI
Tarvitite aktiivvõimsus (kW)	\$4506	Text box	123.4	EI
Sünteesilise allika aktiivvõimsus (kW)	\$4606	Text box	123.4	EI
Päikesepaneelivälisvõrgu ühendus	{YhendusI}1@M1	Text button	Ühenda/Eralda	Jah
Päikesepaneeli kohtvõrguühendus	{YhendusI}1@M2	Text button	Ühenda/Eralda	Jah
Tuuliku välisvõrgu ühendus	{YhendusI}1@M3	Text button	Ühenda/Eralda	Jah
Tuuliku kohtvõrgu ühendus	{YhendusI}1@M4	Text button	Ühenda/Eralda	Jah
Välis- ja kohtvõrgu ühendus	{YhendusI}1@M5	Text button	Ühenda/Eralda	Jah
Sünteesilise allika võimsus (kW)	\$600	Text box	##	Jah
Juhitava koormuse võimsus (kW)	\$508	Text box	##	Jah
Võimsuse seadistus käsitsi	{YhendusI}1@M6	Text button	Luba/Keela	EI
<i>I textbox paneeli peal</i>	{YhendusI}1@D0	Text box	1234	Jah
<i>II textbox paneeli peal</i>	{YhendusII}1@D0	Text box	1234	Jah
<i>III textbox paneeli peal</i>	\$0	Text box	1234	-

Tabel D.3 Päikese- ja tuuleenergia lehekülgede ekraani aadressid

Päike

Lülitus/kirjeldus	Aadress	Tüüp	Sisu (0/I)	Ladder juhtprogrammis saadavus
Muundur olek	\$2000.0	Textbox	Viga/Töötab	EI
Paneelide väljundpinge (V)	\$4000	Textbox	1234	Jah
Paneelide väljundvool (A)	\$4002	Textbox	123.4	Jah
Paneelide väljundvõimsus (kW)	\$4004	Textbox	123.4	Jah
Muunduri väljundpinge (V)	\$4006	Textbox	123.4	EI
Muunduri väljundvool (A)	\$4008	Textbox	123.4	EI
Muunduri väljundvõimsus (kW)	\$4010	Textbox	123.4	EI

Tuul

Lülitus/kirjeldus	Aadress	Tüüp	Sisu (0/I)	Ladder juhtprogrammis saadavus
Muunduri olek	\$2000.1	textbutton	Ei tööta/Töötab	-
Muunduri väljundpinge (V)	\$4100	textbox	1234	EI
Muunduri väljundvool (A)	\$4102	textbox	123.4	EI
Muunduri väljundvõimsus	\$4104	textbox	123.4	EI
Päevane energiatoodang (kW·h)	\$4106	textbox	123.4	EI

Tabel D.4 Kondensaatori ja akude lehekülgede ekraani aadressid

Kondensaator

Lülitus/kirjeldus	Aadress (Write/Read)	Tüüp	Sisu (0/I)	Ladder juhtprogrammis saadavus
Muunduri viga	{YhendusII}1@X1	Textbox	Viga pole/Viga	Jah
Muunduri olek	\$2000.2	Textbutton	Ei tööta/ Töötab	-
Ülikondensaatori pinge (V)	\$4200	Textbox	1234	Jah
Ülikondensaatori vool (A)	\$4202	Textbox	123.4	Jah
Ülikondensaatori laetuse aste (%)	\$4204	Textbox	1234	Jah
Muunduri väljundpinge (V)	\$4206	Textbox	1234	EI
Muunduri väljud vool (A)	\$4208	Textbox	123.4	EI
Laadimine/Tühjendamine	{YhendusII}1@M11	Textbutton	Tühjendamine/Laadimine	Jah
Käivitus/Peatamine	\$10.0/{YhendusII}1@M10	Textbutton	Peatatud/Käivitus	Jah
Vigade ennistus	{YhendusII}1@M1	Textbutton	Ennista/Ennistus	Jah

Aku

Lülitus/kirjeldus	Aadress (Write/Read)	Tüüp	Sisu (0/I)	Ladder juhtprogrammis saadavus
Muunduri olek	\$2000.3	Textbutton	Ei tööta/ Töötab	-
Akupinge (V)	\$4300	Textbox	1234	Jah
Akuvool (A)	\$4302	Textbox	123.4	Jah
Akuvõimsus (kW)	\$4304	Textbox	123.4	Jah
Aku temperatuur (°C)	\$4306	Textbox	123.4	Jah
Muunduri väljudpinge (V)	\$4422	Textbox	1234	EI
Muunduri väljundvool (A)	\$4424	Textbox	123.4	EI
Muunduri väljundsagedus (Hz)	\$4430	Textbutton	123.4	EI
Muunduri väljundvõimsus (kW)	\$4426	Textbutton	123.4	EI

Tabel D.5 Võrgu ja sünteetilise allika lehekülgede ekraani aadressid

Võrk				
Lülitus/kirjeldus	Aadress (Write/Read)	Tüüp	Sisu (0/I)	Ladder juhtprogrammis saadavus
Võrgulüliti	\$2000.4	Textbutton	Vabastatud/Rakendatud	-
Faasipinged (V); (L1, päike)	\$4400	textbox	1234	EI
Faasipinged (V); (L2, tuul)	\$4402	Textbox	1234	EI
Faasipinged (V); (L3, SI 6.0H)	\$4404	Textbox	1234	EI
Faasivoolud (A); (L1, päike)	\$4406	Textbox	123.4	EI
Faasivoolud (A); (L2, tuul)	\$4408	Textbox	123.4	EI
Faasivoolud (A); (L3, SI 6.0H)	\$4410	Textbox	123.4	EI
Aktiivvõimsused (kW); (L1, päike)	\$4412	Textbox	123.4	EI
Aktiivvõimsused (kW); (L2, tuul)	\$4414	Textbox	123.4	EI
Aktiivvõimsused (kW); (L3, SI 6.0H)	\$4416	Textbox	123.4	EI
Aktiivvõimsuste summa (kW)	\$4432	Textbox	123.4	EI
Välisvõrgu sagedus (Hz)	\$4420	Textbox	123.4	EI
Koguenergia (kW·h)	\$4418	Textbox	123.4	EI
Sünteetiline allikas				
Lülitus/kirjeldus	Aadress (Write/Read)	Tüüp	Sisu (0/I)	Ladder juhtprogrammis saadavus
Genetaatori etteandevõimsus (kW)	\$4600	Textbox	123.4	Jah
Generaatori pinge (V)	\$4602	Textbutton	1234	EI
Generaatori vool (A)	\$4604	Textbox	123.4	EI
Generaatori aktiivvõimsus (kW)	\$4606	Textbox	123.4	EI
Päevane energiatoodang	\$4608	Textbox	123.4	EI

Tabel D.6 Võrgu ja sünteetilise allika lehekülgede ekraani aadressid

Koormus

Lülitus/kirjeldus	Aadress (Write/Read)	Tüüp	Sisu (0/I)	Ladder juhtprogrammis saadavus
R2	{YhendusI}1@Y20	Button	<i>Sinine/punane</i>	Jah
R3	{YhendusI}1@Y21	Button	<i>Sinine/punane</i>	Jah
Koormuse etteandevõimsus (kW)	\$4508	Textbox	123.4	Jah
Juhitava koormuse vool (A)	\$4500	Textbox	123.4	EI
Juhitava koormuse aktiivvõimsus (kW)	\$4502	Textbox	123.4	EI
Tarvivate vool (A)	\$4504	Textbox	123.4	EI
Tarvivate aktiivvõimsus (kW)	\$4506	Textbox	123.4	EI

Ilmajaam

Lülitus/kirjeldus	Aadress (Write/Read)	Tüüp	Sisu (0/I)	Ladder juhtprogrammis saadavus
Välitemperatuur (°C)	\$4700	Textbox	123.4	EI
Tuule kiirus (m/s)	\$4702	Textbox	123.4	EI
Tuule suund (°)	\$4704	Textbox	1234	EI
Päikesekiirgus (W/m ²)	\$4706	Textbox	1234	EI
Ultraviolettkiirgus (UV-indeks)	\$4708	Textbox	123.4	EI
Sademed (mm)	\$4710	Textbox	123.4	EI
Õhurõhk (mm Hg)	\$4712	Textbox	123.4	EI
Suhteline õhuniiskus (%)	\$4714	Textbox	123.4	EI

Kokku kõiki aadresse:

92

Puudub vaste:

50

Vaste olemas:

28

(HMI liikumise või teadmata aadress)

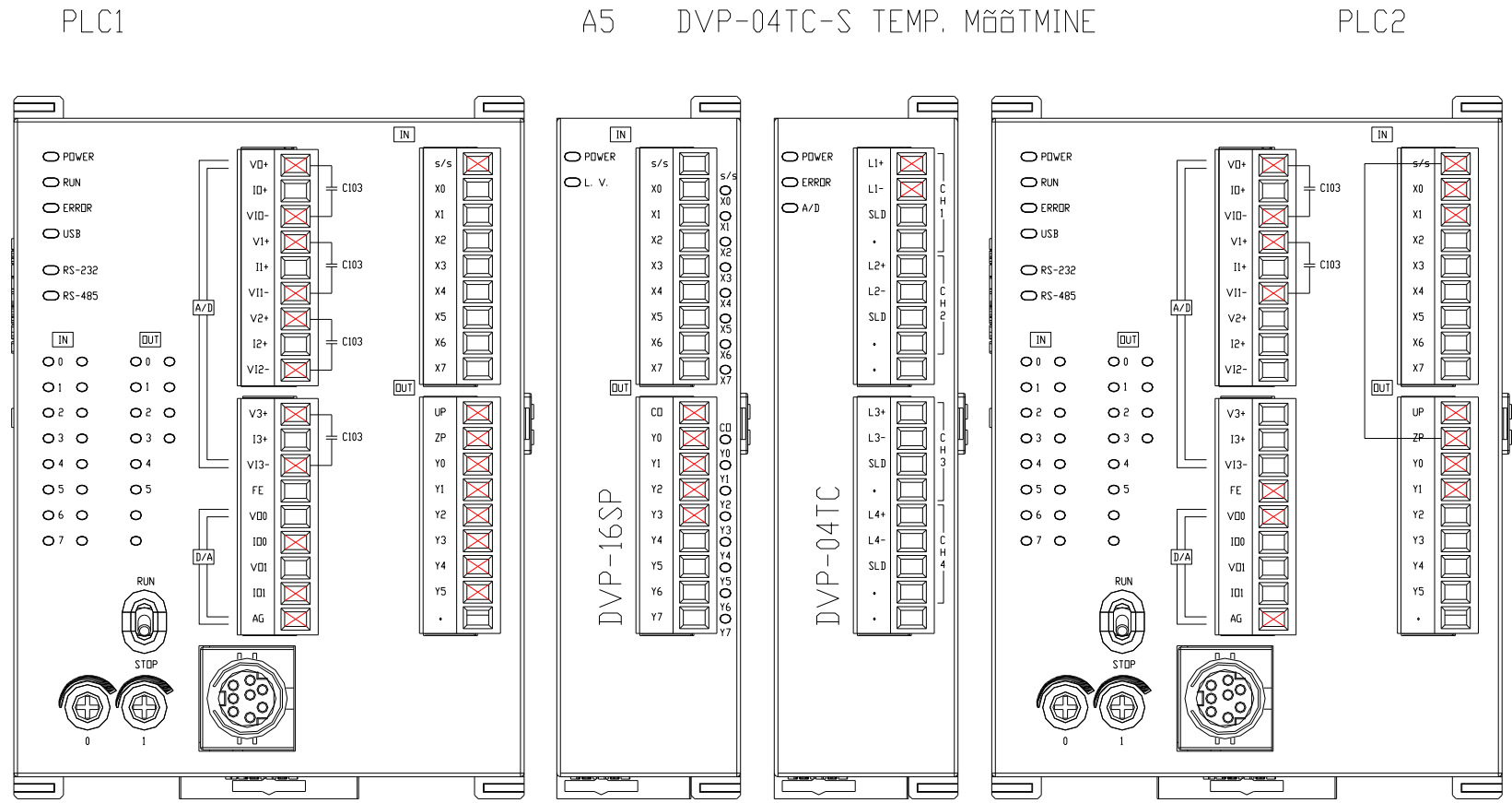
12

Lisa E. Kontrolleriga ühendatud seadmete nimekiri vastavalt portidele

Tabel E.1. PLC1 ja PLC2 portide ühendused.

Seade 1	Kaabli märgistus	Port	Ühenduse tüüp	Seade 2
PLC1	WG12	A/D (0,1)	Cat5e	Harukarp 2 (HK2)→PV võrguinverter Solvia 2.5 EU
PLC1	WG2	COM2	RS-485	PV võrguinverter Solvia 2.5 EU
PLC1	WG13	A/D (2,3)	Cat5e	TF3 (eraldusplokk) → akupank
PLC1	WG4	D/A (1)	Cat5e	U10 Sagedusmuundur(Koormus-vent)
PLC1	WG3	D/A (0)	Cat5e	U7- sünt. gen. Sagedusmuundur
PLC1	26	Y0	kaabel	K6
PLC1	29	Y1	kaabel	K7
PLC1	32	Y2	kaabel	K8
PLC1	35	Y3	kaabel	K9
PLC1	37	Y4	kaabel	K10
PLC1	WG5	X1	Cat5e	U4 (Sunny Island 6.0H) kohtvõrgu inverter
Temperatuuri-moodul	WG7	L1+;L1-	Termopaar	Akude sein
A5	40		kaabel	Relee V1
A5	41		kaabel	Relee V2 (Omron G3na-210B)
A5	42		kaabel	U7- sünt. gen. Sagedusmuundur
A5	43		kaabel	U10 Sagedusmuundur(Koormus-vent)
PLC2	WG11	A/D (0,1)	Cat5e	TF2 (pinge ja voolu mõõteplokk)
PLC2	WG8	Y0	Cat5e	Ülikondensaator
PLC2	WG8	Y1	Cat5e	Ülikondensaator
PLC2	WG8	X0	Cat5e	Ülikondensaator
PLC2	WG8	X1	Cat5e	Ülikondensaator
PLC2	WG10	COM2	RS-485	A6 (RS-422/-482 →RS-232 konverter)
A6	WG9		RS-232	Ülikondensaator
U4-kohtvõrgu inverter	Tähistuseta		Cat5e	U3- tuuleturbiini võrguinverter

Lisa F. Loogikakontrollerite hõivatud portide skeemid



Lisa F.1. Vasakult PLC1, A5, temperatuuri lisamoodul ja PLC2. Punase X-ga on märgitud hõivatud portid

Lisa G. Kommenteeritud PLC1 loogikakontrolleri juhtprogramm

M1002

PLC käivitades, init seerib registrid (vä)

MOV H1020 D0

Käivitades viiakse H1020 väärtus registrisse D0

Register 0
(juhtpaneeli tekstboxi 2. esimene)

MOV K20 D1

PLC1 käivitades viiakse K20 väärtus registrisse D1

Register 1

DMOV F0,000 D10

Viakse kümmandarv u väärtused vastavasse registrisse

F0,000-st

DMOV F5,920 D12

Viakse kümmandarv u väärtused vastavasse registrisse

F5,920-st

DMOV F40,000 D14

Viakse kümmandarv u väärtused vastavasse registrisse

F40,000-st

DMOV F0,005 D16

Viakse kümmandarv u väärtused vastavasse registrisse

F0,005-st

DMOV F0,100 D18

Viakse kümmandarv u väärtused vastavasse registrisse

F0,100-st

DMOV F2,251 D20

Viakse kümmandarv u väärtused vastavasse registrisse

F2,251-st

DMOV F2,150 D22

Viakse kümmandarv u väärtused vastavasse registrisse

F2,150-st

DMOV F4,251 D24

Viakse kümmandarv u väärtused vastavasse registrisse

F4,251-st

DMOV F4,150 D26

Viakse kümmandarv u väärtused vastavasse registrisse

F4,150-st

DMOV F10,000 D28

Viakse kümmandarv u väärtused vastavasse registrisse

F10,000-st

DMOV F1673,000 D30

Viakse kümmandarv u väärtused vastavasse registrisse

F1673,000-st

DMOV F0,084 D32

Viakse kümmandarv u väärtused vastavasse registrisse

F0,084-st

DMOV F66,670 D34

Viakse kümmandarv u väärtused vastavasse registrisse

F66,670-st

DMOV F2,000 D36

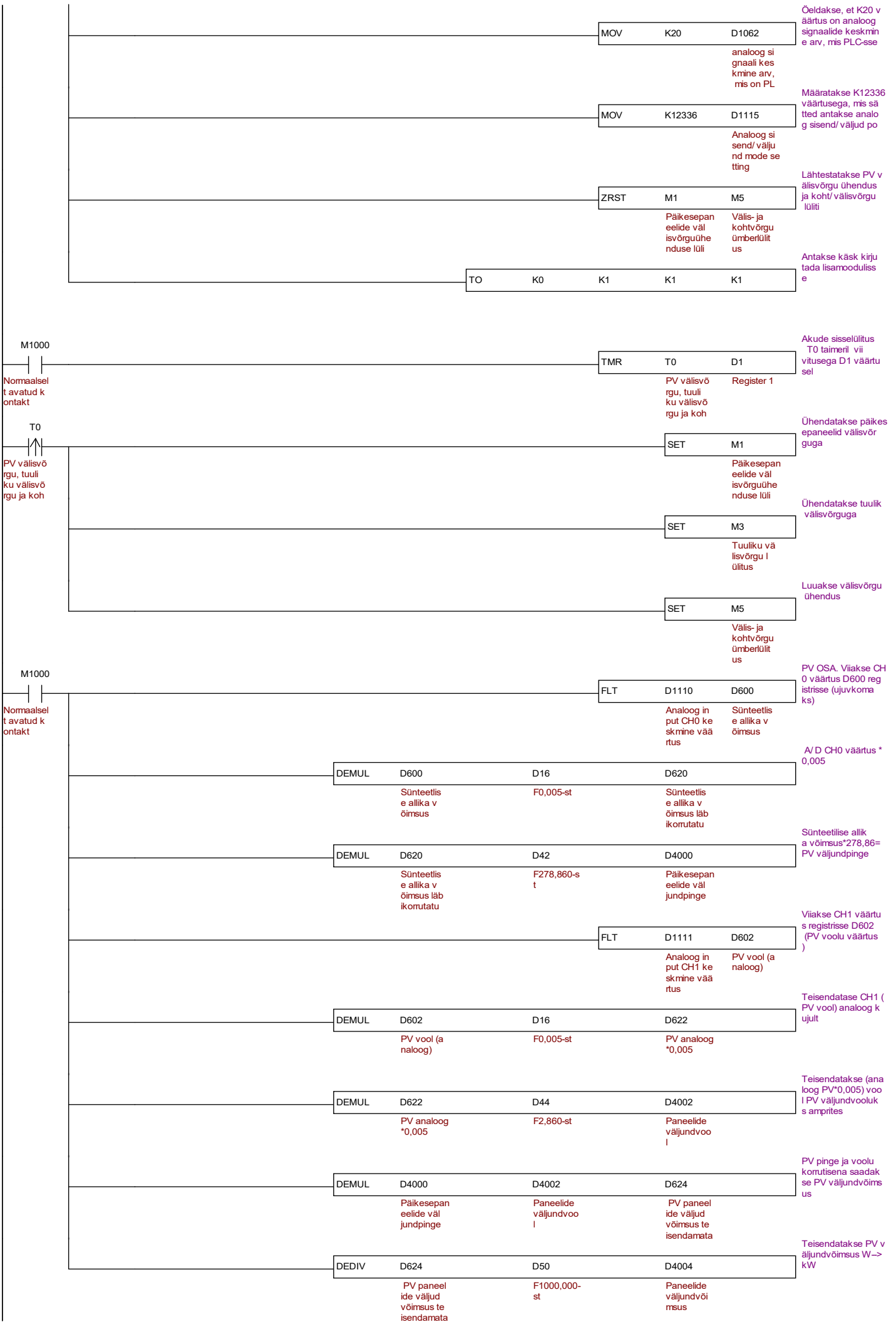
Viakse kümmandarv u väärtused vastavasse registrisse

F2,000-st

	DMOVR	F4,000	D38	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F4,000-st	
	DMOVR	F5,800	D40	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F5,800-st	
	DMOVR	F278,860	D42	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F278,860-s t	
	DMOVR	F2,860	D44	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F2,860-st	
	DMOVR	F39,700	D46	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F39,700-st	
	DMOVR	F20,000	D48	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F20,000-st	
	DMOVR	F1000,000	D50	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F1000,000- st	
	DMOVR	F10,000	D52	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F10,000-st	
	DMOVR	F0,000	D220	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F0,000-st	
	DMOVR	F0,100	D222	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F0,100-st	
	DMOVR	F0,200	D224	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F0,200-st	
	DMOVR	F0,300	D226	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F0,300-st	
	DMOVR	F0,400	D228	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F0,400-st	
	DMOVR	F0,500	D230	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F0,500-st	
	DMOVR	F0,600	D232	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F0,600-st	
	DMOVR	F0,700	D234	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F0,700-st	

	DMOVR	F0,800	D236	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F0,800-st	
	DMOVR	F0,900	D238	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F0,900-st	
	DMOVR	F1,000	D240	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F1,000-st	
	DMOVR	F1,100	D242	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F1,100-st	
	DMOVR	F1,200	D244	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F1,200-st	
	DMOVR	F1,300	D246	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F1,300-st	
	DMOVR	F1,400	D248	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F1,400-st	
	DMOVR	F1,500	D250	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F1,500-st	
	DMOVR	F1,600	D252	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F1,600-st	
	DMOVR	F1,700	D254	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F1,700-st	
	DMOVR	F1,800	D256	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F1,800-st	
	DMOVR	F1,900	D258	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F1,900-st	
	DMOVR	F0,000	D260	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F0,000-st	
	DMOVR	F1,300	D262	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F1,300-st	
	DMOVR	F4,100	D264	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F4,100-st	
	DMOVR	F6,700	D266	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F6,700-st	

	DMOVR	F9,400	D268	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F9,400-st	
	DMOVR	F12,000	D270	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F12,000-st	
	DMOVR	F14,600	D272	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F14,600-st	
	DMOVR	F17,200	D274	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F17,200-st	
	DMOVR	F20,100	D276	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F20,100-st	
	DMOVR	F22,900	D278	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F22,900-st	
	DMOVR	F25,400	D280	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F25,400-st	
	DMOVR	F28,100	D282	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F28,100-st	
	DMOVR	F30,800	D284	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F30,800-st	
	DMOVR	F33,700	D286	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F33,700-st	
	DMOVR	F36,400	D288	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F36,400-st	
	DMOVR	F39,300	D290	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F39,300-st	
	DMOVR	F42,000	D292	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F42,000-st	
	DMOVR	F44,900	D294	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F44,900-st	
	DMOVR	F47,600	D296	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F47,600-st	
	DMOVR	F50,600	D298	Viakse kümmandarv u väärtused vastav asse registrisse
			F50,600-st	



Õeldakse, et K20 väärtus on analoog signaalide keskmine arv, mis PLC-sse

analoog signaali keskmine arv, mis on PL

Määratakse K12336 väärtusega, mis sätestatakse analoog sisend/ väljund moodusting

Analoog sisend/ väljund moodusting

Lähtestatakse PV välisvõrgu ühendus ja koht/ välisvõrgu lülit

Päikesepaneelede välisvõrguühenduse lülit Välis- ja kohtvõrgu ümberlülitus

Antakse käsk kirjutada lisamoodulisse

M1000

Normaalselt avatud kontakt

TMR T0 D1

Akude sisselülitus T0 taimeril viivitusega D1 väärtusel

PV välisvõrgu, tuuliku välisvõrgu ja koh

Register 1

T0

PV välisvõrgu, tuuliku välisvõrgu ja koh

SET M1

Ühendatakse päikesepaneeleid välisvõrguga

Päikesepaneelede välisvõrguühenduse lülit

SET M3

Ühendatakse tuulik välisvõrguga

Tuuliku välisvõrgu lülitus

SET M5

Luuakse välisvõrgu ühendus

Välis- ja kohtvõrgu ümberlülitus

M1000

Normaalselt avatud kontakt

FLT D1110 D600

PV OSA. Viiakse CH0 väärtus D600 registrisse (ujukomaks)

Analoog input CH0 keskmine väärtus

Sünteesitise allika võimsus

DEMUL D600 D16 D620

A/D CH0 väärtus * 0,005

Sünteesitise allika võimsus

F0,005-st

Sünteesitise allika võimsus läbikõrutatu

DEMUL D620 D42 D4000

Sünteesitise allika võimsus * 278,86 = PV väljundpinge

Sünteesitise allika võimsus läbikõrutatu

F278,860-st

Päikesepaneelede väljundpinge

FLT D1111 D602

Viiakse CH1 väärtus registrisse D602 (PV voolu väärtus)

Analoog input CH1 keskmine väärtus

PV vool (analoog)

DEMUL D602 D16 D622

Teisendatakse CH1 (PV vool) analoog kujult

PV vool (analoog)

F0,005-st

PV analoog * 0,005

DEMUL D622 D44 D4002

Teisendatakse (analoog PV * 0,005) vool PV väljundvooluks amprites

PV analoog * 0,005

F2,860-st

Paneelede väljundvool

DEMUL D4000 D4002 D624

PV pinge ja voolu korutisena saadakse PV väljundvõimsus

Päikesepaneelede väljundpinge

Paneelede väljundvool

PV paneelide väljundvõimsus teiseidamata

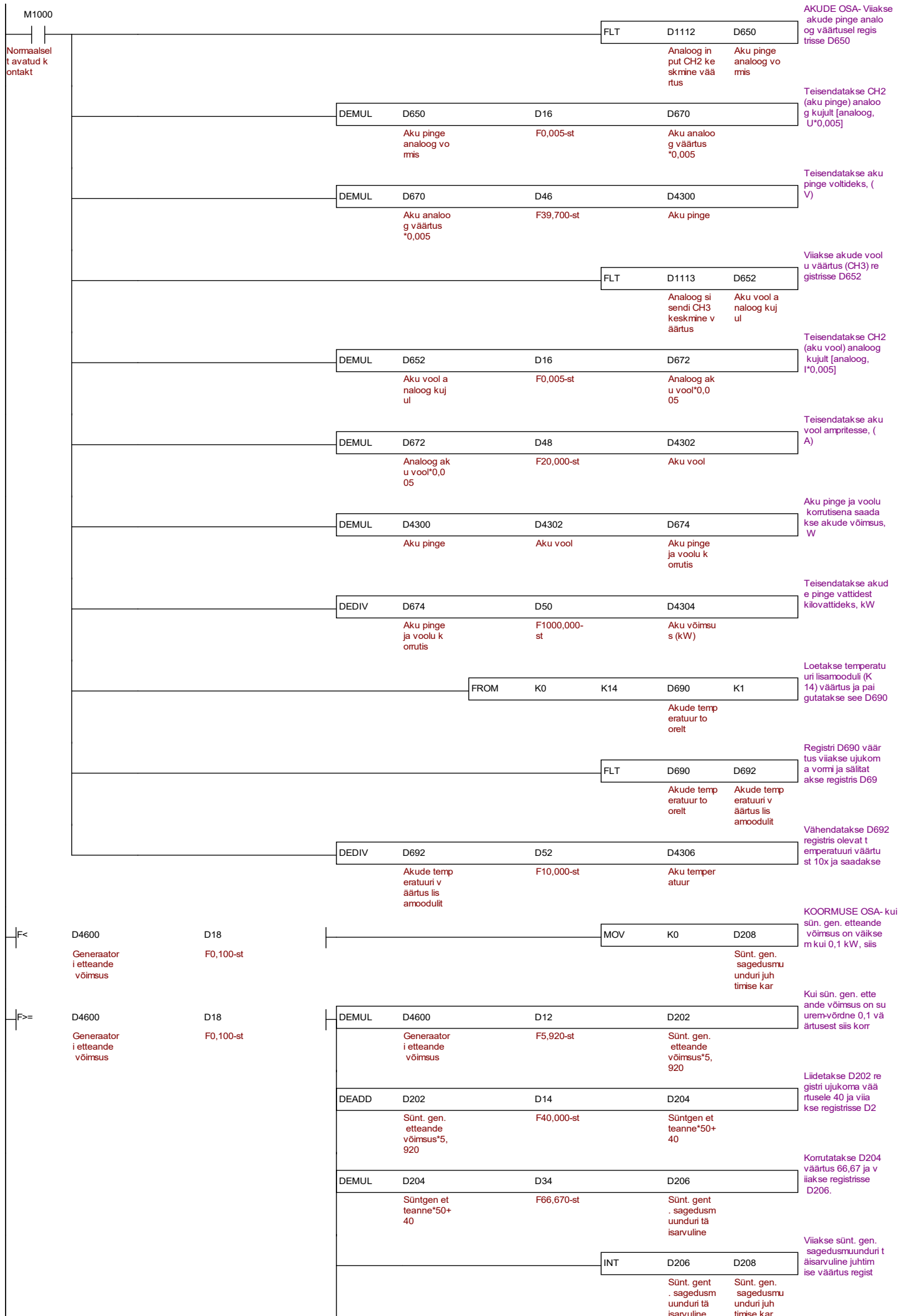
DEDIV D624 D50 D4004

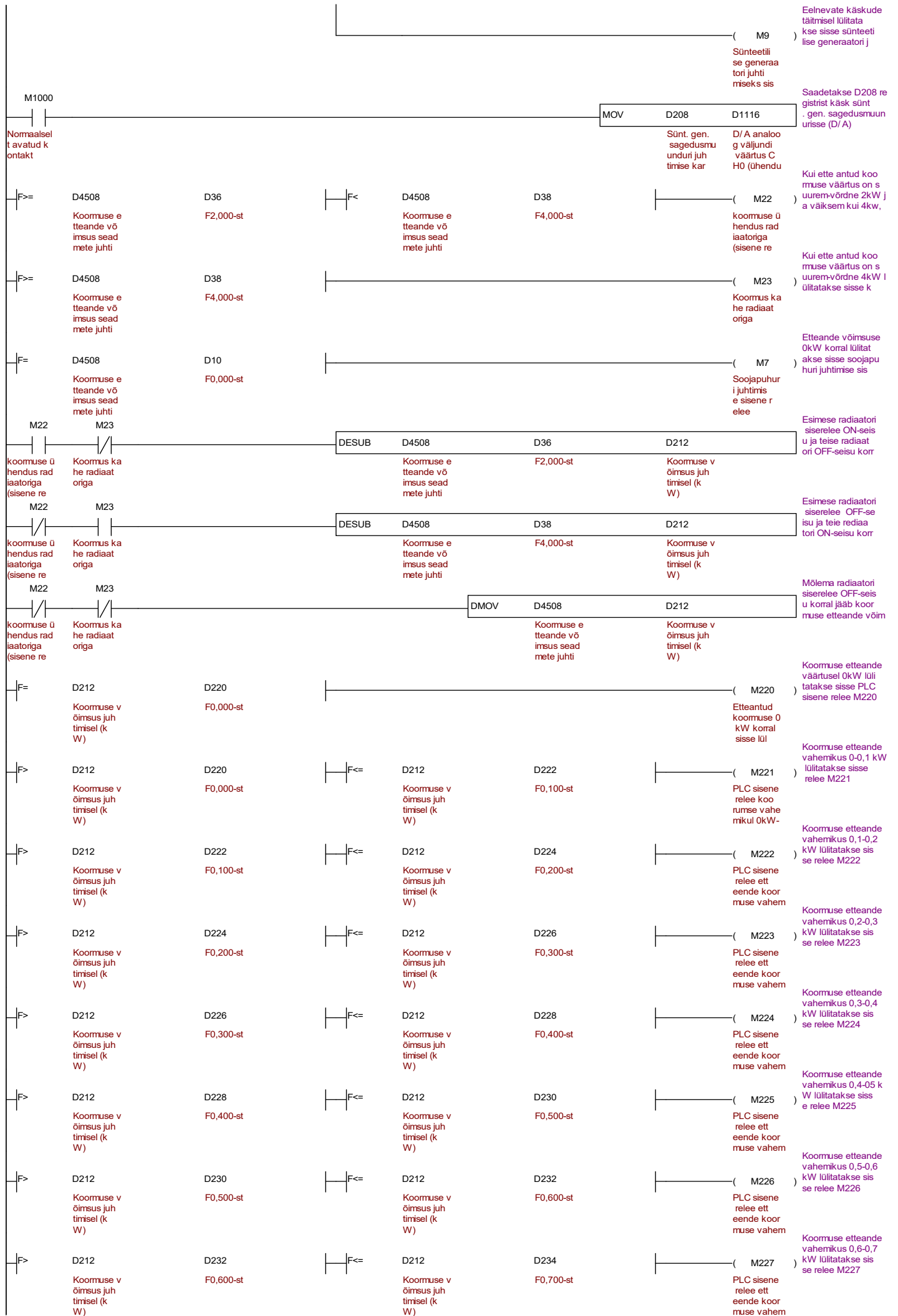
Teisendatakse PV väljundvõimsus W -> kW

PV paneelide väljundvõimsus teiseidamata

F1000,000-st

Paneelede väljundvõimsus





Eelnevate käskude täitmisel lülitatakse sisse sünteetiline generaator

M1000

Normaalselt avatud kontakt

F>= D4508

Kooomuse e teande vö imsus sead mete juhti

D36 F2,000-st

F< D4508

Kooomuse e teande vö imsus sead mete juhti

D38 F4,000-st

(M22)

kooomuse ühendus radiaatoriga (sisene re

Kui ette antud kooomuse väärtus on suurem-võrdne 2kW ja väiksem kui 4kW,

F>= D4508

Kooomuse e teande vö imsus sead mete juhti

D38 F4,000-st

(M23)

Kooomus kahe radiaatoriga

Kui ette antud kooomuse väärtus on suurem-võrdne 4kW lülitatakse sisse k

F= D4508

Kooomuse e teande vö imsus sead mete juhti

D10 F0,000-st

(M7)

Soojapuhuri juhtimise sis

Etteande võimsuse 0kW korral lülitatakse sisse soojapuhuri juhtimise sis

M22

M23

kooomuse ühendus radiaatoriga (sisene re

kooomus kahe radiaatoriga

DESUB

D4508

D36

D212

Kooomuse e teande vö imsus sead mete juhti

F2,000-st

Kooomuse v öimsus juh timisel (kW)

Esimese radiaatori siserelee ON-seis ja teise radiaatori OFF-seisu korr

M22

M23

kooomuse ühendus radiaatoriga (sisene re

kooomus kahe radiaatoriga

DESUB

D4508

D38

D212

Kooomuse e teande vö imsus sead mete juhti

F4,000-st

Kooomuse v öimsus juh timisel (kW)

Esimese radiaatori siserelee OFF-seis ja teise radiaatori ON-seisu korr

M22

M23

kooomuse ühendus radiaatoriga (sisene re

kooomus kahe radiaatoriga

DMOV

D4508

D212

Kooomuse e teande vö imsus sead mete juhti

Kooomuse v öimsus juh timisel (kW)

Mõlema radiaatori siserelee OFF-seis korral jääb kooomuse etteande võim

F= D212

Kooomuse v öimsus juh timisel (kW)

D220 F0,000-st

(M220)

Etteantud kooomuse 0 kW korral sisse lül

Kooomuse etteande väärtusel 0kW lülitatakse sisse PLC sisene rele M220

F> D212

Kooomuse v öimsus juh timisel (kW)

D220 F0,000-st

F<= D212

Kooomuse v öimsus juh timisel (kW)

D222 F0,100-st

(M221)

PLC sisene rele kooomuse vahemikul 0kW-

Kooomuse etteande vahemikus 0-0,1 kW lülitatakse sisse rele M221

F> D212

Kooomuse v öimsus juh timisel (kW)

D222 F0,100-st

F<= D212

Kooomuse v öimsus juh timisel (kW)

D224 F0,200-st

(M222)

PLC sisene rele ette kooomuse vahem

Kooomuse etteande vahemikus 0,1-0,2 kW lülitatakse sisse rele M222

F> D212

Kooomuse v öimsus juh timisel (kW)

D224 F0,200-st

F<= D212

Kooomuse v öimsus juh timisel (kW)

D226 F0,300-st

(M223)

PLC sisene rele ette kooomuse vahem

Kooomuse etteande vahemikus 0,2-0,3 kW lülitatakse sisse rele M223

F> D212

Kooomuse v öimsus juh timisel (kW)

D226 F0,300-st

F<= D212

Kooomuse v öimsus juh timisel (kW)

D228 F0,400-st

(M224)

PLC sisene rele ette kooomuse vahem

Kooomuse etteande vahemikus 0,3-0,4 kW lülitatakse sisse rele M224

F> D212

Kooomuse v öimsus juh timisel (kW)

D228 F0,400-st

F<= D212

Kooomuse v öimsus juh timisel (kW)

D230 F0,500-st

(M225)

PLC sisene rele ette kooomuse vahem

Kooomuse etteande vahemikus 0,4-0,5 kW lülitatakse sisse rele M225

F> D212

Kooomuse v öimsus juh timisel (kW)

D230 F0,500-st

F<= D212

Kooomuse v öimsus juh timisel (kW)

D232 F0,600-st

(M226)

PLC sisene rele ette kooomuse vahem

Kooomuse etteande vahemikus 0,5-0,6 kW lülitatakse sisse rele M226

F> D212

Kooomuse v öimsus juh timisel (kW)

D232 F0,600-st

F<= D212

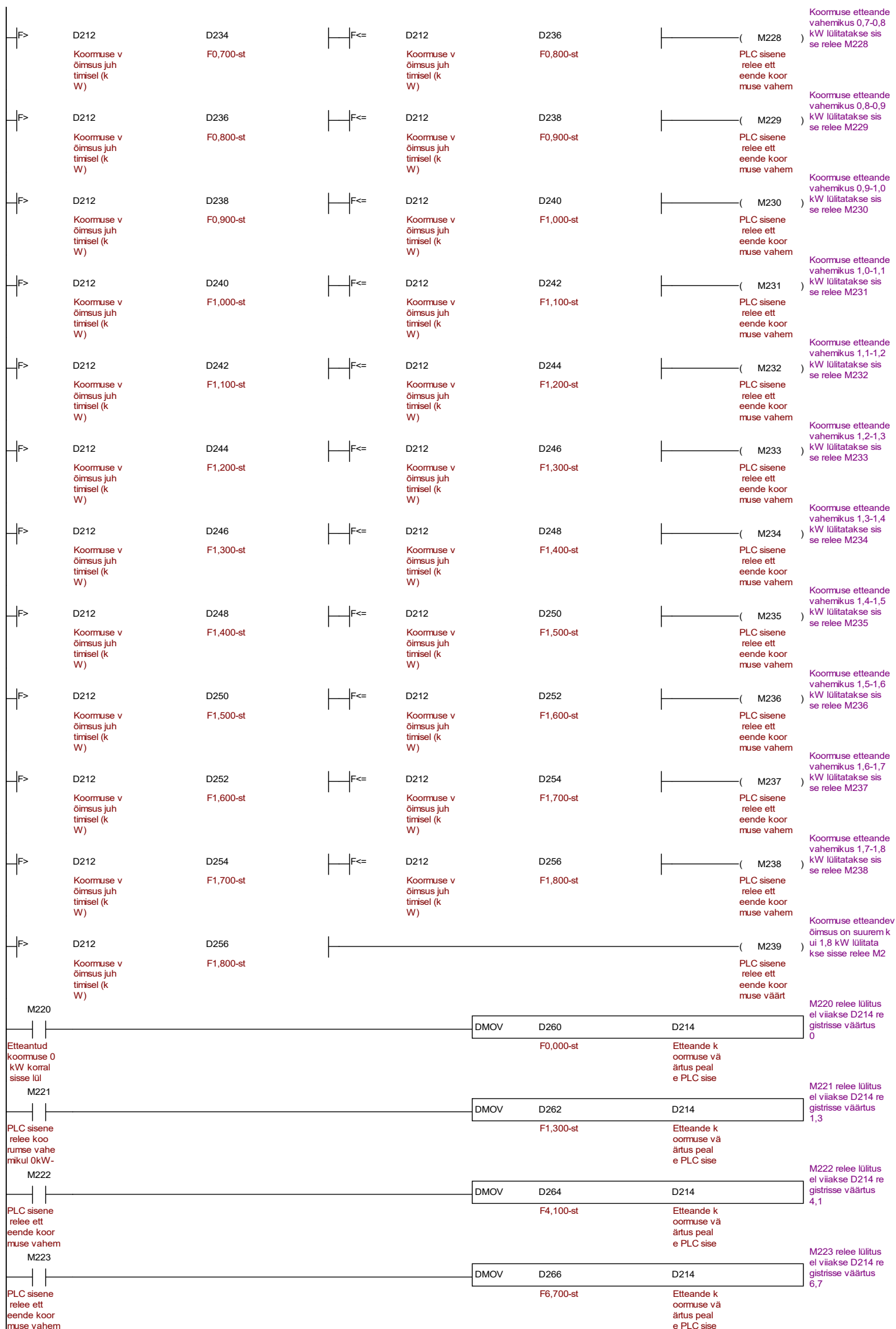
Kooomuse v öimsus juh timisel (kW)

D234 F0,700-st

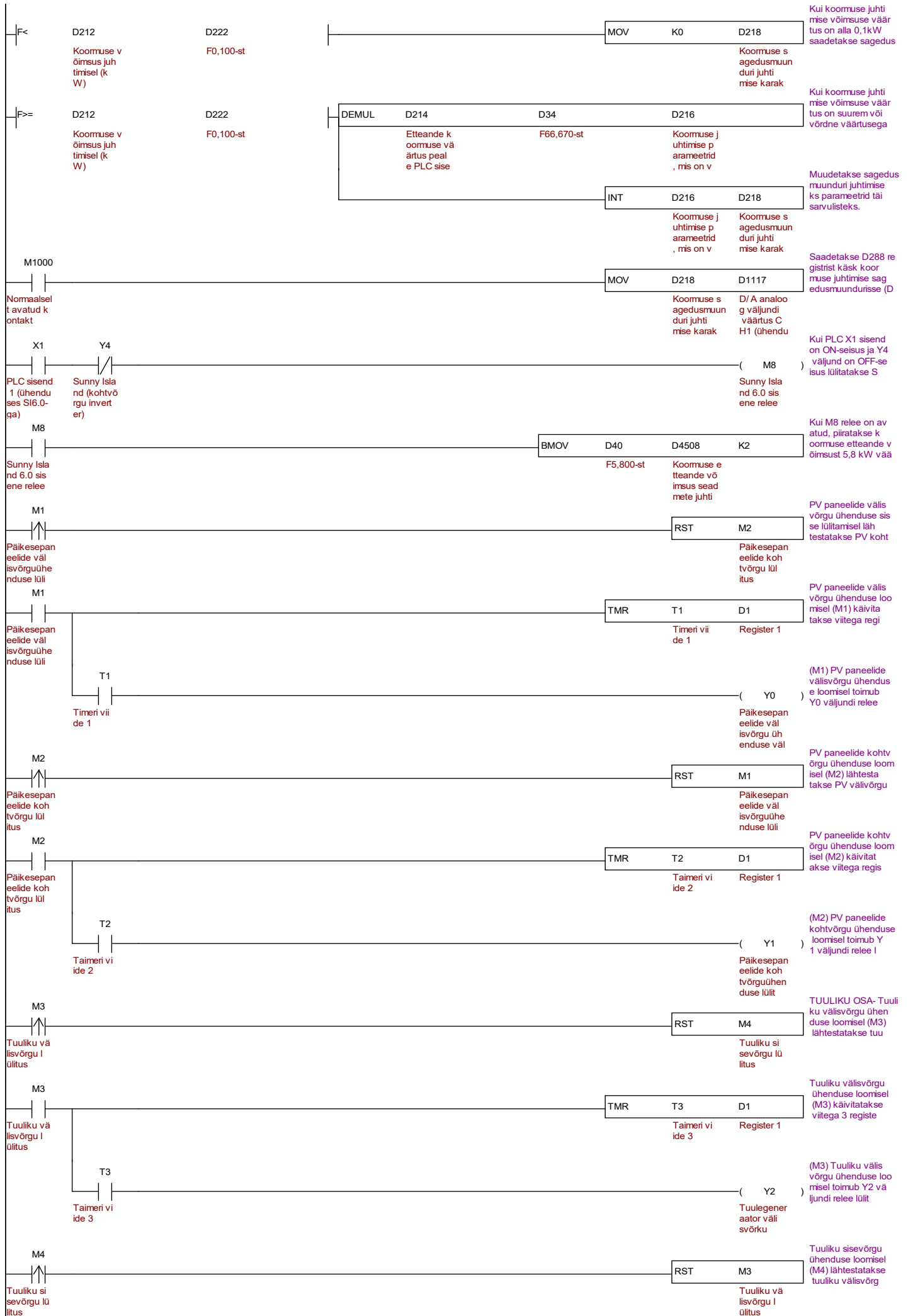
(M227)

PLC sisene rele ette kooomuse vahem

Kooomuse etteande vahemikus 0,6-0,7 kW lülitatakse sisse rele M227



M224	PLC sisene relee ett eende koor muse vahem	DMOV	D268	D214	M224 relee lülitus el viaakse D214 re gistrisse väärtus 9,4
M225	PLC sisene relee ett eende koor muse vahem	DMOV	D270	D214	M225 relee lülitus el viaakse D214 re gistrisse väärtus 12,0
M226	PLC sisene relee ett eende koor muse vahem	DMOV	D272	D214	M226 relee lülitus el viaakse D214 re gistrisse väärtus 14,6
M227	PLC sisene relee ett eende koor muse vahem	DMOV	D274	D214	M227 relee lülitus el viaakse D214 re gistrisse väärtus 17,2
M228	PLC sisene relee ett eende koor muse vahem	DMOV	D276	D214	M228 relee lülitus el viaakse D214 re gistrisse väärtus 20,1
M229	PLC sisene relee ett eende koor muse vahem	DMOV	D278	D214	M229 relee lülitus el viaakse D214 re gistrisse väärtus 22,9
M230	PLC sisene relee ett eende koor muse vahem	DMOV	D280	D214	M230 relee lülitus el viaakse D214 re gistrisse väärtus 25,4
M231	PLC sisene relee ett eende koor muse vahem	DMOV	D282	D214	M231 relee lülitus el viaakse D214 re gistrisse väärtus 28,1
M232	PLC sisene relee ett eende koor muse vahem	DMOV	D284	D214	M232 relee lülitus el viaakse D214 re gistrisse väärtus 30,8
M233	PLC sisene relee ett eende koor muse vahem	DMOV	D286	D214	M233 relee lülitus el viaakse D214 re gistrisse väärtus 33,7
M234	PLC sisene relee ett eende koor muse vahem	DMOV	D288	D214	M234 relee lülitus el viaakse D214 re gistrisse väärtus 36,4
M235	PLC sisene relee ett eende koor muse vahem	DMOV	D290	D214	M235 relee lülitus el viaakse D214 re gistrisse väärtus 39,3
M236	PLC sisene relee ett eende koor muse vahem	DMOV	D292	D214	M236 relee lülitus el viaakse D214 re gistrisse väärtus 42,0
M237	PLC sisene relee ett eende koor muse vahem	DMOV	D294	D214	M237 relee lülitus el viaakse D214 re gistrisse väärtus 44,9
M238	PLC sisene relee ett eende koor muse vahem	DMOV	D296	D214	M238 relee lülitus el viaakse D214 re gistrisse väärtus 47,6
M239	PLC sisene relee ett eende koor muse väärt	DMOV	D298	D214	M239 relee lülitus el viaakse D214 re gistrisse väärtus 50,6





Lisa H. Kommenteeritud PLC2 loogikakontrolleri juhtprogramm

M1002

PLC käivitades, initseerib registreid (või)

MOV H1030 D0
H1030-st

Väärtuse liigutamine registrisse

MOV K5 D1

Taimerit ajaline väärtus, K5-st

Väärtuse liigutamine registrisse

MOV K5 D2

K5-st

Väärtuse liigutamine registrisse

MOV K5 D3

Taimerit väärtus, K5-st

Väärtuse liigutamine registrisse

DMOV F16,700 D10

F16,7-st

Väärtuse liigutamine registrisse

DMOV F100,000 D12

F100,00-st

Väärtuse liigutamine registrisse

DMOV F999,000 D14

F999,000-st

Väärtuse liigutamine registrisse

DMOV F0,005 D16

F0,005-st

Väärtuse liigutamine registrisse

DMOV F0,033 D18

F0,033

Väärtuse liigutamine registrisse

DMOV F0,050 D20

F0,050-st

Väärtuse liigutamine registrisse

DMOV F23,040 D22

F23,04-st

Väärtuse liigutamine registrisse

DMOV F15,000 D24

F15,000-st

Väärtuse liigutamine registrisse

DMOV F0,000 D26

F0,000-st

Väärtuse liigutamine registrisse

DMOV F41,000 D28

F41,000-st

Väärtuse liigutamine registrisse

DMOV F44,000 D30

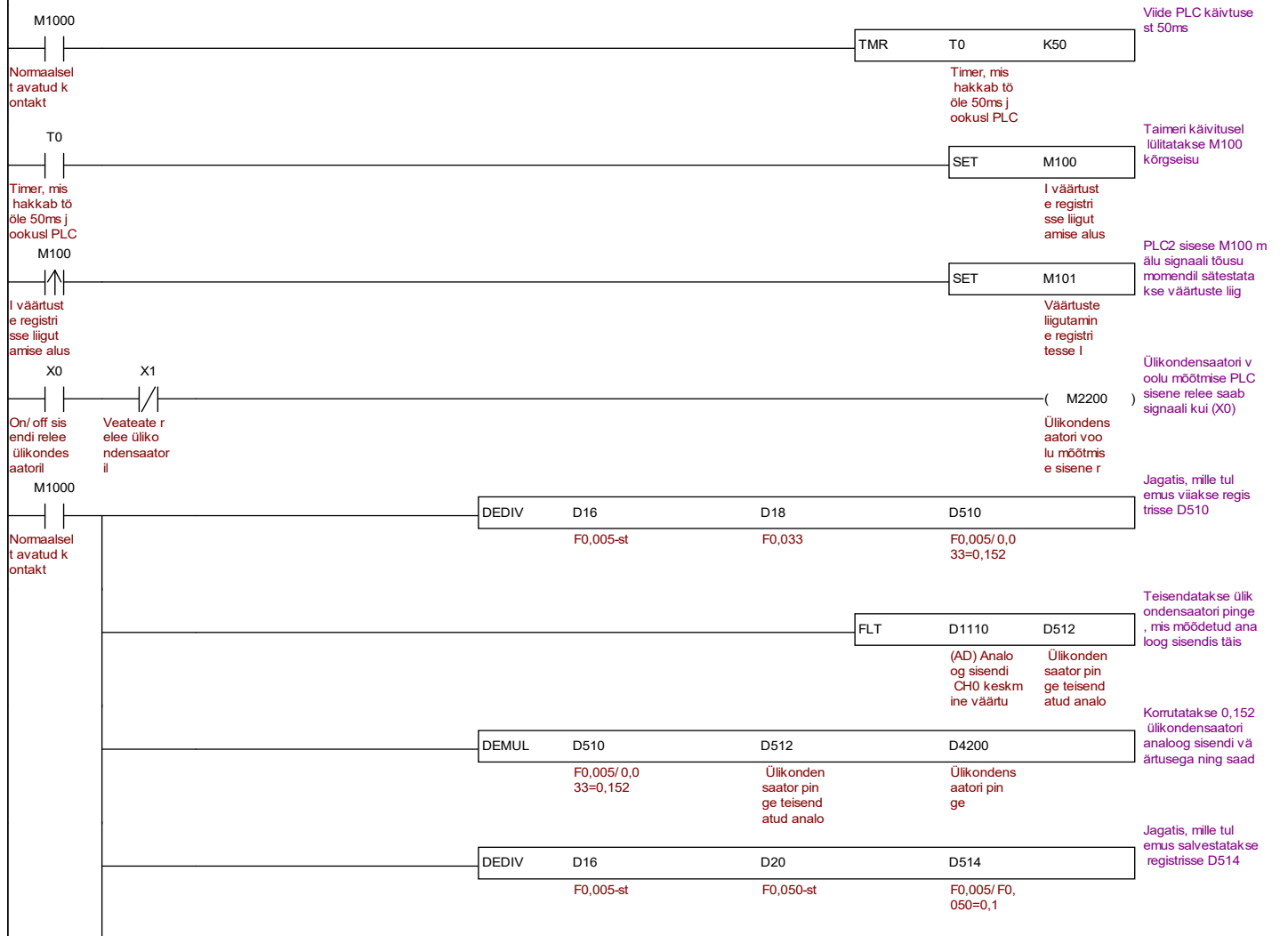
F44,000-st

Väärtuse liigutamine registrisse

DMOV F13,000 D32

F13,000-st

Väärtuse liigutamine registrisse



FLT D1111 D516

Teisendatakse ülikondensaatori vool, mis mõõdetud PLC analoogsisendi CH1

(AD) Analoo sisendi CH1 kesmine väärtus
Ülikondensaatori vooli täisarvulisele kujule

M2200

Ülikondensaatori voolu mõõtmise sisene r

DEMUL D514 D516 D4202

F0,005/ F0,050=0,1
Ülikondensaatori vooli täisarvulisele kujule

Ülikondensaatori voolu analoogisisendi otstel on korvutatud konstandiga

M2200

Ülikondensaatori voolu mõõtmise sisene r

DMOV D26 D4202

F0,000-st

Juhul, kui ülikondensaatori mõõtel (M2200) ei ole avatud, viiakse väärtus nulliks

DEMUL D4200 D4200 D518

Ülikondensaatori pinged
Ülikondensaatori pinged
Ülikondensaatori pinged ruudus?

Korvutatud omavahe ülikondensaatori pinged ja tulemus eks saadud pinged

DEDIV D518 D22 D4204

Ülikondensaatori pinged ruudus?
F23,04-st
Ülikondensaatori laetuse aste

Ülikondensaatori pinged ruut jagatuna 23,04 saadakse ülikondensaatori laetuse aste

F>=

D4200 Ülikondensaatori pinged

D30 F44,000-st

RST M12

Ülepinge PLC sisene rele

Juhul kui kondensaatori pinged on suurem või võrdne 44 voldiga lähtestata

F<

D4200 Ülikondensaatori pinged

D28 F41,000-st

SET M12

Ülepinge PLC sisene rele

Juhul kui kondensaatori pinged on väiksem kui 41 V, antakse signaal PLC

F<=

D4200 Ülikondensaatori pinged

D34 F10,000-st

RST M13

Alapinge PLC sisene rele

Juhul kui ülikondensaatori pinged on väiksem või võrdne kui 10 V lähtetat

F>

D4200 Ülikondensaatori pinged

D32 F13,000-st

SET M13

Alapinge PLC sisene rele

Juhul kui ülikondensaatori pinged on suurem kui 13 V, antakse signaal PLC

M11 M12

Ülikondensaatori laadimine/ tühenemine

Ülepinge PLC sisene rele

M11 M13

Ülikondensaatori laadimine/ tühenemine

Alapinge PLC sisene rele

(M14)
Üle/ alapinge kontrolli PLC sisene rele

Juhul kui M12 või M13 (olukord ülepingest all ja alapingest üle) lülitat

M1000

Normaalselt avatud kontakt

MOV H33 D300

H33-st

Andmete salvestamine registrisse

M11

Ülikondensaatori laadimine/ tühenemine

MOV H37 D301

H37-st

Andmete salvestamine registrisse juhul, kui M11 on sulletud

M11

Ülikondensaatori laadimine/ tühenemine

MOV H38 D301

H37-st

Andmete salvestamine registrisse juhul, kui M11 on avatud

MOV H30 D302

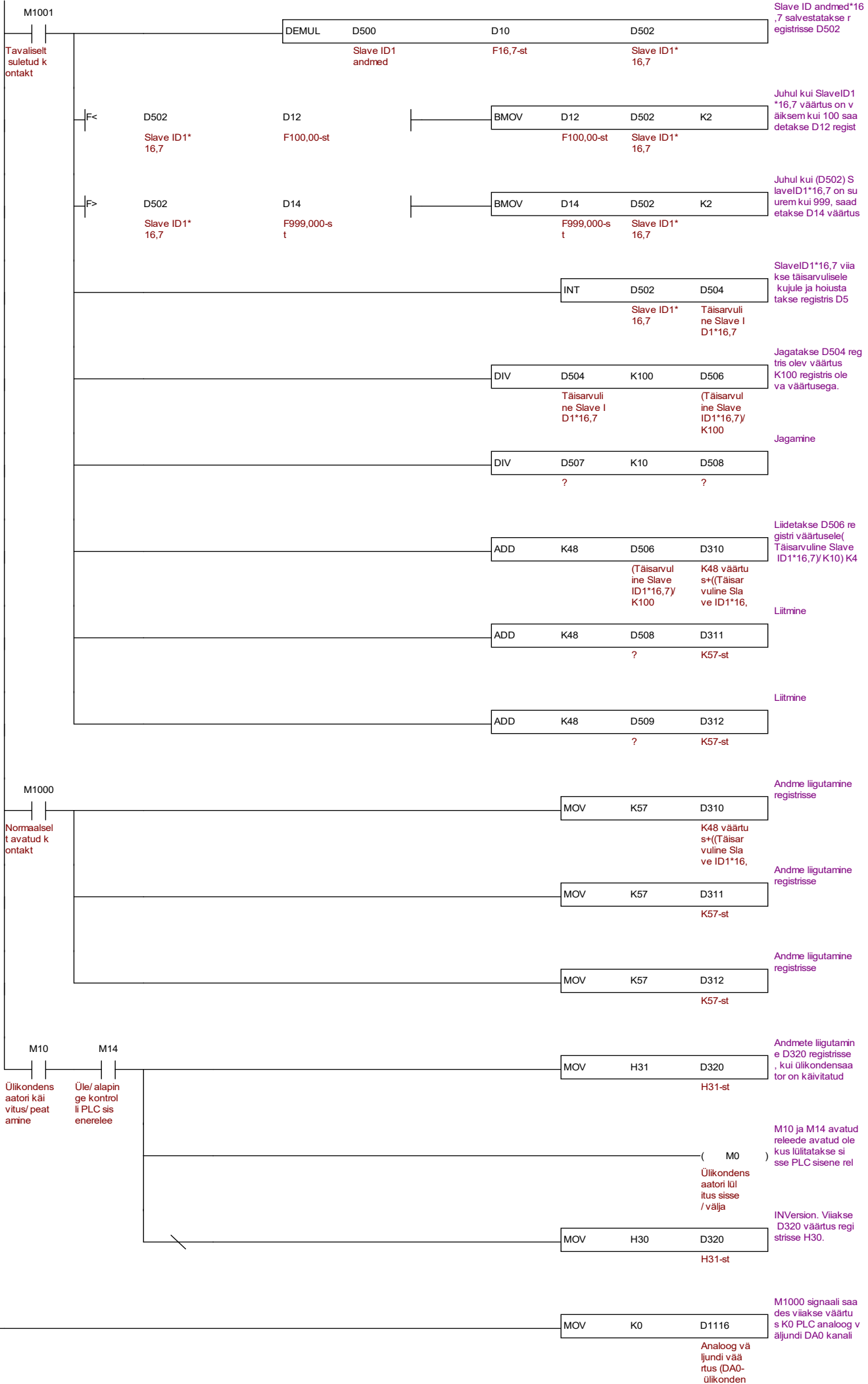
H30-st

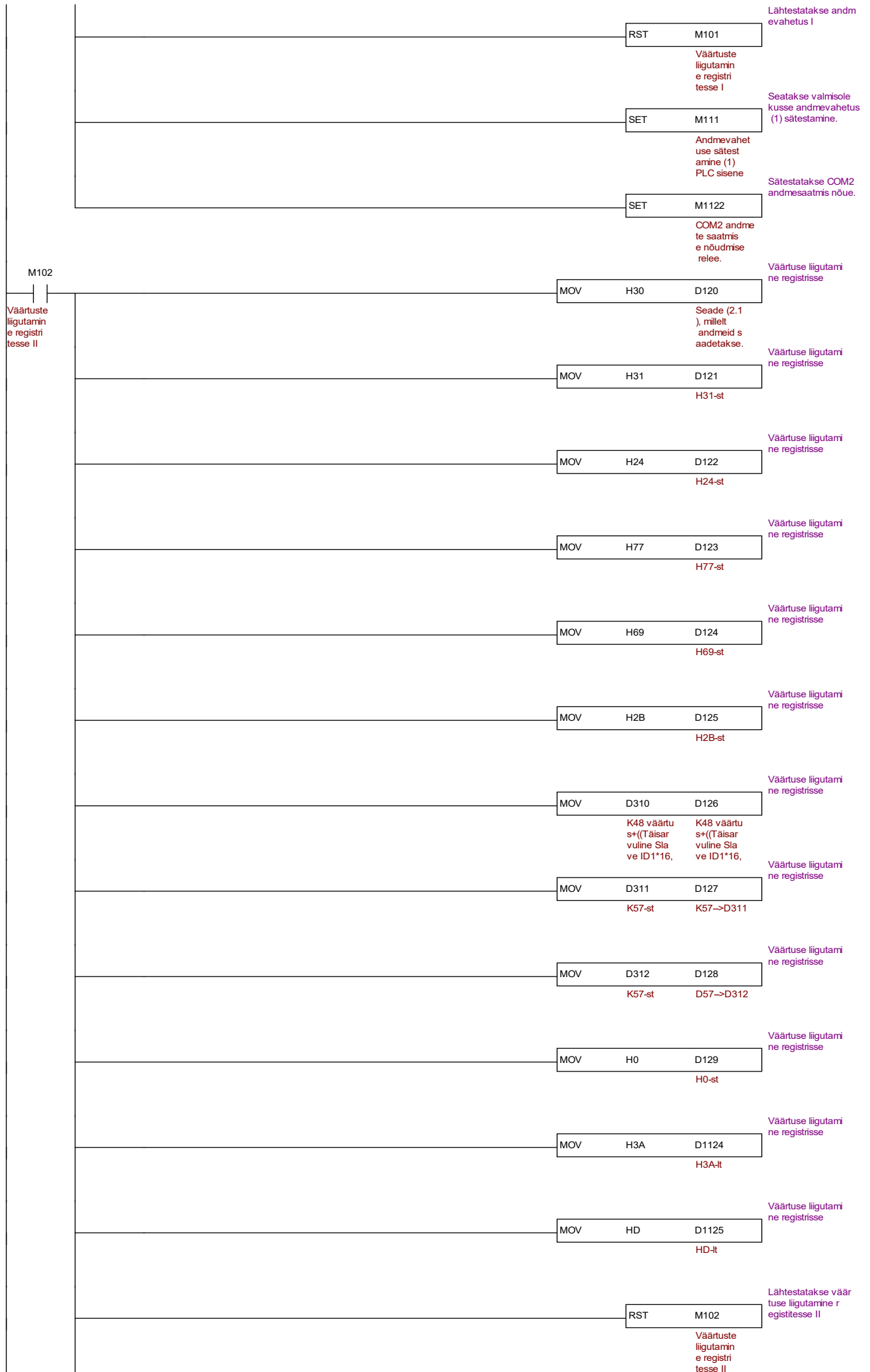
Andmete salvestamine registrisse

MOV H30 D303

H30-st

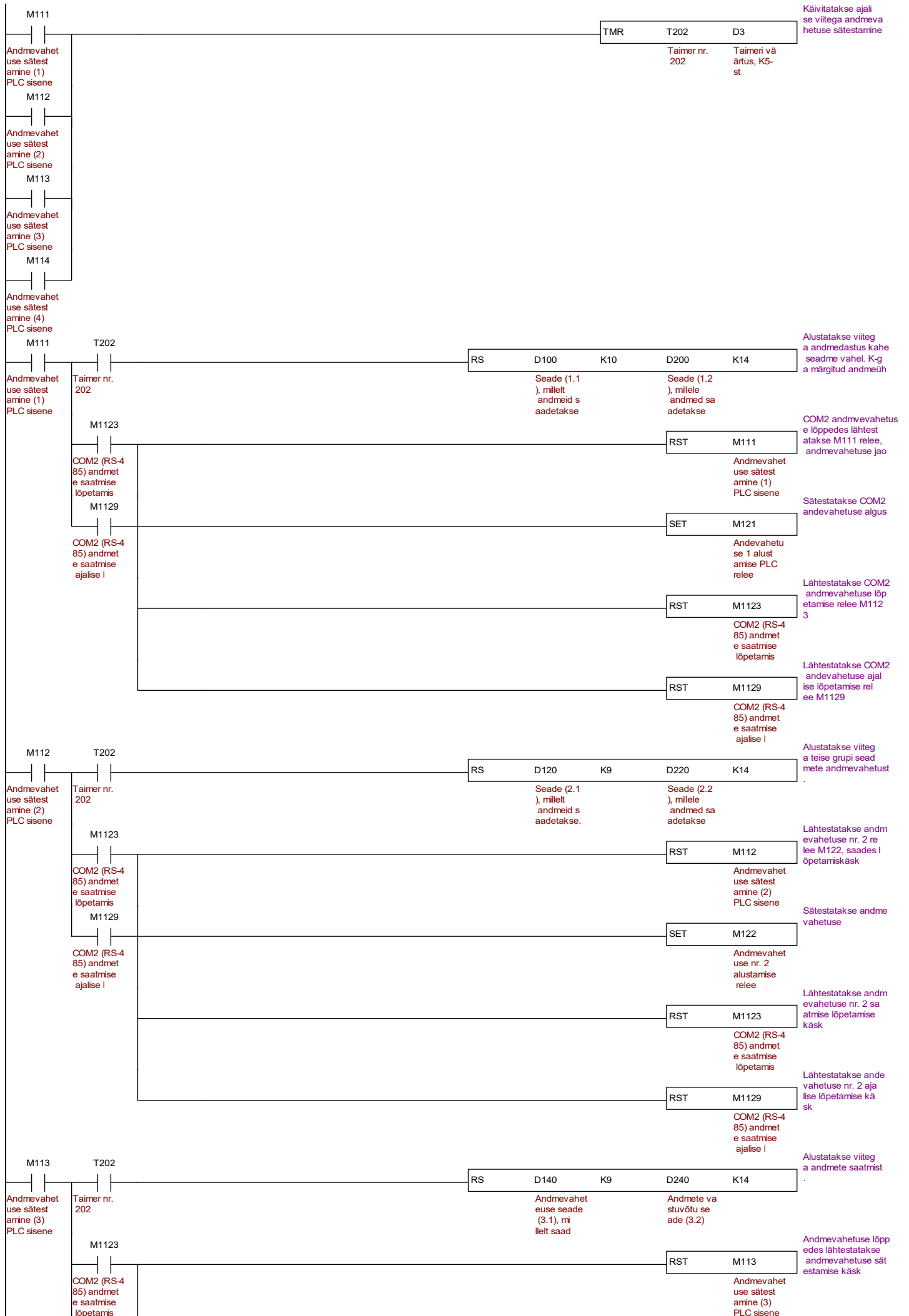
Andmete salvestamine registrisse

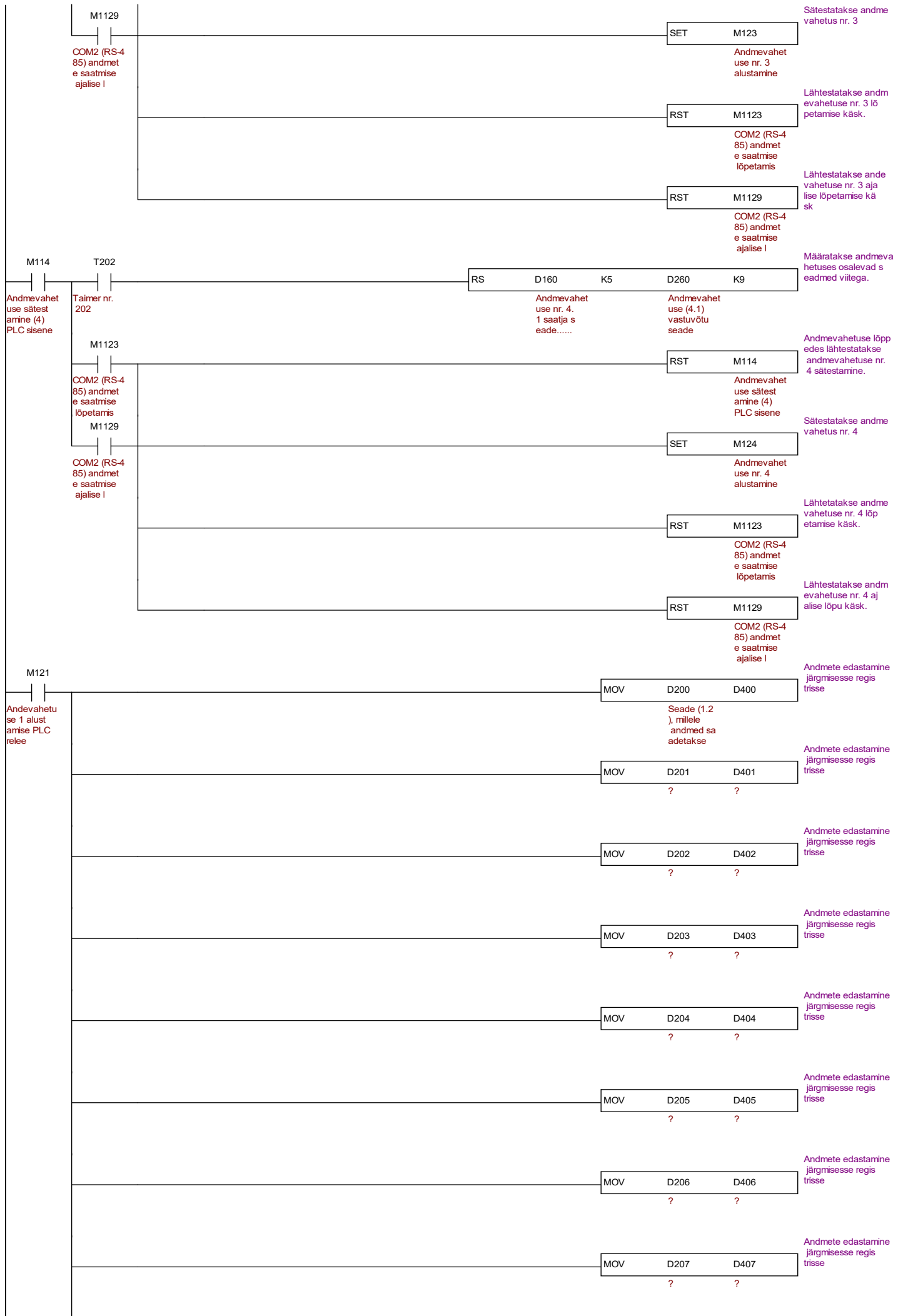












MOV D208 D408
? ?

Andmete edastamine järgmisesse regis trisse

MOV D209 D409
? ?

Andmete edastamine järgmisesse regis trisse

MOV D210 D410
? ?

Andmete edastamine järgmisesse regis trisse

MOV D211 D411
? ?

Andmete edastamine järgmisesse regis trisse

MOV D212 D412
? ?

Andmete edastamine järgmisesse regis trisse

MOV D213 D413
? ?

Andmete edastamine järgmisesse regis trisse

SET M102

Sätetatakse väärt usele liigutamise regis tris 2

Väärtuste liigutamine regis trisse II

RST M121

Lähteastatakse and mevahetus 1.?

Andevahetu se 1 alustamise PLC rele

MOV D220 D420
Seade (2.2), millele andmed sa adetakse

Andmete edastamine järgmisesse regis trisse

MOV D221 D421
? ?

Andmete edastamine järgmisesse regis trisse

MOV D222 D422
? ?

Andmete edastamine järgmisesse regis trisse

MOV D223 D423
? ?

Andmete edastamine järgmisesse regis trisse

MOV D224 D424
? ?

Andmete edastamine järgmisesse regis trisse

MOV D225 D425
? ?

Andmete edastamine järgmisesse regis trisse

MOV D226 D426
? ?

Andmete edastamine järgmisesse regis trisse

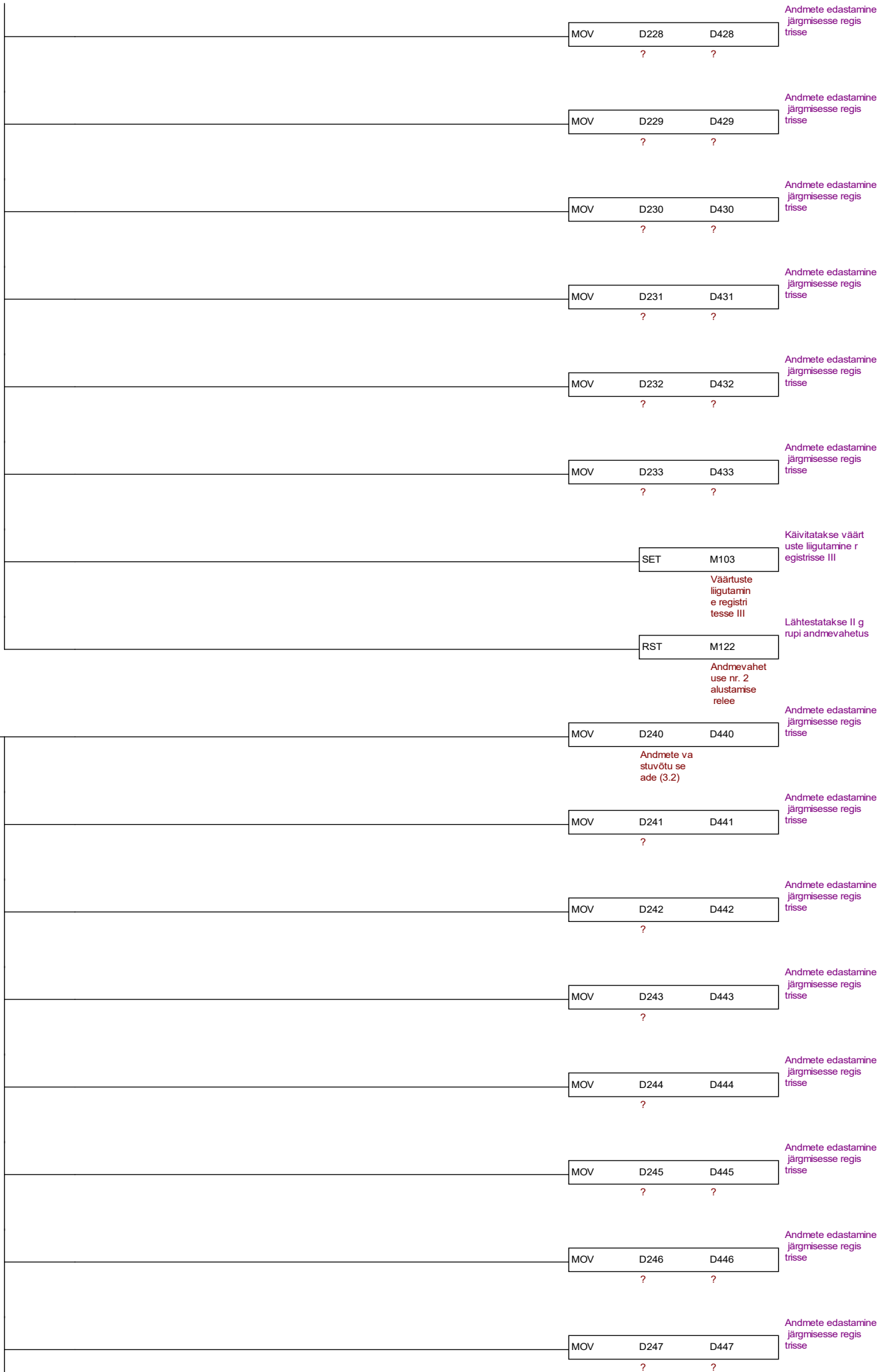
MOV D227 D427
? ?

Andmete edastamine järgmisesse regis trisse

M122

Andevahetu se nr. 2 alustamise rele

M123
Andmevahetus nr. 3
alustamine



M124
Andmevahetuse nr. 4 alustamine



MOV D268 D468
? ?

Andmete edastamine järgmisesse registrisse

MOV D269 D469
? ?

Andmete edastamine järgmisesse registrisse

MOV D270 D470
? ?

Andmete edastamine järgmisesse registrisse

MOV D271 D471
? ?

Andmete edastamine järgmisesse registrisse

MOV D272 D472
? ?

Andmete edastamine järgmisesse registrisse

MOV D273 D473
? ?

Andmete edastamine järgmisesse registrisse

SET M101

Alustatakse väärtuste liigutamist I grupi registritesse

RST M124

Väärtuste liigutamine registri tesse I

Lähtestatakse IV andmevahetuse alustamine

Andmevahetuse nr. 4 alustamine

M0
Ülikondensaatori lülitus sisse/välja
(Y0)
Ülikondensaatore on/off

M0 relee signaali saades antakse signaal PLC reele väljundile Y0, mis käivitab

M1
Ülikondensaatore vigade ennistus
TMR T1 D1
Taimer nr. 1 Taimeri ajaline väärtus, K5-st

Taimeri väärtuse tekitamine

T1
Taimer nr. 1
(Y1)
Ülikondensaatore ennistus

M1 relee signaali saades läbib vool taimerit T1, mis avab viitega PLC väljundit

END

Lõpp. Minnakse käsukodega, koodirealistusse.

Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Karl Randmaa,
sünniaeg 16/08/1991

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö **Digitaalelektronika labori arendus** (Development of Digital Electronics Laboratory), mille juhendaja on nooremteadur Erkki Jõgi,

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor

allkiri

Tartu, Juuni 2017

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)