



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

MOODULALAJAAMA SISEKLIIMA AUTOMAATIKA PROJEKTEERIMINE

INDOOR CLIMATE AUTOMATION DESIGN FOR A MODULAR SUBSTATION

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Aleksandr Bõstrov

Üliõpilaskood: 206862EAAB

Juhendajad: Anton Rassõlkin

Marek Mägi, Harju Elekter AS

Tallinn 2023

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." 2023

Autor: Aleksandr Bõstrov

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö esitatud nõuetele

"....." 2023

Juhendajad: Anton Rassõlkin

Marek Mägi

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."2023

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Aleksandr Bõstrov

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Moodulalajaama sisekliima automaatika projekteerimine“ näitel,

mille juhendajad on Anton Rassõlkin ja Marek Mägi,

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

18.05.2023

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

Autor: Aleksandr Bõstrov

Lõputöö liik: Bakalaureusetöö

Töö pealkiri: Moodulalajaama sisekliima automaatika projekteerimine

Kuupäev:
18.05.2023

72 lk (*lõputöö lehekülgede arv koos lisadega*)

Ülikool: Tallinna Tehnikaülikool

Teaduskond: Inseneriteaduskond

Instituut: Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

Töö juhendajad: Kaasprofessor tenuuris Anton Rassõlkin, PhD Marek Mägi

Töö konsultandid: Lauri Lindvere, Ragnar Johanson, Maksim Ivanov

Sisu kirjeldus:

Käesolevas bakalaureusetöös käsitletakse moodulalajaama sisekliima projekteerimist. Lõputöö eesmärgiks on luua erinevatest elektriseadmetest koosnev automatiseeritud kliimasüsteem, mis võimaldab aastaringset optimaalset kliima reguleerimist päikesepargi alajaama seadmeruumis. Selleks teostatakse soojusarvutused, mille põhjal valitakse kliimasüsteemi seadmestik, seejärel teostatakse juhtloogika algoritmi koostamine. Need on aluseks komplekteeritud prototüübi valmimisel tulevikus.

Märksõnad: sisekliima, automaatika, alajaam, projekteerimine, optimeerimine.

ABSTRACT

Author: Aleksandr Bõstrov

Type of the work: Bachelor Thesis

Title: Indoor climate automation design for a modular substation

Date: 18.05.2023

72 pages (the number of thesis pages including appendices)

University: Tallinn University of Technology

School: School of Engineering

Department: Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics

Supervisors of the thesis: Prof Anton Rassõlkin, PhD Marek Mägi

Consultants: Lauri Lindvere, Ragnar Johanson, Maksim Ivanov

Abstract:

The following bachelor's thesis describes the design of an indoor climate system for a modular substation. The aim of the thesis is to create an automated climate system consisting of various electrical devices, which enable year-round optimal climate regulation inside the device room of a solar park substation. For this purpose, thermal calculations are carried out, on the basis of which the air conditioning system's equipment is selected, then the control logic algorithm is created. These will form the foundation for the realisation of the complete prototype in the future.

Keywords: indoor climate, automation, substation, design, optimisation.

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema: **Moodulalajaama sisekliima automaatika projekteerimine**

Lõputöö teema inglise keeles: **Indoor climate automation design for a modular substation**

Üliõpilane: **Aleksandr Bõstrov, 206862EAAB**

Eriala: **Mehhatroonika**

Lõputöö liik: **Bakalaureusetöö**

Lõputöö juhendaja: **Anton Rassõlkin**

Lõputöö kaasjuhendaja: **Marek Mägi, elektriinsener, Harju Elekter AS,**
(ettevõtte, amet ja kontakt) **marek.magi@harjuelekter.com**

Lõputöö ülesande kehtivusaeg: 2023/2024 2023/2024 Sügis

Lõputöö esitamise tähtaeg: **18.05.2023**

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Õppekava juht (allkiri)

Kaasjuhendaja (allkiri)

1. Teema põhjendus

Antud lõputöö omab tänapäeva mõistes aktuaalset olulisust, sest selles käsitletakse üht roheenergia tarbijani toimetamise lüli. Roheenergia tootmisest ja omakorda jaotamisest on kujunemas globaalselt kriitiline vajadus nii Maailma kliimamuutuse kui ka vanamoodsete elektrienergia tootmisviiside kallinemise tõttu. Autori panus on universaalse lahenduse loomine ettevõttes toodetavale tüüptöötele, mis on mõeldud päikeseenergia jaotamisele.

2. Töö eesmärk

Töö eesmärgiks on projekteerida Kesk-Eestis kasutusele võetavale päikesepargi moodulalajaamale sisekliima automaatika lahendus, mille paindlikkus jätkaks võimaluse süsteemi lihtsaks täiendamiseks või võimekuse vähendamiseks, seeläbi säilitades universaalsuse omadust. Valmis projekt oleks tulevikus aluseks füüsilise prototüübi valmimiseks.

3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

- 1) Süsteemi võimekuse maht ja mastaapide arvutus
- 2) Sisekliima- ja automaatikaseadmete valimine
- 3) Juhtimisalgoritmi loomine
- 4) Eelprojekti koostamine

4. Lähteandmed

Lähteandmeteks on kliendimaterjalid ja ettevõtte toodete andmed, mis on saadud konsultandi käest. Samuti on tähtsateks sisenditeks moodulalajaama otstarbepõhised andmed nagu asukohal põhinevad kliimaparameetrid.

5. Uurimismeetodid

Töö tulemusteni jõutakse läbi andmete analüüsi, sinna hulka kuuluvad lähteandmetest tulenevad arvutused ja nende edaspidine töötlemine. Saadud tulemuste abiga modelleeritakse terviklik süsteem, mille kokkusobivusele teostatakse järelkontroll. Andmete töötlemiseks kasutatakse mitmeid ettevõttesisesi Exceli tabelarvutusi, dokumente ja spetsiaalseid tarkvarasid. Vajadusel kasutatakse ka avalikult kättesaadavaid kirjanduslike allikaid.

6. Graafiline osa

- 1) Tööpõhimõtte kirjelduse voodiagramm
- 2) Juhtimissüsteemi loogikaskeemid
- 3) Elektriskeemid

Märkus: Graafiline osa esineb nii põhiosas kui ka lisades.

7. Töö struktuur

- 1) Sissejuhatus ja teema ülevaade
- 2) Lähteandmed
- 3) Arvutused
- 4) Elektriseadmete valik
- 5) Juhtloogika algoritm
- 6) Elektriskeem
- 7) Tulemused ja kokkuvõte

8. Kasutatud kirjanduse allikad

Autor kasutas lõputöö koostamisel võrgust kättesaadavaid allikaid. Nende seas oli elektriseadmete andmelehti, projekteerimise juhendeid jm. Täpsem allikate nimekiri on esitatud kasutatud kirjanduse loetelus.

9. Lõputöö konsultandid

Lauri Lindvere, elektriinsener, Harju Elekter AS – mentor, abiks tööks vajalike tarkvaradega tutvumisel

Ragnar Johanson, elektriinsener, Harju Elekter AS – abiks tööks vajalike tarkvaradega tutvumisel

Maksim Ivanov, elektriinsener, Harju Elekter AS – abiks tööks vajalike tarkvaradega tutvumisel

10. Töö etapid ja ajakava

- 8) Lähteandmete kogumine: 31.11.2022
- 9) Arvutuste teostamine: 31.12.2022
- 10) Skeemide valmimine, simulatsioonid: 28.02.2023
- 11) Sissejuhatus ja põhiosa kirjutamine: 15.03.2023
- 12) Põhiosa ja järelduste kirjutamine: 20.04.2023

13) Töö esimene versioon valmis: 31.04.2023

14) Paranduste teostamine 10.05.2023

15) Töö lõplik versioon valmis: 16.05.2023

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE	4
ABSTRACT	5
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE	6
EESSÕNA	9
Lühendite ja tähiste loetelu	10
SISSEJUHATUS	11
1. TEEMA AKTUAALSUS	13
1.1 Turuuring	14
1.2 Turul pakutavad lahendused	15
1.3 Lähteandmed	17
1.4 Kliimasüsteemile esitatavad nõuded	22
2. PROJEKTEERITAV KLIIMASÜSTEEM	23
2.1 Soojuskadude ja kütteväärtuste arvutus	24
2.1.1. Küttevõimsuse arvutus	25
2.1.2. Jahutusvõimsuse arvutus	28
2.2 Kliimasüsteemi elektriseadmed	29
2.2.1 Kliimaseadmed	29
2.2.2 Siemens LOGO!	32
2.2.3 Kliima andurid	33
3. KLIIMASEADMETE JUHTIMINE	35
3.1 LOGO! FBD	38
3.1.1 Süsteemi rikkesignaalid	39
3.1.2 Tulekahju tuvastuse süsteem	40
3.1.3 Ventilaatori juhtimine	42
3.1.4 Põhi-õhksoojuspumpade juhtimine	43
3.1.5 Tagavara kliimaseadmete juhtimine	46
3.2 Elektriskeemid	49
4. TÖÖ TULEMUS JA EDASINE TEGEVUS	50
KOKKUVÕTE	51
SUMMARY	52
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	53
LISAD	55

EESSÕNA

Antud bakalaureusetöö on koostatud autori Aleksandr Böstrov poolt. Lõputöö teema oli valitud autori poolt ning selle lõplik sõnastus ja suund sai vormistatud kooskõlas juhendajatega. Töö koostati Tallinna Tehnikaülikooli tööruumides ja ettevõttes AS Harju Elekter, mis võimaldas kasutada tööks vajalikke vahendeid ning keskkonda töö eesmärgi teostamiseks.

Autor soovib lõputöö koostamisel tänada oma juhendajaid, kelleks olid Anton Rassõlkin ja Marek Mägi. Juhendajad aitasid autoril keskenduda erialaspetsiifilise teema käsitlemisele ning pakkusid nõuandeid töö täiustamiseks selle koostamise protsessi jooksul. Samuti soovib autor avaldada tänusõnu lõputöö konsultantidele Lauri Lindvere, Ragnar Johanson ja Maksim Ivanov.

Lühendite ja tähiste loetelu

FBD – Funktsionaalne plokkiagramm (inglise k. Functional block diagram)

PLC – Programmeeritav loogikakontroller (inglise k. Programmable logic controller)

SISSEJUHATUS

Nii tehnoloogia arengust, keskkonnamuutustest kui ka poliitilisest mõjust tingituna on maailmas aina enam populaarsemaks muutumas rohe- ja taastuvenergiaallikad. Nende arendamise ja laiema kasutuselevõtu peamisteks eesmärkideks on samm sammult loobuda klassikaliste fossiilkütuste põletamisest, vähendamaks ja kompenseerimaks inimtegevuse poolt atmosfääri eraldatavat CO₂ kogust, et seeläbi aeglustada globaalset kliimasoojenemise protsessi. Eesti Vabariik on seadnud omale sihiks jätkuvalt panustada antud valdkonda, tõstes samm-sammult taastuvenergiaallikate osakaalu riiklikus elektritoodangus [1]. Kõige tuntumateks ja kiiremini arenevateks taastuvenergiaallikateks võib pidada päikese- ja tuuleparke.

Käesoleva lõputöö eesmärgiks on projekteerida kuni 1 MW päikesepargi moodulalajaama sisekliima automaatika, mis juhib alajaama sisekliima süsteemi tagamaks alajaama sisestele muundur- ja energiajaotusseadmetele sobilike tööolusid ja nende efektiivset rakendamist vastavalt Eestis esinevatele temperatuurimuutustele kogu kalendriaasta jooksul. Lõputöö raames loodud lahenduste põhjal saab ettevõtte pakkuda paindlikku kliimasüsteemi erialajaamadele.

Lõputöö esimeses peatükis antakse ülevaade päikesepargi tüüplahenduste põhiosadest ning võrreldakse selle konfiguratsiooni ühe 'kõikehõlmava' mooduljaamaga, tuues esile võimalikud puudused ja eelised. Samuti tuuakse näide olemasolevast lahendusest uuemat tüüpi moodulalajaamale, kirjeldamaks projekteeritava toote uut põhimõtet. Seejärel esitatakse lähteparametrid ja nõuded projekteerimisele ja arendustele.

Teises peatükis näidatakse ära lähteülesandel põhinevad arvutused ja sellest tulenev elektriseadmete valik, mis hõlmab alajaama sisekliima süsteemi juhtimisseadmeid. Valitud seadmete puhul kirjeldatakse nende tööpõhimõtet ja võrreldakse neid alternatiivsete variantidega.

Kolmandas peatükis kavandatakse automaatikasüsteem, näidatakse ära selle tööpõhimõtte algoritmi-jooniste kujul, harutades need omakorda lahti mitmeks osaks, seletamaks eri tingimustele vastavaid reaktsioone. Parema ülevaate saamiseks on tööloogika kujutatud esialgu voodiagrammi näol, seejärel esitatakse loogikakontrolleri tarkvaraga koostatud programm. Samuti kirjeldatakse elektriskeemide abiga elektriseadmestiku omavahelist ühendust.

Neljandas ehk viimases peatükis tehakse kokkuvõtte tehtud tööst ning kirjeldatakse töö eesmärkide põhjal kujunenud tulemusi.

1. TEEMA AKTUAALSUS

Päikeseenergia toodang on tänapäeval üks kõige kiiremini arenevatest ja enam rakendatavatest taastuvenergia tootmise valdkondadest nii globaalses kui ka regionaalses kontekstis. See nähtub Eesti jaoks nii Euroopa Liidu ka kui ka riigi enda seatud sihtidest. Nimelt on Euroopa Komisjoni avalduse kohaselt eesmärgiks tõsta taastuvenergia osakaalu kogutarbimisest 32%-ni aastaks 2030, et liikuda kliimanetraalsuse saavutamiseni aastaks 2050 [1]. Seda on soosinud ülemaailmne vajadus nii nimetatud puhtamate energiatootmisviiside järele, millega tulidki ajapikku kaasa mitmed energiapoliitikaseadused, toetamaks antud valdkonna produktsiooni kasutusele võtmist. Mitmed riigid pakuvad päikeseenergia tootjatele eri hüvesid nt pargi ehituse toetamisel ergutusmaksudega. Lisaks on juba elementaarseks saanud võimalus müüa riigi üldvõrku päikesepargis toodetud elektrienergiat, mida võib ka väikese koduse päiksepargi omanik teha, omades selleks vajalikke eeldusi [2]. Päikeseenergia populariseerimisele aitab muidugi kaasa ka üldine tehnoloogia areng, mis toob turule aina rohkem ettevõtteid, mis lõppkokkuvõttes omakorda muudab tehnilised lahendused lõpptarbijale laiemalt kättesaadavamaks. Seejuures proovitakse olemasolevat tehnoloogiat rakendada erinevatel viisidel, mistõttu jõuab tarbijani ka laiem valik tooteid, mida saab vastavalt isiklikele nõuetele ja vajaliku mahu põhjal omale välja selekteerida.

Kui rääkida suurematest päikseparkidest, mis on mõeldud enamaks kui ühe majapidamise ülalhoidmiseks, seega näiteks elektrivõrgu varustamiseks, siis taolise rajatise konfiguratsiooni võib jagada 4-põhiosaks, kui alustada (päikese-)valguse vastuvõtmisest ja lõpetada selle võrku edastava liidesega. Esmalt neelavad päikesekiirgust fotogalvaanilistest elementidest koosnevad päikesepaneelid, mis muundavad saadud energiat elektrienergiaks. Päikesepaneeli ühendatakse tavakorras üksteise järel jadamisi ning nendest saadud alalisvoolu edastatakse kaablite kaudu päikeseenergiamuundurisse. Muunduriteks võivad olla vastavalt nimivõimsusele kas üks või mitu väiksemast gabariidist muundurkappi või kuni mitme meetri laiuste ja kõrguste madalpingekappideni, mis hõlmavad endas korraga kõiki päiksepargis toodetud elektrienergia töötlemiseks vajalikke muundureid. Muundurite abiga toimub alalisvoolu muundamine vahelduvvooluks ja võrguühendusele vastavaks nimipingeks, sest päikesepaneelidelt saadud pinge jääb madalpinge mastaabi vahemikku.

Päikeseenergiamuundurite poolt muundatud elektrienergia koondatakse tavakorras kokku madalpingeseadmes, seejärel olenevalt päiksepargi toodetud võimsuse mahust toimub elektrienergia muundamine sellele vastava jõutrafo(de) abiga, kust edastatakse

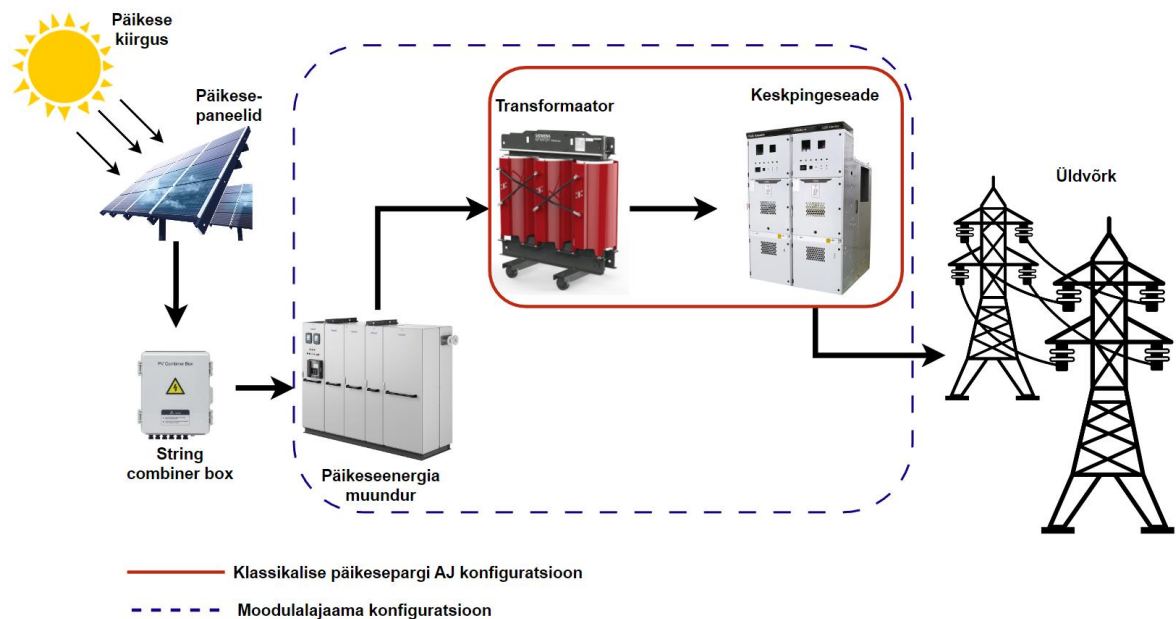
energia kõrgepinge kaablite kaudu keskpingeseadmeni, mis omakorda on ühendatud elektrivõrguga. Süsteemi võivad kuuluda mitmed lisaseadmed, aga eelnevalt said nimetatud peamised osad. Päikseparkides enamasti paigutatakse mitmed põhiosad kokku alajaamadesse, mille gabariidid sõltuvad selles kasutatavate jõutrafo(de) ja elektriseadmestiku valiku järgi.

Märkimisväärseks võib klassikalise päikesepargi puhul pidada seda, et päikeseenergiamuundurid on paigutatud õue [3], seda enamasti päiksepaneelide alla varju. Päikese eest varjus olemine vähendab elektriseadmete ülekuumenemise riski, hoides seda eemal otsese päikeseikiirguse eest, kuid sellegipoolest võib ka varjus olla kõrge õhutemperatuur, mille eest kaitsmata jäämisel ei aita ka päikese eest peidus olemine [4]. Lisaks õhutemperatuurile võib väliskeskkonnas ette tulla teisi mõjutegureid, mis võivad negatiivselt mõjutada seadmestiku tööd, nende hulka võivad kuuluda nii looduslikud kui ka inimlikud faktorid.

1.1 Turuuring

Nagu eelnevaltki mainitud, käib tehnoloogia ja turu arenguga kaasas tehniliste lahenduste mitmekülgus. Päikeseenergia tootmise maailmas tõi see omakorda esile uue trendi kasutada päikeseenergiamuundureid alajaamade siseruumides, võrreldes elementaarseks saanud päiksepaneelide alla või mujale õues varju paigutamisele. Antud lahendus toob endaga kaasa mitmeid eeliseid, kuid vajab ka nüanside silmas pidamist ja korrektsete süsteemi ülesehitust vältimaks seadmestiku kahjustamist 'uutes' oludes.

Siseruumis kasutatava muunduri suureks eeliseks on kompaktse ja portatiivse päikesepargi alajaama kontseptsiooni loomine. Vanamoodsas päikesepargi alajaamagas (vt Joonist 1.1), mille põhiseadmeteks on jõutrafo ja keskpingeseade, paiknevad päikeseenergiamuundurid alajaamast eemal pargi eri osades. Kompaktne moodulalajaam (vt Joonist 1.1) koondab kõik need olulised lülid ühte kohta kokku, jättes kasutajale võimaluse soovi korral liigutada korraka kogu komplekti teise kohta, seda nii maismaa kui ka mere päikesepargi puhul. Moodulalajaama olemus lubab alajaama hoone projekteerimisel kasutada erinevaid konfiguratsioone, sealjuures variante, kus jõutrafo paikneb eraldi moodulhoones. 'Kõik ühes' kogumi järjekordseks mugavuseks on seadmestiku teenindamine, mis saab toimuda ühes kinnises ruumis ega vaja eri seadmete hoolduseks mööda päikeseparki edasi tagasi käimist.



Joonis 1.1. Moodulalajaama konfiguratsiooni võrdlus klassikalise päikesepargi alajaamaga

Siseruumi koondatud seadmestik võimaldab luua kontrollitud keskkonda seadmestiku tööd soosivate kindlate tingimustega. Päikeseenergiamuundurid on tavaliselt projekteeritud vastu pidama välitingimustes nii madalatel kui ka kõrgetel temperatuuridel, lisaks omavad nad tihtilugu tugevdatud korpuseid, mis on loodud kaitsma seadmeid sademete eest. Sellegipoolest tuleb arvestada, et ekstreemsete kliimaoludega (nt tormid või lumesadu) võivad seadmed sattuda täiendavasse ohtu, millega võivad kaasneda rikked töös ja täiendavad hoolduskulud.

Lisaks kaitsesele looduslikest võõrkehast, lisab päikesepargi alajaam täiendava kaitsekihi päikeseenergiamuundurile ka pahatahtliku inimtegevuse eest. Võrdlemisi kalli elektronika paigutamisel piiramata õuealale tuleb paraku arvestada võimalusega, et see võib langeda kas vandalismi või hoopiski varguse ohvriks, mistõttu tuleb ekstra turvalisuse aspekt igati kasuks. Päikesepargi ühe tähtsaima seadme kahjustus või kaotus tähendab peale varalise kahju seoses seadme endaga veel lisaks potentsiaalse energiavarustamise kadu, mis võib ahelareaktsioonina tuua kliendile või tarbija(te)le edaspidiseid ebamugavusi.

1.2 Turul pakutavad lahendused

Itaalia ettevõtte CR Technology Systems poolt on väljatöötatud universaalne päikesepargi konteinerlajaama lahendus (vt Joonist 1.2), mis täiskomplektina sisaldab keskpingseseadet, madalpingeseadet, trafot, jm. Lahenduse eesmärk on võimalikult

mugav ja valmis komplekteeritud alajaam, mida klient saab kasutada nii maismaa- kui ka merepääkseparkides. Kompaktse iseloomuga toode pakub lihtsamaid transportimisvõimalusi kogu süsteemile, võrreldes klassikaliste lahendustega, mida paigaldatakse ühte asukohta aastakümneteks. Antud lahenduse seadmestik on loodud töötama tingimustes $-5...+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ehk Eesti ilmastikuga võrreldes pigem lõunamaade oludes.



Joonis 1.2. CR Technology Systems moodulalajaam [5]

Eestisse analoogsel eesmärgil töötava lahenduse loomisel tuleks arvestada peaaegu kaks korda suurema aastase välitemperatuuri vahemikuga, arvestades võimalust temperatuuri tõusule suvel üle $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ning langusele talvel alla $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. See tähendab kindlat vajadust soojustatud hoone ja omapärase sisekliima süsteemi järele, sellele omakorda spetsiifilise juhtimissüsteemi loomisele. Samuti tuleb arvestada süsteemi efektiivset toimimist sõltuvalt asukoha kliima oludest. Selle puhul esinevaid nüansse arvesse võttes tasub mõelda üksikute lülide juhtimisloogikale ja käsitleda potentsiaalseid variante energia säästmiseks.

Hetkel turul olevad tüüptooted [5] on kasutusel pigem soojemates maades, kui võtta võrdluseks Eesti. See tähendab, et sealsed moodulalajaamad ja nende konstruktsioon on loodud vastu pidama teistsugustes tingimustes ning otsese lahenduse kasutuselevõtmine Baltimaades või Põhjamaades ilma vajalike muudatuste integreerimiseta osutub ebaefektiivseks. Selle põhjuseks on asjaolu, et soojades maades kasutusel olevad jaamad pole ettenähtud töötama madalates miinuskraadides, mis Eesti puhul on talvisel perioodil tavapärased. Madalate miinuskraadidega toimetulekuks on sisekliima kontekstis vaja tagada piisav küttevõimalus, mis tähendab kindla küttevõimsuse miinimumi garanteerimist. Sellisel juhul on lõppkokkuvõttes tegu süsteemiga, mis suudab kontrollida nii ülekuumenemist kui ka alajahtumist. Ülekuumenemise all mõeldakse siinjuures olukorda, kus siseruumi temperatuur ületaks seadmestiku optimaalseks tööks etteantud väärtusi. Alajahtumine tähendaks omakorda optimaalse töötemperatuuri vahemikust allapoole laskumist. Siseruumi madala

temperatuuri kontrollimata jätmise ei ohusta ainult aktiivsete seadmete komponentide tööd, vaid soodustab samuti niiskuse tekkimist ning seeläbi erinevate alajaama konstruktsiooni siseosade ja seadmete pindade korrodeerumist.

Lõputöö eesmärgiks on projekteerida moodulalajaamale efektiivne sisekliima süsteem koos juhtimisloogikaga, mis antud kavandi puhul omakorda võimaldavad optimaalsemat ja efektiivsemat päikseenergia tootmist ja selle võrra potentsiaalselt kiiremat investeringu ära tasumist päiksepargi omanikule või haldajale.

1.3 Lähteandmed

Käesoleva lõputöö eesmärgiks on projekteerida sisekliima süsteemi automaatika tüüplahendusega kuni 1 MW päikesepargi moodulalajaamale, mis sobiks rakendamiseks Kesk-Eestis. Eelnimetatud nõude täitmiseks on võetud arvesse Türi ilmajaama viimase 20 aasta jooksul mõõdetud kõige kõrgema ja kõige madalama välisõhu temperatuuri väärtusi (Tabel 1.1), käsitleva andmekogumi viimaseks loetud aastaks on 2021 [6]. Üksnes nimetatud väärtuste abiga on juba võimalik hinnata alajaama korpuse soojuslabilaskevõimet, ilma seadmete mõju arvestamata.

Tabel 1.1. Türi ilmajaamas viimase kuni 20 aasta mõõdetud ekstreemtemperatuuri väärtused

n aastate peale madalaim ja kõrgem välisõhu temperatuur (°C)					
n = 5 aastat		n = 10 aastat		n = 20 aastat	
Min	Max	Min	Max	Min	Max
-27,6	31,1	-30,1	32,2	-32,5	33,2

Kesk-Eestis paikneva Türi ilmajaama mõõdetud andmetest võib järeldada, et aja möödudes langeb aasta jooksul esinev miinimum ja maksimum temperatuuri vahemik. Sellegipoolest on arvestatud pikema perioodi jooksul mõõdetud väärtustega, sest tuleviku kliima võib olla ettearvamatu ning ületada lähimineviku jooksul mõõdetud tippväärtuste piire. Edaspidiste arvutuste teostamise eel on viimase 20 aasta ekstreemväärtused ümardatud täisarvuni, st miinimumiks loetakse -33 °C ja maksimumiks +33 °C. Võrdluseks on 2022 aasta jooksul mõõdetud Türi ilmajaamas miinimum õhutemperatuuriks -20,2 °C ning maksimumiks +32 °C [7].

Sisekliimat reguleerivate elektriseadmete valimisel tuleb edaspidi võtta arvesse ka alajaama seadmeruumi kuuluvat seadmestikku, millest tulenev soojuseraldus kokku liidetakse, et selle mõju edaspidi vajaliku jahutus- ja küttevõimsuse arvutuses

rehkendada. Seadmete soojuseralduse puhul on arvestatud selle tippväärtustega, mida saadakse kätte enim koormatud olukordades.

Moodulalajaam jaguneb kaheks seadmeruumiks, millest üks on loomuliku jahutusega traforuum ja teine on päikeseenergiamuundurit sisaldav seadmeruum (vt Joonis 2.1), mida sisekliima automaatika projekteerimisel käsitletaksegi (edaspidi nimetatud põhi-seadmeruumiks). Moodulalajaama ja sellest tulenevalt ka põhi-seadmeruumi dimensioonid on kohandatud kasutatava seadmestiku põhjal.

Põhi-seadmeruumi elektriseadmete koosseisu kuuluvad 1 MW päikeseenergiamuundur, keskpingeseade, omatarbekilp, kliimaseadmed ja muu väiksemate gabariitidega aparaat nagu lülitid, andurid jm. Päikeseenergiamuunduri puhul on tegemist suurima soojuseraldajaga alajaama siseruumis, tootja poolt märgitud 20% soojuskadu tähendab 1 MW tootmisvõimsuse puhul 20 kW mahus soojuseraldust [8], mis moodustab u 85% (vt alapeatükk 2.1.2) kogu põhi-seadmeruumi soojuseraldusest. Lisaks madalpinge –ja keskpingeseadmestikule on arvesse võetud ka seadmete vahelistest kaabeldusest tulenev soojuseraldus ning korpuse ventilatsiooniavadest tekkiva õhu sisse- ja väljavoolu mõjusid.

Vajaminevate jahutus –ja küttevõimsuse mahtude arvutamisel lähtutakse ka soovitud siseruumi kliimaparameetritest, mille vahe võrreldes pidevalt muutuvate väliskeskkonna väärtustega moodustabki tähtsa aluse arvutusprotsessis. Eelnimetatud siseruumi kliimaparameetrite all peetakse silmas siseruumi õhutemperatuuri ning niiskuse taset (%).

Minimaalse ja maksimaalse välisõhu temperatuuri all mõistetakse edaspidi aasta jooksul võimalikku kõige kõrgemat ja kõige madalamat esinevat väärtust (Tabel 1.2). Soovitud sisetemperatuuri all mõeldakse optimaalseid siseruumi õhutemperatuuri piirväärtusi. Õhuvahetuse tagamiseks siseruumis on alajaama seinale paigaldatud standardtootevaliku ventilaator.

Tabel 1.2. Arvestatavad väli –ja siseruumi õhutemperatuurid, õhuvahetus

Kirjeldus	Väärtus	Ühik
Minimaalne välitemperatuur	-33	° C
Maksimaalne välitemperatuur	33	° C
Soovitud sisetemp. kütmisel	15	° C
Soovitud sisetemp. jahutamisel	25	° C
Õhuvahetus siseruumis	0,03	m ³ /s
	54	m ³ /h

Konkreetseks eesmärgiks on hoida temperatuuri taset vahemikus +15...25 °C ja niiskuse taset alla 51%. Tegemist on ettevõtte juhenditel põhinevate parameetritega, millest lähtutakse analoogsete alajaama lahenduste projekteerimisel. Lühidalt öeldes projekteeritakse sisekliima juhtimissüsteem hoidmaks ruumis minimaalselt +15 °C ja maksimaalselt +25 °C. Nimetatud väärtuste valiku alusteks on eelkõige soov hoida seadmestikku optimaalsetes tööoludes, see tähendab ära hoida keskkonna oludest tingitud siseruumi elektriseadmete ülekuumenemist või alajahtumist.

Võttes arvesse Eestis esinevat kliimat võib eeldada, et maksimumväärtusega olukordi tuleb käsitleda enamasti suvel, miinimumi aga omakorda talvistel aegadel. Siiski ei saa jätta arvestamata erandolukordi, kus ilmastikuolud võivad hetke aastaaja suhtes väga ebastandardseteks pürgida. Seetõttu on üks projekteerimise tingimustest jätta kasutamata kalendripäevadel põhinevad taimerid, mis kuuluvad releelahenduste sekka. Selle eelduse põhjal tuleb luua võimalikult autonoomne lahendus, milles puudub sagedane või isegi haruldane vajadus inimese füüsilisele sekkumisele, eesmärgiga süsteemi ümberseadistada. Juhtimissüsteem peab võimaldama iseseisvat toimimist ka ebatavalistes olukordades.

Moodulalajaama korpuse gabariidid ja eri pindade parameetrid on esitatud tabelis 1.3.

Tabel 1.3. Moodulalajaama korpuse gabariidid ja eri pindade andmed

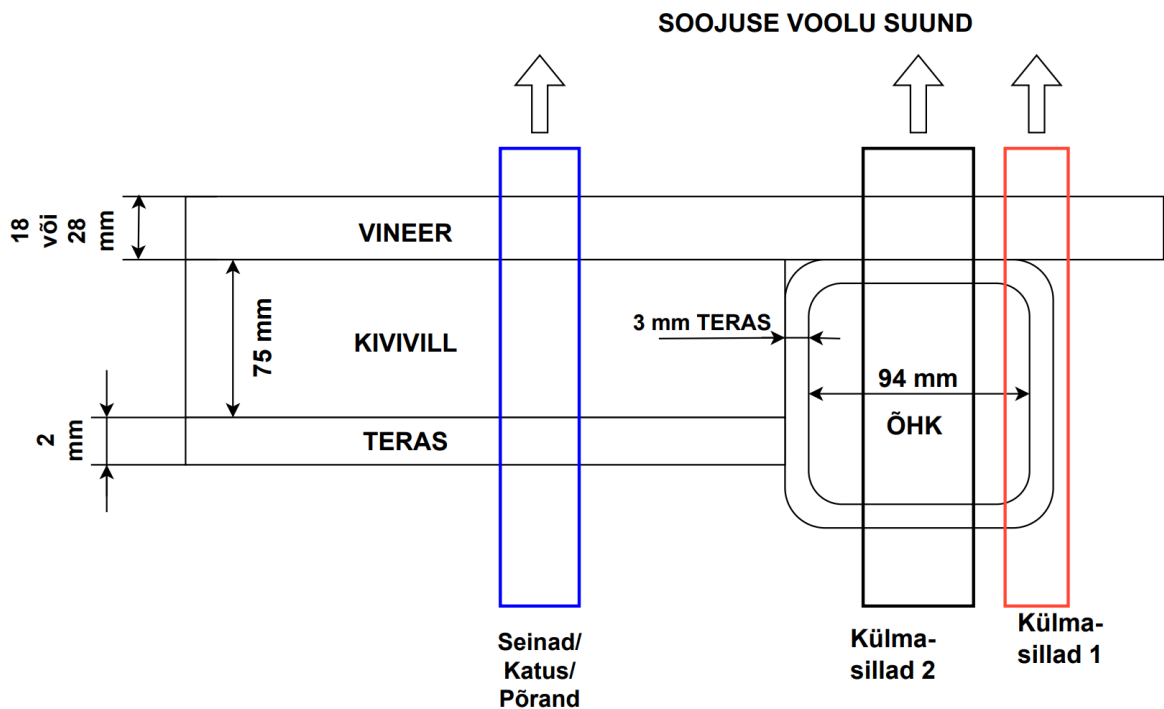
Kirjeldus	Mõõt	Ühik
Pikkus	9,2	m
Laius	3,36	m
Kõrgus	3,84	m
Ukse pindala	1,8	m ²
Külmasillad seintel-1	0,46	m ²
Külmasillad katusel-1	0,18	m ²
Külmasillad põrandal-1	0,10	m ²
Külmasillad seintel-2	7,22	m ²
Külmasillad katusel-2	2,79	m ²
Külmasillad põrandal-2	1,55	m ²

Moodulalajaama korpuse moodustavad paneelid (vt Joonist 1.3), mis koosnevad terasest, kivivillast ning vineerist. Materjalide paksus ja soojusjuhtivus [9] mängib rolli hoone termiliste omaduste määramisel. Külmasildade all on mõeldud karkassi torusid ja talasid, mis on valmistatud terasest ning seest tühjad ehk täidetud õhuga [10]. Külmasillad-1 käsitlevad talade metalloosa läbivat soojust, külmasillad-2 omakorda õhuga täidetud ja õhukest metalloosa läbivat soojust. Tabelis 1.4 on näidatud, mis mahus vaadeldakse nimetatud materjale konstruktsiooni osades.

Tabel 1.4. Materjalid konstruktsiooni paneelides (materjali kihtide paksus esitatud millimeetrites)

	Teras	Kivivill	Vineer	Õhk
Seinad	2	75	18	-
Katus	2	75	18	-
Põrand	2	75	28	-
K.S. Seintel-1	100	-	18	-
K.S. Katusel-1	100	-	18	-
K.S. Põrandal-1	100	-	28	-
K.S. Seintel-2	6	-	18	94
K.S. Katusel-2	6	-	18	94
K.S. Põrandal-2	6	-	28	94

Joonisel 1.3 on visualiseeritud, kuidas on järjestatud konstruktsiooni paneelide erinevad kihid ning milliste osade järgi arvestatakse iga komponendi soojusjuhtivust.



Joonis 1.3. Alajaama korpuse paneeli ehitus

Järgnevas tabelis 1.5 on toodud alajaama korpuse komponentide sise- ja välispindade temperatuurid sõltuvalt välioludest ja siseruumi kliima regulatsioonist. Temperatuuri-erinevused komponendi sisepinna ja välispinna vahel on arvestatud analoogse konstruktsiooni andmete põhjal. Kahe väärtuse vahe määrab mõju siseruumi soojenemisele kuumades ilmastikuoludes.

Tabel 1.5. Moodulalajaama korpuse pindade temperatuurid välispinnal ja sisepinnal

Pinna Kirjeldus	Välimise pinna T (°C)	Sisemise pinna T (°C)	ΔT (°C)
Seinad (varjus)	33	25	8
Seinad (päikese käes)	43	25	18
Katus (päikese käes)	58	35	23
Põrand	33	25	8
Uks	33	25	8
Külmasillad seintel-1	33	25	8
Külmasillad katusel-1	58	35	23
Külmasillad põrandal-1	33	25	8
Külmasillad seintel-2	33	25	8
Külmasillad katusel-2	58	35	23
Külmasillad põrandal-2	33	25	8

Tabelis 1.6 on toodud seadmeruumi elektriseadmete soojuskaod, lähteandmed on saadud konsultandi käest.

Tabel 1.6. Seadmete soojuskaod

Seade	Soojuskaod (kW)
Keskpingeseade	0,850
Madalpingeseade	20
Omatarbekilp	0,450
Kliimaseadmed	0,200
MP seadme kaablid	0,300
Lisavarustus	0,050

1.4 Kliimasüsteemile esitatavad nõuded

Järgnevalt tuuakse esile kliimasüsteemile esitatavaid nõudeid, vastavalt millele valis autor kliimasüsteemi kuuluvad elektriseadmed. Nõuete olemasolu annab aluse süsteemi eesmärkide mõistmisele ning seeläbi kergendab elektriseadmete valiku ja kokku sobitamise protsessi. Tabelis 1.7 on toodud elektriseadmete kategooriad ning neile esitatud tingimused. Nimetatud tingimused ei kehti vaid üksiku seadme suhtes, vaid võivad tähendada vajadust mitme erineva elektriseadme valikule samast kategooriast.

Tabel 1.7. Kliimasüsteemile esitatavad nõuded

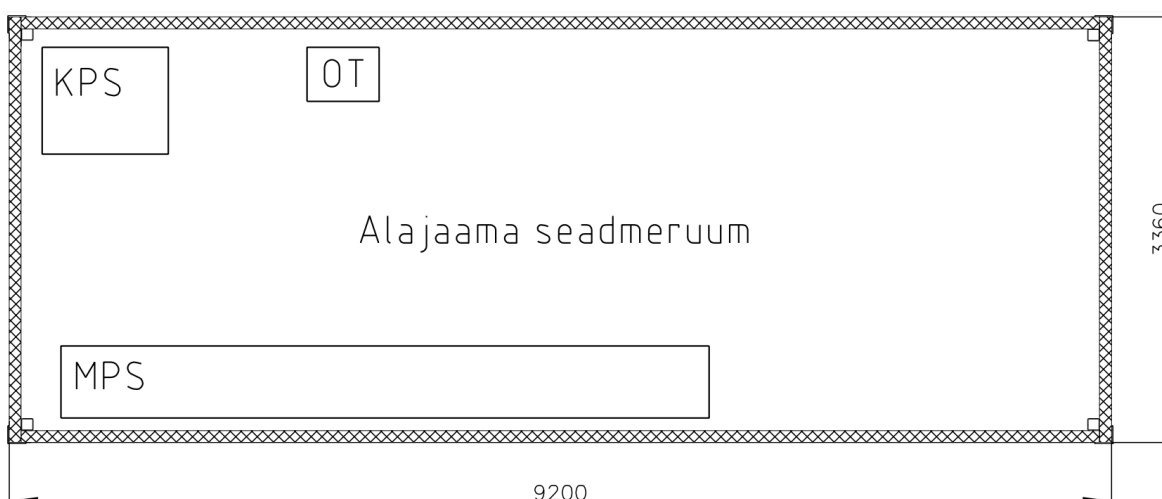
Elektriseadme kategooria	Tingimused
Kliimaseadmed	<ul style="list-style-type: none"> • Võimaldavad kütmist +15 °C-ni • Võimaldavad jahutamist +25 °C-ni • Tulevad toime ekstreemolukordades • Võimaldavad juhtimist
Juhtseade (kontroller)	<ul style="list-style-type: none"> • Võimaldab elektriseadmete ühildamist • Juhib kliimasüsteemi • Toide 24VDC • Võimaldab lisada laiendusmooduleid • Tarkvarasisene ümberseadistamise võimalus • Miinimum 12 digitaalsisendit ja 2 analoogsisendit • Miinimum 7 väljundit
Andurid	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatuuri mõõtmine sees • Temperatuuri mõõtmine õues • Niiskuse taseme mõõtmine sees

2. PROJEKTEERITAV KLIIMASÜSTEEM

Süsteemi ülesehituse näol on tegu projekti esimese sisumahuka osaga, mille eesmärk on eelkõige luua teoreetiline alus, et edaspidi välja selgitatud andmete ja välja valitud elektriseadmete põhjal oleks võimalik projekteerida ja arendada süsteemi tööloogika. Ülesehituse esimene osa on justnimelt teoreetiline, sest tegu on arvutusega, milles selgitatakse välja moodulalajaamas ettetulevad soojuskaod ja nende põhjal rehkendatakse lähteandmetest tulenevate eesmärkide saavutamiseks nõutud kütte- ja jahutusväärtused.

Arvutused on vajalikud saamaks aimu elektriseadmete vajalikust võimsusest ning süsteemi keerukuse mastaapidest. Vajalike parameetrite kättesaamisel on võimalik eelkõige asuda sobiva kliimaseadmetiku valikuni, seejuures tuleb lähtuda mitte ainult seadme võimekusest, vaid ka võimalusest siduda seadmeid ülejäänud süsteemi osadega, et igaüks neist töotaks tähtsa osana nii iseenda kui ka ümbritseva tehnika kontekstis. Selle eelduse põhjuseks on soov kasutada tööstuskontrollerit, mille juhtimisloogika täiendamiseks tuleb samuti keskenduda väiksemate seadmete valikule, milleks on andurseadmed ja väiksemad täiturseadmed.

Joonisel 2.1 on kujutatud käsitletavat seadmeruumi, millele kliimasüsteem projekteeritakse. Seadmeruumi energijaotusseadmeteks on päikeseenergiamuundur (madalpingeseade), keskpingseseade ja omatarbekilp.



KPS: Keskpingseseade
MPS: Madalpingeseade (PV muundur)
OT: Omatarbekilp

Joonis 2.1. Seadmeruumi energijaotusseadmete paigutus

2.1 Soojuskadude ja kütteväärtuste arvutus

Soojuskadude arvutus on kriitiline alus kliimasüsteemi projekteerimisel, sest see loob aktuaalsete väärtuste abiga arusaama käsitletavast olukorrast ning selle lahendamise variantidest. Arvutuse teostamisel lähtutakse ekstreemolukordade hinnangust mõlemas suunas, mis aitab välistada nii soovimata üledimensioneerimist kui ka aladimensioneerimist. Soojuskadude arvutuse eesmärgiks on hinnata soojuseraldust alajaama konstruktsiooni kaudu, et määrata nõuetele vastavate olude saamiseks vajaminevat minimaalset jahutus- ja küttevõimsust.

Jahutus- ja küttevõimsuste arvutamiseks kasutatakse parameetreid lähteandmete hulgast, et tuletada vajalikke väärtusi. Kõige põhjalikum arvutuskäik puudutab moodulalajaama korpust, mille puhul on vaja teada saada tema võime hoida endas soojust. Selleks tuleb lähtuda alajaama struktuuri komponentide mõõtmetest, mille kaudu saab arvutada nende pindala. Teades lisaks veel konstruktsiooni osade paksust on võimalik arvutada alajaama struktuuri komponentide soojuslähikandetegurit ehk U-väärtust. Pindala ja U-väärtuse olemasolul jääb arvutada sise- ja välistemperatuuri vahe, mis omavahel kokku korrutades näitavad ära võimalikku kadunud soojuste mahtu alajaama struktuuri kaudu.

Antud arvutuspõhimõtte kehtib nii küttevõimsuse kui ka jahutusvõimsuse leidmisel. Kahe arvutuse põhiline vahe tuleneb aga erinevatest temperatuuri vahemikest, mis eristuvad nii nimetatud ekstreemolukordade puhul. Tasub märkida, et sooja ilmaga vajaliku jahutusvõimsuse arvutuses arvestatakse kõige ebaefektiivseima stsenaariumiga, mille kohaselt eraldab kogu seadmestik oma maksimaalsed võimalikud soojuskadud, mis tähendab, et lisaks välisolude õhutemperatuuri ning päikesekiirguse mõjule, võib soojeneda siseruumi kliima ka toa enda sees oleva elektriseadmete töö tõttu, mis omakorda tähendab kõige suuremas mahus jahutamise vajadust. Külma ilma küttevõimsuse arvutuses on samuti arvestatud seadmeruumi elektriseadmete soojuskadudega, välja arvatud päikeseenergiamuunduri omadega.

2.1.1. Küttevõimsuse arvutus

Alajaama konstruktsiooni kaudu eraldatud soojuse kindlaks tegemiseks arvutatakse esimese sammuna komponentide U-väärtused [11].

U väärtus ehk soojusläbivus [$W/(m^2 * ^\circ C)$] arvutatakse:

$$U = \frac{1}{\sum R}, \quad (2.1)$$

kus $\sum R$ - summaarne soojustakistus.

Summaarne soojustakistus arvutatakse:

$$\sum R = R_S + R_M + R_V, \quad (2.2)$$

kus R_S - piirde sisepinna soojustakistus,
 R_V - piirde välispinna soojustakistus
 R_M - soojustakistus läbi materjali.

Soojustakistus R_M arvutatakse [12]:

$$R_M = \frac{s}{\alpha}, \quad (2.3)$$

kus s - materjali paksus, m,
 α - soojusjuhtivus, $W/(m^2 * ^\circ C)$.

Arvutuses on arvestatud soojustakistuse erisus olenevalt soojuse liikumise suunast (vt tabel 2.1) [13].

Tabel 2.1. Soojustakistuse koefitsient sõltuvalt soojuse liikumise suunast

Sisepind (R_S)			Välispind (R_V)		
Horisontaalne	Üles	Alla	Horisontaalne	Üles	Alla
0,13	0,1	0,17	0,04	0,04	0,04

Külmadel ilmadel soojuskadude arvutamiseks kasutatakse valemit [14]:

$$Q = U * A * \Delta T \quad (2.4)$$

Q - soojuskadu [W],
 U - komponendi U-väärtus, W/(m² * °C),
 A - komponendi pindala, m²,
 ΔT - sise- ja välitemperatuuride vahe, °C.

ΔT arvutatakse:

$$\Delta T = T_{sise} - T_{välis} \quad (2.5)$$

Alljärgnevalt arvutatakse summaarsed soojuskadud läbi alajaama komponentide (tabel 2.2)

Tabel 2.2. Soojuskadud alajaama konstruktsiooni komponentide kaudu kõige külmemates oludes

Komponent	Pindala (m ²)	U-väärtus (W/ m ² C)	Väli T	Sise T	ΔT (°C)	Soojuskadu Q (W)
Seinad	94,66	0,462	-33	15	48	2099
Katus	30,91	0,468				695
Põrand	30,91	0,440				653
Uks	1,8	1,56				135
Külmasillad seintel-1	0,46	3,42				76
Külmasillad katusel-1	0,18	3,82				33
Külmasillad põrandal-1	0,10	2,51				12
Külmasillad seintel-2	7,22	1,23				426
Külmasillad katusel-2	2,79	1,28				172
Külmasillad põrandal-2	1,55	1,09				81

$$Q_{hoone} = 4381 \text{ W}$$

Lisaks hoone konstruktsiooni osade kaudu eraldatud soojusele arvutatakse külmade ilmade korral potentsiaalset soojuskadu ruumi ventilaatori aktiivse töö tõttu. Selle all mõistetakse õuest sisse puhutud külma õhu mõju siseruumi soojemale õhule. Selleks arvutatakse ventilatsiooni töö tõttu kaotatud soojusmaht [15].

Ventilatsiooni tõttu kaotatud soojusmaht arvutatakse:

$$Q_{hs} = c \times \rho \times l \times \Delta T, \quad (2.6)$$

kus Q_{hs} – kaotatud soojusmaht ventilaatori kaudu, W,
 c – õhu erisoojus konstantsel rõhul 1006 [J / (kg* °C)],
 ρ – õhurõhk, kg*m³,
 l – õhuvool, m³/s.

$$Q_{hs} = 1006 \times 1,2 \times 0,015 \times (15 - (-33)) = 869 \text{ W}$$

Summeerides eraldatud soojused hoone ja ventilatsiooni kaudu saab tulemuseks summaarse soojuskao miinimum välisõhu temperatuuril, mis vajab kompenseerimist kliimasüsteemi poolt.

$$Q_{kogu} = Q_{hoone} + Q_{hs}, \quad (2.7)$$

kus Q_{kogu} - kogu kaotatud soojusmaht, W,
 Q_{hoone} - alajaama korpuse kaudu kaotatud soojusmaht, W.

$$Q_{kogu} = 4381 + 869 = 5250 \text{ W}$$

Alajaama töörežiimi ajal tuleb arvestada seadmeruumi elektriseadmete soojuskadudega, mis osaliselt kompenseerivad hoone korpuse kaudu kaotatud soojust. See tähendab töötavate elektriseadmete soojuskadude lahutamist viimasest tulemusest, saamaks lõplikku vajaminevat kütteväärtust külmadel talvistel ilmadel. Arvesse võetakse tabelis 1.6 seadmete esitatud soojuskadusid, välja arvatud madalpingeseadet, selle kaabeldusi ja kliimaseadmeid.

$$Q_{talv} = Q_{kogu} - Q_{seadmed}, \quad (2.8)$$

Kus Q_{talv} - lõplik vajaminev küttevõimsus talvistel ilmadel, W,
 Q_{kogu} - korpuse ja ventilatsiooni soojuseraldus, W,
 $Q_{seadmed}$ - pidevalt aktiivsetena arvestatud elektriseadmete soojuskad, W.

$$Q_{talv} = 5250 - 1350 = 3900 \text{ W}$$

2.1.2. Jahutusvõimsuse arvutus

Aasta kõige soojemate ilmade korral siseruumi temperatuuritõusu kompenseerimiseks arvutatakse maksimaalne vajalik jahutusvõimsus analoogselt küttevõimsuse arvutusmetoodikale. Eelnevas alapeatükis arvatud U-väärtused kanduvad lähteandmetena edasi järgnevasse arvutustesse. Esmalt arvutati alajaama konstruktsiooni elementide poolt neelatud ja kinnipeetud soojuse maht.

Tabel 2.3. Alajaama konstruktsiooni poolt neelatav soojuse maht kõige soojemates oludes

Komponent	Pindala (m ²)	U-väärtus (W/m ² C)	ΔT (°C)	Soojusmaht (W)
Seinad (varjus)	59,3	0,462	8	219
Seinad (päikese käes)	35,3	0,462	18	294
Katus (päikese käes)	30,912	0,468	23	333
Põrand	30,912	0,440	8	109
Uks	1,8	1,56	8	22
Külmasillad seintel-1	0,46	3,42	8	13
Külmasillad katusel-1	0,18	3,82	23	16
Külmasillad põrandal-1	0,10	2,51	8	2
Külmasillad seintel-2	7,22	1,23	8	71
Külmasillad katusel-2	2,79	1,28	23	82
Külmasillad põrandal-2	1,55	1,09	8	14

$$Q_{hoone} = 1174 \text{ W}$$

Soojade ilmade korral jahutusvõimsuse arvutamisel võetakse samuti arvesse ventilaatori mõju selle töörežiimis, mis antud juhul tähendab potentsiaalselt sooja õhu sissepuhumist jahedamasse ruumi. Ventilaatori mõju arvutatakse vastavalt valemile (2.6).

$$Q_{hs} = 1006 \times 1,2 \times 0,015 \times (33 - 25) = 145 \text{ W}$$

Vajaliku jahutusvõimsuse välja selgitamiseks summeeritakse hoone omadustest neelatavale soojusmahule ja ventilatsiooni mõjule juurde elektriseadmete soojuskadusid. Soojade ilmade arvutuse puhul võetakse arvesse kõikide seadmeruumi elektriseadmete soojuskadusid.

$$Q_{suvi} = Q_{hoone} + Q_{hs} + Q_{seadmed} \quad (2.9)$$

Kus Q_{suvi} - lõplik vajaminev jahutusvõimsus suvistel ilmadel, W,

Q_{hoone} - korpuse poolt neelatava soojuse maht, W,

Q_{hs} - ventilatsiooni poolt sissepuhutava sooja õhu mõju, W,

$Q_{seadmed}$ - elektriseadmete soojuskaod kokku, W.

Eelnevate tulemuste summeerimisel sai maksimaalse suvel vajamineva jahutusvõimsuse mahuks 23,2 kW. Vajaliku kütte- ja jahutusvõimsuse määramisel sai järgmise sammuna asuda kliimasüsteemi elektriseadmete valiku juurde.

2.2 Kliimasüsteemi elektriseadmed

Teoreetiliste arvutuste teostamise järel oli võimalik asuda spetsiifiliste kliimasüsteemi elektriseadmete valimise juurde. Sellesse valdkonda kuulub eri kategooriate seadmeid, mille valikut võib järjestada alustades suuremate gabariit-mõõtudega seadmetest, liikudes väiksemate, kuid mitte vähem tähtsama aparatuuri poole. Kõik valitud seadmed moodustavad ühe osa terviklikust süsteemist ning on mõeldud töötama teineteise kõrval ja toetusel. Süsteemi osadeks on peamiselt siseruumi temperatuuri reguleerivad kliimaseadmed, sise- ja välisolusid monitoorivad seadmed ehk enamjaolt andurid, süsteemi tööloogikat reguleeriv juhtimisseade, lisaks mõningad väiksemad täiturseadmed, mis samuti reguleerivad siseruumi kliimat.

Seadmevaliku juures lähtutakse vajalikust tehnilisest võimekusest ning võimalusest eksploateerida kõiki seadmeid soovitud viisil, milleks on nende omavahelise pideva 'koostöö' tagamine läbi projekteeritud juhtimisloogika, et luua võimalikult autonoomselt tegutsev üksus. Seadmete valik on tähtis faktor projekti eesmärkide täitmisel, millest üks on kavandada ettevõtte tüüplahenduste kõrvale alternatiiv, täpsemalt antud juhul tähendab see minimaliseerida alajaama omatarbe poolel releede kasutust, säästmaks omatarbekilbi sees ruumi ja laiendamaks süsteemi arenguvõimaluste paindlikkust.

2.2.1 Kliimaseadmed



Siseruumi kliimat reguleerivate seadmete põhiliseks kriteeriumiks on võimekus opereerida nii jahutamise kui ka kütmise režiimides. Kasutades üht tüüpi kliimaseadet kahe erineva kliima reguleerimise operatsiooni teostamiseks, on võimalik tagada rohkem ruumi seadmete paigutamiseks ning hoida süsteemi kogumahtu võimalikult väiksena. Aasta jooksul esinevate võimalike ilmastikuolusid ja nende vahet silmas

pidades on arvestatud, et põhilistele kliimaseadmetele (põhi-kliimaseadmete all mõistetakse edaspidi õhksoojuspumpasid) on potentsiaalselt vaja tagavara seadmeid välistemperatuuri vahemiku piirväärtustega hakkama saamiseks.

Käesoleval ajal kõige üldlevinumaks ja tehnilisest vaatepunktist paindlikumaks kliimaseadmeks võib pidada õhksoojuspumpa, mis nii nimetatud gaasilise külmaine kokkusurumise abiga on oma olemuselt võimeline korrigeerima enda töörežiimi vastavalt keskkonna oludele ning seeläbi pakkuma enamikel juhtudel alternatiivsetest jahutuse- ja kütteallikatest efektiivsemat tööd pikema perioodi lõikes. Õhksoojuspumba rakendamiseks on vaja välja valida siseseade ja välisseade.

Autor kaalus erinevate variantide vahel, millist konfiguratsiooni ja mudeleid valida kliimasüsteemi projekteerimisel. Valiku tegemine osutus kahe lahenduse vahel (Tabel 2.4), millest esimene oli kasutada üht 28 kW õhksoojuspumba mudelit [16], mis on võimeline ainuüksi tagama suuremahulist jahutusvõimsust ning küttevõimsust. Teiseks variandiks oli luua mitmest madalama võimekusega 10 kW seadmest kombineeritud konfiguratsioon [17]. Elektriseadmeid valiti Mitsubishi Electric ja Mitsubishi Heavy Industries tootekataloogide põhjal.

Tabel 2.4. Õhksoojuspumpade võrdlus

Sise- ja välisseade	Jahutus- ja küttevõimsus	Siseseadme kujutis
Mitsubishi Electric 10kW õhksoojuspump Siseseade: PKA-M100KA2 Välisseade: PUZ-M100VKA2	Jahutuse nimivõimsus: 9,5 kW Kütmise nimivõimsus 11,2 kW	
Mitsubishi Heavy industries 28kW õhksoojuspump Siseseade: FDU280KXZE1 Välisseade: FDC280KXZPE1	Jahutuse nimivõimsus: 28 kW Kütmise nimivõimsus: 28 kW	

Autori eelistus osutus 10 kW õhksoojuspumba kasuks, mis tähendas vajadust mitme antud tüüpi õhksoojuspumba kombineerimist vajaliku koguvõimsuse saavutamiseks. Valik tulenes isiklikust eesmärgist luua N+1 süsteem, mis käsitletavas olukorras tähendas lisaks pidevalt aktiivsele mitme seadme kombinatsioonile ka tagavara õhksoojuspumba olemasolu, mis vajadusel pakuks lisavõimekust haruldaste ekstreemolukordadega toimetulekul ning põhiseadme riknemise korral oleks võimeline seda asendada. N+1 süsteemi oleks võimalik luua ka võimsamate 28 kW seadmetega, mis nende puhul tähendaks 1+1 konfiguratsiooni. Ühtlasi tähendaks see ühe seadme jaoks ka aastaringset kestvaid passiivset olekut, välja arvatud juhul, kui põhiseade

peaks rikkema. Antud asjaolusid pole arvestatud piisavaks põhjenduseks, et investeerida ning paigaldada üleliigne võimas kliimaseade.

Sobiva 10 kW õhksoojuspumpade koguse valimiseks N+1 põhimõttega tuli esialgu valideerida seadme võimekuse maht eri tingimustel. See tuleneb asjaolust, et õhksoojuspumba nimivõimsused kehtivad vaid kindlate optimaalsete tööolude puhul. Autor kasutas seadme andmelehti, et teha kindlaks õhksoojuspumba reaalne jahutusvõimsus arvestades, et kuni 33 °C välisõhk jahutatakse 25 °C siseõhuks [18]. Andmelehel puuduvad täpselt käsitletavale olukorrale vastavad andmed, kuid sarnaste tingimuste andmete kaudu on võimalik otsitavaid väärtusi interpoleerida. Interpoleerimise tulemusena nähtub, et ühe 10 kW õhksoojuspumba jahutusvõimsus nimetatud tingimustel on 6,86 kW. Vajalik jahutusvõimsus aasta kõige soojematel ilmadel oli 23,2 kW, mis võttis arvesse kõikvõimalike faktorite vastumõju soovitud olude tekitamisele, nagu maksimaalne välisõhu temperatuur, töötav ventilatsioon ning elektriseadmete soojuskaod. Antud jahutusvõimsuse tagamiseks kirjeldatud N+1 rakendamisloogika põhjal tuleb valitud õhksoojuspumba tüüpi integreerida 3+1 süsteemi kujul. See tähendaks aastaringset 3 pidevalt aktiivset seadet ning 1 tagavaraseadet. Antud kliimaseadme mudeliga kaasnev juhtkontroller võimaldab manuaalset õhksoojuspumba juhtimist, mida kasutatakse juhtloogika algoritmi ning elektriosa projekteerimisel [19].

Valitud õhksoojuspumpade kombinatsioon on võimeline tagama projekteerimisel arvestatud välikeskkonna suhtes vajalikku siseruumi õhutemperatuuri enamikel juhtudel, kuid kindla nii nimetatud ekstreemolukorra puhul hakkab nende võimekus puudulikuks jääma. Nimelt on valitud seadmetel suurem võimekus ja efektiivsus positiivsete välitemperatuuride hetkel siseruumi jahutamisel, võrreldes negatiivsete välisõhu temperatuuride puhul siseruumi kütmisega. Õhksoojuspumba siseseadme võimekus sõltub välisseadmest ning kütmisel võib potentsiaalselt olla tegu väga suure sise- ja välitemperatuurivahega, projekteeritavates oludes kuni 48 °C, kui arvestada võimalust -33 °C talvisele õuetemperatuurile ja vajadusele hoida siseruumis miinimum +15 °C.

Seadme andmelehel on esitatud [17], et juba -15 °C välisõhu temperatuuri puhul langeb seadme küttevõimekus enam kui kaks korda alla nimiväärtuse, ühtlasi on nimetatud väärtus dokumentatsioonis märgitud ka seadme töörežiimi piirväärtuseks. Taoline karakteristik on aga õhksoojuspumpadele tavapärane ning kavandi parameetritest tingituna määrav faktor tagavara kliimaseadmete integreerimise vajadusele. Antud olukorras on mõistlik vaadelda küttelahendusi, millele välikeskkonna

olud ei avalda mõju, mistõttu välditakse eraldi õhksoojuspumpade paigaldamist vaid siseruumi kütmise eesmärgil. Peatükis 2.1.1. arvatud minimaalseks küttevõimsuseks kõige külmematel ilmadel osutus 3900 W, mis tähendab, et edaspidi kütmiseks valitud elektriseadmed peavad tagama saadud väärtusega võrdse või sellest kõrgema küttevõimekuse.

Arvatud küttevõimsuse maksimumväärtus jääb tasemele, mida on võimalik tagada ka majapidamistes rakendatavate kütteelementidega. Vajaduspõhiselt kasutatavaks ja fikseeritud küttevõimsusega elektriseadmeteks on käsitletavas olukorras sobilikud elektrikütteradiaatorid. Autori kavandi järgi osutusid valituks kaks 2000 W kütteväärtusega radiaatorit Ensto BETA20-BT-EP [20]. Tegu on kütteallikatega, mida on võimalik toita alajaama siseruumis paiknevate pistikupesade kaudu, mis lisab neile portatiivse omaduse. Antud aspekt võib omada tähtsust arvestades asjaolu, et moodulalajaama seadmeruumi paigaldatakse tulevikus lisavarustust nt eraldi madalpingekilbi kujul, mis võib potentsiaalselt tõsta ruumi siseselt seadmete soojuskaot koguväärtust sedavõrd, et üksnes soojuskaod kompenseerivad külmadest ilmadest tingitud alajaama konstruktsiooni jahtumist, seeläbi elimineeritakse potentsiaalselt ka vajadus eraldi kütteallikate järele. Valitud kütteallikate paneelil on võimalik seadistada temperatuuri väärtust, millest allapoole langedes alustavad seadmed kütmist iseseisvalt. Nimetatud funktsiooni kasutatakse kütteseadmete rakendamisel ära, kuid sellele lisatakse eraldi juhtimisloogika element seadme töö piiramiseks kindlates olukordades, kus on soovitud kütmiseks kasutada vaid õhksoojuspumpasid.

2.2.2 Siemens LOGO!

Projekteeritav kliimasüsteem omab enda nõudmiste ja eesmärkide põhjal omadusi, vastavalt millele tekib vajadus eraldi süsteemi juhtloogika loomisele, sest enamik süsteemi kuuluvast seadmestikust pole tehaseseadetel võimeline optimaalselt töötama kogu muutuva keskkonna ulatuses. Kohandatud juhtimissüsteemi rakendamine jätab samuti võimaluse mitme operatsiooni automatiseerimisele, eemaldades vajaduse sagedasemale inimsekkumisele. Süsteemi töö juhtimiseks on valitud programmeeritav loogikakontroller, mis on alternatiiviks analoogsetes süsteemides kasutatud releelahendustele. Programmeeritav loogikakontroller ehk lühidalt PLC pakub kasutajale paindlikuma ja universaalsema lahenduse, võimalusega süsteemi tööd kohandada läbi tarkvara algoritmi muudatuste ja ilma elektroonika komponentide füüsilise ümberlülitamiseta.

Süsteemi juhtkontrolleriks valiti Siemens LOGO! PLC loogikamoodul [21]. Tegemist on võrdlemisi primitiivse PLC kontrolleriga, kuid see-eest omab antud variant teatud eeliseid. Siemens LOGO! on tuntud oma kasutajasõbralikkuse poolelt, pakkudes kasutajale graafilise programmeerimiskeele variante Ladder diagramm, UDF diagramm ja FBD ehk funktsioon-plokkdiagrammi näol. LOGO! kontrollerit võib pidada kompaktselt oma alternatiivide suhtes, see toob talle eelise ruumipiirangutega keskkonda paigaldamisel, milleks on ühtlasi ka alajaamas selle asukohaks määratud omatarbekilp. Kontroller pakub erinevaid sisend- ja väljundvõimalusi nii digitaalsetele kui ka analoogsignaale. Sisendite ning väljundite tüüpi ja arvu on võimalik kohandada kasutades eraldi mooduleid, mille abiga on võimalik vajaduse korral laiendada süsteemi funktsionaalsust. Lisamoodulite hulka kuuluvad muuhulgas analoogsignaali lugemise plokid, mida on võimalik rakendada temperatuuriandurite signaalide edastamiseks LOGO!-sse. Programmeerimisel pakub tarkvara ka eelnimetatud andurite signaalide töötlemiseks spetsiaalseid funktsioone, mida saab mugavalt ära kasutada algoritmi töö reguleerimiseks soovitud seadistuste põhjal.

2.2.3 Kliima andurid

Kliimasüsteemi kriitiliseks osaks võib pidada kliimaolude staatust defineerivad andurid, mille ülesanne on olla sisendiks edaspidistele protsessidele alates informatsiooni töötlemisest loogikakontrolleris kuni kliima reguleerimise operatsioonide teostamisele läbi kliimaseadmete. Vastavalt kavandis esitatud nõuetele vajab süsteem efektiivselt tööks temperatuuriandurit, nii siseruumi kui ka õue, ning samuti niiskusandurit siseruumi.

Temperatuuriandurite seas on käesoleval ajal enim levinud variantideks termopaarid ja takistustermoandurid ehk lühidalt RTD (inglise keelsest 'resistance temperature detector'). Takistustermoandurite seas omakorda populaarseks tooteks on PT100 plaatinataktiga termoandurid, mis võimaldavad teostada mõõtmisi suurtes temperatuurivahemikes, säilitades sealjuures keskmisest kõrgemat mõõtetäpsust, tulemuste stabiilsust ning töökindlust. Eelnimetatud omadused annavad PT100 anduritele eelise näiteks sagedamat kalibreerimist vajavate termopaaride ees. Anduri pikaajaline ja stabiilne töövõime on tähtsaks faktoriks automatiseeritud kliimasüsteemis, mille eesmärk on töötada inimsekkumiseta. Enda tehniliste parameetrite poolest osutub PT100 anduritüüp sobilikuks termoanduriks projekteeritavasse kliimasüsteemi.

Spetsiifilisteks toodeteks on valitud SIEMENS'i tootevalikust väliskeskkonna PT100 andur QAC2010 [22] ning siseruumi PT100 andur QAA2010 [23] viide. Kavandis

käsitletava siseruumi ja väliskeskkonna olud on vastavuses toodete andmelehtedel esitatud sobilike tööoludega.

Viimaseks vajalikuks kliimaanduriks süsteemis on niiskuse taset mõõtev elektriseade. Nõuete kohaselt on vaja siseruumi oludesse sobivat seadet, mis suudaks kindlate parameetrite ületamisel anda signaali edasi seda töötlevale seadmele. Niiskuse mõõtmiseks võib kasutada mahtuvuslike või takistuslikke niiskusandureid, mille väljundväärtus oleneb niiskuse väärtusest, mis jätab omakorda võimaluse jälgida siseruumi niiskuse taseme staatust. Antud kavandi puhul on aga põhiülesandeks hoida niiskuse väärtust alla ühe määratud piiri, mistõttu on sobilik kasutada hügrostaati, mille mõõtevahemik vastab nõuetele. Kavandatava süsteemi jaoks on sobilik Rittal'i hügrostaati SK3118 [24]. Antud toote tehnilised parameetrid vastavad tingimustele, seega seadmele on võimalik sättida 51% niiskuse suhte piirväärtus, mille ületamise korral edastatakse hügrostaadi signaali edasi kontrollerrisse.

3. KLIIMASEADMETE JUHTIMINE

Moodulalajaama sisekliima eest vastutavat algoritmi võib pidada kogu projekteeritud kliimasüsteemi juhtkeskuseks, sest just selles koostatud loogikavõrgustik hakkab määrama süsteemi kuuluva seadmestiku reaktsioone kindlatele olukordale ning juhtima seadmete omavahelist koostööd. Algoritmi idee on koondada omavahel kokku eri tüüpi elektriseadmeid, kasutades igat seadet oma individuaalse eesmärgi täitmiseks ning lisaks sellele edastada informatsiooni vastavalt vajadusele edasi teistele osadele, luues omaette tegutseva tarkvara sees seadmete vahelist kommunikatsiooni. Kliimasüsteemi algoritm kasutab informatsiooni lugemiseks sisenditena peamiselt eelmises peatükis nimetatud andurseadmeid, lisaks kuuluvad sisendite sekka mitmete täiturseadmete veasignaalid. Algoritmi peamiseks väljunditeks saab nimetada kliimaseadmete aktiveerimise käskude, mis rakendavad vajalikke funktsioone olenevalt neile loogikatehete kaudu edastatud informatsioonist. Ühtlasi on kliimaseadmetelt võetud nende poolt edastatavad veasignaalid ning kasutatud sisenditena, mis on aluseks osade algoritmis esinevate kaitsereaktsioonide jaoks.

Lisaks seadmete ühendamisele ühtsesse süsteemi, on eraldi algoritm võetud kasutusele võimaldamaks optimaalsemat seadmete kasutust, mida pole võimalik saavutada üksnes seadmete enda programmeeritud tööloogika rakendamisel. Antud aspekt puudub kõige enam õhksoojuspumpasid ja elektrikütteradiaatoreid. Nimelt on antud seadmetele võimalik seadistada kindel temperatuur, millele nad hakkavad reageerima olles ületanud või alla jäänud määratud nivooale. Taolised seadmed ei võimalda passiivselt kindla temperatuurivahemiku säilitamist, selle asemel üritavad seadmed pidevalt ühele fikseeritud väärtusele läheneda, kui puuduvad seda operatsiooni piiravad või takistavad faktorid. Algoritmi loomise põhimõtte on võtta aluseks lähteparameetrid ning võimaldada harvemini esinev seadmete aktiivne töö, kui selleks puudub kriitiline vajadus.

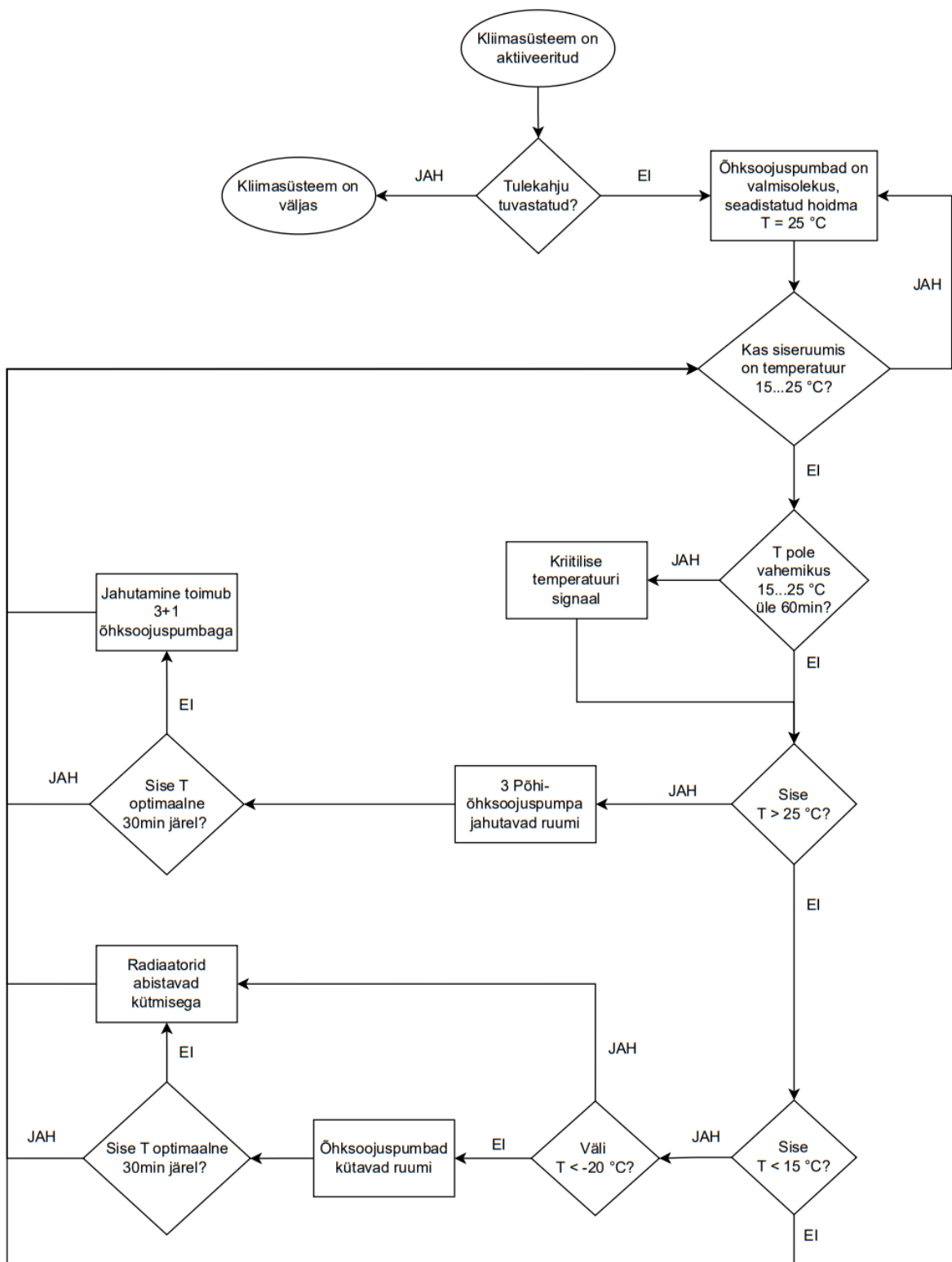
Lähteandmete põhjal tähendab see, et olles saavutanud siseruumis optimaalset temperatuurivahemikku +15...25 °C ei pea ükski kliimaseade samal ajal aktiivselt kütma ega jahutama. Õhksoojuspumpadele määratakse tehaseseadistustega kontrolleris fikseeritud eesmärk-väärtuseks +25 °C, mis kehtib nii jahutamise kui ka kütamise funktsiooni puhul. Tehaseseadistuse funktsioon on aga projekteeritavas süsteemis efektiivne vaid siseruumi jahutamise vajaduse olemasolul, sest antud funktsioon soosib nõuet hoida toas õhutemperatuuri alla +26 °C. Mis puudub aga kütmist alajahtumise korral, siis siinjuures teostaksid õhksoojuspumpad omaette töötades üleliigseid operatsioone. Neile määratud eesmärk hoida +25 °C tähendab, et

alla selle väärtuse langedes lülituks õhksoojuspumbad ümber kütmisele ja alustaks selles režiimis opereerimist, eesmärgiga taastada fikseeritud väärtus. Lähteandmed aga sellist tööloogikat ei nõua ning vastupidi võib neist lähtudes iga kliimaseade olla passiivne, seda siis määratud optimaalse siseõhutemperatuuri vahemikus. Ilma eraldi loogikata, toimuks õhksoojuspumpade poolne kütmine toatemperatuuril +15..24 °C, kuid tegelikult pole antud operatsioon vajalik kuni +14 °C –ni langemiseni. Vaid sellest hetkest tekib lähteandmete põhjal tegelik nõue siseõhutemperatuuri reguleerimisele tagasi ülespoole. Eraldi loogikakihi integreerimine annab võimaluse vähendada õhksoojuspumpade kasutust muutlike sise- ja väliskeskonna oludega päevadel ning langetab selle võrra alajaama omatarbe poolel kasutatavat energia mahtu, kasutades elektriseadmeid säästlikumal ja efektiivsemal viisil, kui seda lubaks tehaseseadistus.

Õhksoojuspumpade säästlikumale kasutamisele aitab kaasa ka elektrikütteradiaatoreid rakendav juhtloogika osa, mille integreerimiseks on radiaatorite tehaseseadistus samuti piiratud algoritmi juhtsüsteemi kaudu. Seadmevaliku peatükis toodud andmetest selgus [17], et õhksoojuspumpade reaalne kütteväärtus kahaneb tema maksimumist enam kui poole võrra, kui välisseade paikneb -15 °C õhutemperatuuriga oludes, mis tähendab veel enamat kütteefektiivsuse kaotamist välisõhu temperatuuri jätkuval langemisel. Õhksoojuspumpade töö kompenseerimiseks on külmadel ilmadel, täpsemalt -15 °C välisõhu puhul, programmeeritud elektrikütteradiaatorite rakendamine, kui siseruumi on tarvidust kütta. Eraldi väliskeskonnast tingitud nõue tähendab, et radiaatorid ei hakka rakenduma iga kord, kui siseruumi õhutemperatuur alla +15 °C langeb, mis oleks neile fikseeritud väärtuse puhul ilma eraldi juhtloogikata tavakorras ette tulnud. Juhtloogika aga piirab nende opereerimise olukordades, kus väliskeskond ei langeta õhksoojuspumba väliseadme efektiivsust drastiliselt ning õhksoojuspumbad suudavad piisava efektiivsusega omaette opereerida. Antud juhtloogika aspekt aitab alajahtumise ohu korral kaasata lisaseadmeid ja säästa õhksoojuspumpasid töötamast ebaefektiivselt. Väliskeskonnast sõltumatud elektrikütteradiaatorid aitavad ühtlasi ka kiiremale optimaalse siseruumi õhutemperatuuri vahemiku taastamisele, eraldades etteteatud kütteväärtusi.

Kliimasüsteemi algoritmi koostamiseks kasutas autor SIEMENS LOGO! loogikamooduli programmeerimiseks SIEMENS-i poolt pakutavat tarkvara "LOGO! Soft Comfort" versiooni 8.3.0. Antud programm võimaldab skemaatilisel kujul luua loogikafunktsioonide abil juhtsüsteeme, kasutades LOGO! mooduli sisendeid ja väljundeid ning pakkudes nende vahele isiklike algoritmide lisamist ja koostamist. Algoritmist lühiülevaate saamiseks ja visualiseerimiseks on õhksoojuspumpade ja elektrikütteradiaatorite juhtloogikat kujutatud voodiagrammina (vt Joonist 3.1).

Voodiagramm näitab ära asjaolusid, mille põhjal nimetatud kliimaseadmed alustavad opereerimist ning samuti eri olukordade käsitlemise printsiipi nende poolt.



Joonis 3.1. Õhksoojuspumpade ja elektriradiaatorite tööpõhimõte

3.1 LOGO! FBD

Kliimasüsteemi algoritmi projekteerimiseks kasutas autor SIEMENS LOGOSOFT tarkvara siseselt FBD ehk Functional Block Diagram (eesti keeles funktsionaalsete plokkide diagramm) graafilist kujutamiseviisi algoritmi loogika koostamiseks, selle kujutamiseks ning simuleerimiseks. FBD pakub võimalust koostada digitaalseid ahelaid niinimetatud loogikaplokkide abiga. Loogikaplokke võib pidada primitiivseteks elementideks, kuid nende kombineerimine võimaldab projekteerida komplektseid ahelaid ja süsteeme. FBD kujutusviis pakub süsteemi töö simuleerimisel mugavat ülevaadet kõikide komponentide olekust alates sisenditest ja lõpetades väljunditega, ning võimaldab samaaegselt katsetada erinevate tegurite mõju. Alternatiivina võimaldab SIEMENS LOGOSOFT kasutada Ladder Diagramm kujutamiseviisi loogikaskeemide projekteerimisel. Autori valik osutus FBD kasuks tulenevalt varasemast kogemusest antud keskkonnaga, mis pakkus kavandamisel mugavamalt ülevaadet nii nullist ehitamise kui ka muudatuste sisseviimise käigus.

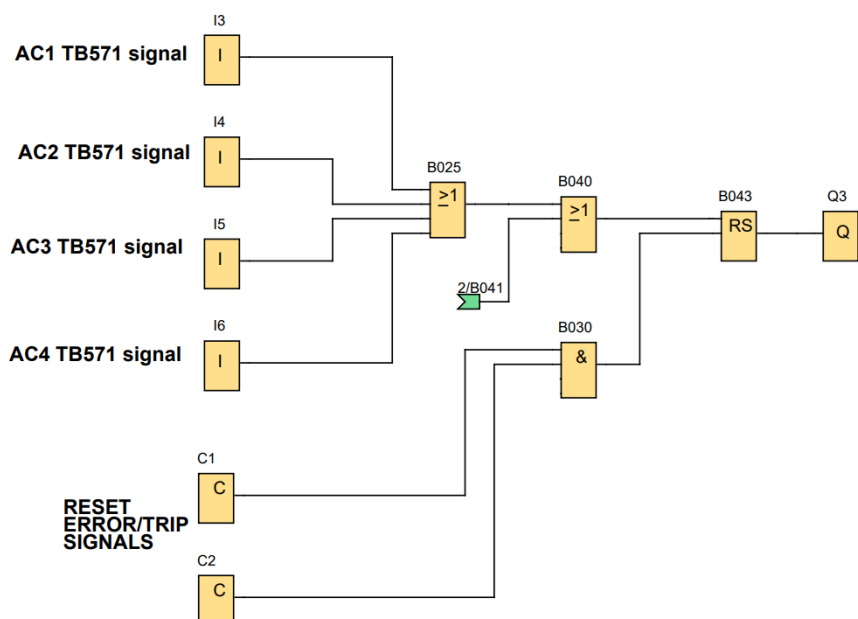
Järgnevatel skeemidel on kujutatud kogu algoritmi sisu funktsionaalsete plokkide diagrammina, mis on parema ülevaate saamiseks jagatud kindlateks osadeks. Tervik diagramm on jaotatud neljaks seksiooniks ning iga osa juurde kuulub seal esinevate loogika-ülesannete seletus ja kogu antud sektori põhimõtte terve juhtloogika kontekstis.

Loogikaskeemi parema mõistmise eesmärgil tasub kogu diagramm jagada omakorda viieks osaks, saamaks täpsemat ülevaadet iga nn loogika-ülesande kohta eraldi. Vaadeldavad viis osa on kirjeldatud alapeatükkides 3.1.1, 3.1.2, 3.1.3, 3.1.4 ja 3.1.5.

3.1.1 Süsteemi rikkesignaalid

Antud loogikaskeemi osa käsitleb õhksoojuspumpade siserikete signaalide kokku kogumist ja edastust. Õhksoojuspumba siserikke puhul saab signaal alguse kliimaseadme kontrolleri kontaktidelt, mis on ühendatud SIEMENS LOGO! sisenditega, antud juhul I3, I4, I5 ja I6. Needsamad teadanded esinevad süsteemi juhtimisloogika osadena, liitudes 'OR' ehk 'VÕI' loogikaplokis 'B025'. Antud plokile järgnev 'VÕI' plokk 'B040' toob siserikete signaalidega kokku õhksoojuspumpade kaitseautomaatide rakendamise signaalid, mis teavitavad seadme töö seiskumisest. Kõik nimetatud signaalid edastatakse lõplikult väljundisse 'Q3'. Nimetatud väljundi esile tuleku puhul saadetakse signaal edasi terminali, millelt kasutaja saab seda suunata omal soovil temale vajalikku kohta edasi. Riket tähistav väljund jääb aktiivseks permanentseks kuni neid LOGO! kontrolleri nupukombinatsiooniga 'C1' ja 'C2' manuaalselt ära ei nullita. Seda eesmärgil, et potentsiaalselt vigane seadmestik saaks esmalt kontrollitud alajaama teenindava personali poolt, kes oleks kohapeal võimeline kinnitama ülevaatus teostamist läbi süsteemi taaskäivituse protsessi lõpus (Joonis 3.2).

Error Signals



Joonis 3.2. Kliimaseadmete veasignaalid ja kuvari sõnumid

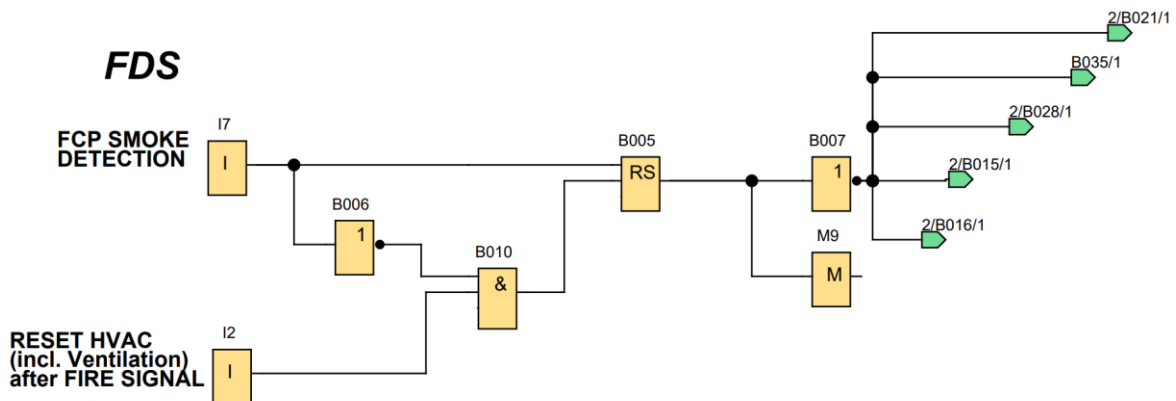
Ühe või mitme kliimaseadme rikkesignaalide esinemine pole programmis loodud peatama ülejäänud seadmestiku tööd. Nad on mõeldud edastama teavitust võimalikust probleemist ning kindlates olukordades käivitama tagavara ressursse, nagu selgub edasises programmi kirjelduses. Ühe või enama seadme rikke tõttu kogu ülejäänud

süsteemi väljalülitamine on käesolevas programmis välditud, sest põhieesmärgiks on jätkuvalt tagada olemasolevate ressursside abiga võimalikult pikaajaliselt stabiilne ja soosiv alajaama siseruumi temperatuur, mis on eelduseks alajaama enda efektiivseks tööks ja päikeseenergia tootmise kui lõppeesmärgi täitmisele.

3.1.2 Tulekahju tuvastuse süsteem

Järgmisena kirjeldatakse tulekahju tuvastusseadmete mõju süsteemi tööle ja selle käsitlemist võimalikus ohuolukorras (Joonis 3.3).

Tulekahju tuvastuse tööpõhimõte on koostatud ettevõtte standardist lähtudes ning peegeldab oma olemuselt varasemalt analoogsetes projektides releede abiga lahendatud eesmärki, seekord aga läbi loogikakontrolleri. Antud juhtimisloogika osa juhib kliimaseadmete seiskumist tulekahju olukorras, täpsemalt suitsuandurite reageerimise korral, vältimaks võimalikku olukorra halvenemist, kui kliimaseadmete töö jätkamise tulemusena võib siseruumis jätkuda värske hapniku sissevool väliskeskkonnast. Lisaks väljalülitamisele juhib käesolev programmi osa ka seadmestiku taaskäivitust. Antud programmi sektor ühendab omavahel suitsuanduri(d), kliimaseadmed ja füüsilise taaskäivituse nupu (reset push button).



Joonis 3.3. Tulekahjuolukorra toimetuleku süsteem

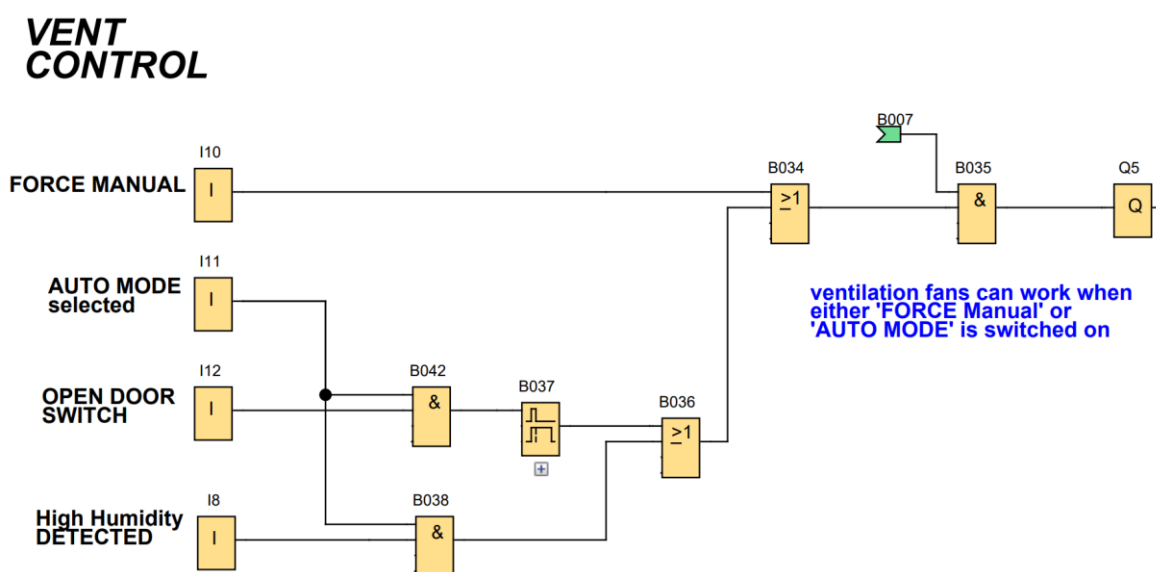
Suitsuanduri signaali korral sisendi 'I7' kaudu peatub kogu sisekliimat reguleeriv seadmestik, see tähendab nii õhksoojuspumpasid, elektrikütteradiaatoreid kui ka õhu ventilaatorit. Eelnimetatud seadmete uus sisselülituse võimalus jääb suitsuanduri reaktsiooni järel blokeerituks, kuni toimub manuaalne kliimasüsteemi taaskäivitus, mis omakorda töötab suitsuanduri signaali neutraliseerimise järel. Kliimaseadmestiku lukustamist reguleerib 'latching relay' loogikablokk 'B005', mis aktiveerub suitsuanduri aktiivse sisendi puhul ning salvestab omale saadud signaali '1'. Kliimaseadmete

taaskäivitamiseks peab antud loogikaplokk olema viidud astmele '0', selleks ongi lisatud taaskäivituse funktsioon. Taaskäivituse läbiviimiseks peab olema täidetud tingimus, et suitsuandur ei edasta omalt poolt enam signaali ning samal ajal vajutatakse omatarbekilbi uksele paiknevat füüsilist 'reset' nuppu, mis annab signaali sisendile 'I2'. Tingimuste täitmist kontrollib 'JA' plokk 'B010' ning selle kaudu saavad kliimaseadmed vajalikus režiimis oma tööd jätkata samamoodi nagu ennegi.

Taaskäivitus on piiratud suitsuanduri töö ajal vältimaks olukordi, kus teadmata põhjusel võib teenindav personal proovida taaskäivituse teostust teadmata, kas kõiksugune oht on elimineeritud. Tulekahju alarmide käivitamise järel teostatakse tuleohutuse tagamiseks alajaamas tuvastusseadmetele uus kontroll enne, kui need võivad jätkata autonoomset tööd ilma inimjärelvalveta. Kliimaseadmete taaskäivitus on mõeldud rakenduma, kui spetsialiseerunud personal on läbiviinud kontrolli ja seadmestiku valmistanud ette tagasi töörežiimiks.

3.1.3 Ventilaatori juhtimine

Sundõhu ventileerimise juhtimine on võimalik mitme erineva tingimuse puhul ning analoogselt õhksoojuspumpadele on ka selle töö blokeeritud tulekahju olukorras, et minimaliseerida tulekahju süvendamise riski (Joonis 3.4). Sundõhu ventilaatorit läheb tarvis juhtudeks, kui õhuniiskus hakkab ületama soovitud väärtusi või ukseandur edastab signaali inimeste viibimisest ruumist ja on tarvidust värsket õhu peale voolule. Probleemi lahenduseks ei piisa alati vaid õhksoojuspumpade tööst, kuigi need ei pruugi omakorda samal ajal isegi töös olla ega õhu ventileerimisele kaasa aidata, mistõttu lähebki tarvis abivahendeid.



Joonis 3.4. Ventilaatori juhtimine

Ventilaatori sisselülituse eest vastab neli erinevat sisendit, kaks neist (I10 ja I11) on ühendatud pöördlüliti külge, millel saab selekteerida kolme režiimi vahel: väljalülitatud, manuaalne sisselülitus ja automaatne töörežiim. Ventilaatori sisselülitust tähistab LOGO! väljund 'Q5', kui see aktiveerub.

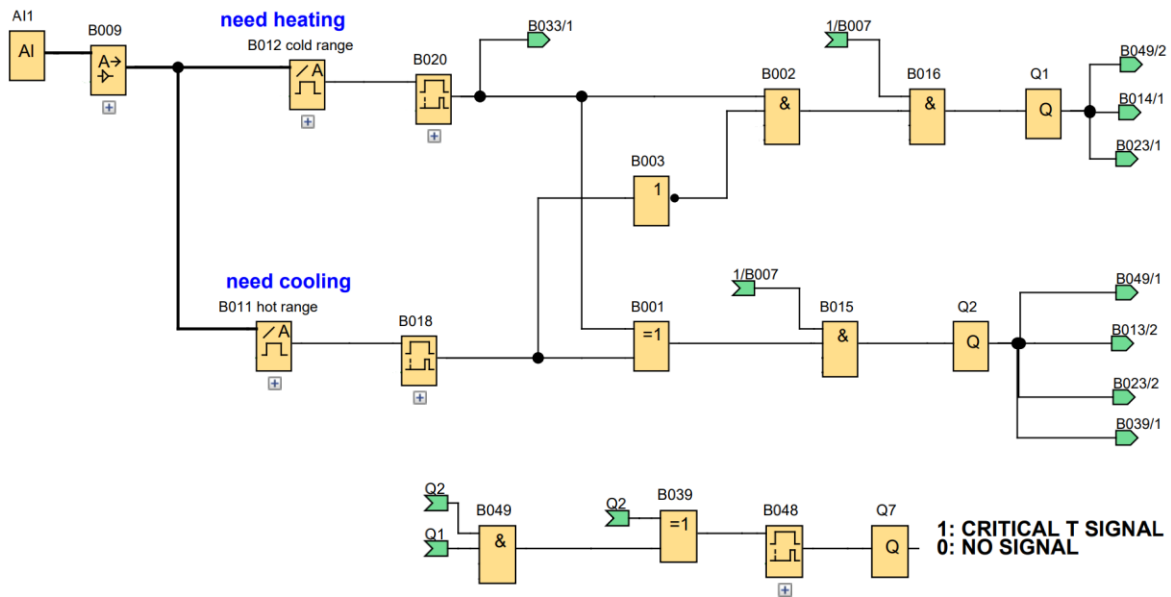
Manuaalne sisselülitus ehk LOGO! sisend 'I10' sunnib ventilaatorit kohe töle eeldusel, et tulekahju olukord on välistatud, ning jätkab tööd kuni režiimi välja ei lülitata. Manuaalne režiim on enamasti mõeldud alajaama teeninduspersonalile mugavuse tagamiseks juhtudel, kui teeninduse käigus on tarvis kohest ja pidevat õhu ventileerimist, mida automaatrežiimi korral tuleks oodata senikaua, kuni vajalikud andurid selle aktiveeriks. Kui manuaalse töö ajal peaks reageerima tulekahju tuvastus, siis toimub ventilaatori töö taastamine analoogselt õhksoojuspumpadele – esialgu vajab tulekahjuolukorra süsteem taaskäivitust, et kliimaseadmed jätkaks toimimist, sama nõue kehtib ka ventilaatori automaatse töörežiimi aktiivse oleku ajal.

Kui ventilaator on seadistatud töötama automaatses režiimis ehk LOGO! saab signaali sisendist 'I11', läheb ventilaatori tööle saamiseks vaja lisaks 'auto mode' sisendile vähemalt ühte sellega seonduva anduri signaali. Antud süsteemi osaga seotud anduriteks on esiteks ukseandur, mille eesmärk on kiirendada õhuringlust, kui avatud ukse korral satub väljaspoolt siseruumiga erinev õhk. Ukseanduri signaal LOGO!-sse on tähistatud sisendina 'I12', selle järel on kasutatud väljalülitusviivitusega taimerplokki 'B037', et jätkata ventileerimist määratud aja jooksul pärast ukse sulgemist. Teisena, kuid mitte vähem tähtsana, on automaatse režiimiga ära seotud niiskusandur, mis annab signaali siis, kui on ületatud talle seadistatud piirväärtuse tase. Niiskusanduri signaal on tähistatud sisendina 'I8'. Ventilaator hakkab automaatses režiimis tööle, kui üks või teine viimasest kahest andurist annab oma signaali või võivad seda teha mõlemad korraga. Programmi projekteerimisel on eelduseks, et enamuse ajast töötab ventilaator automaatrežiimis ning vajaduse korral jääb võimalus neid pikaaegselt ilma pausideta töös hoida.

3.1.4 Põhi-õhksoojuspumpade juhtimine

'Primary-' ehk põhi-kliimaseadmete juhtimist võib pidada programmi tähtsaimaks osaks (Joonis 3.5). Antud programmi sektorisse kuuluvad temperatuuriandurid ning alajaama omatarbe kategooria kõige enam töös olevad seadmed. Nendeks on 3 õhksoojuspumpa, mis on võimelised enamikel juhtudel hoidma aastaringselt alajaama siseruumis seadmete suhtes optimaalset kliimakeskkonda, mis omakorda tagab efektiivsema ja ohutuma elektriseadmete töö alajaama lõppotstarbe nimel. See aitab kaasa kogu seadmestiku eluea pikendamisele ja sellega potentsiaalselt hooldamise sageduse vähendamise. Neid juhtumeid, kus kolme põhi-seadet võib nappida, seletatakse lahti hilisemas ehk viimasel programmi kirjelduse osas.

INDOOR PT100



Joonis 3.5. Põhi-õhksoojuspumpade juhtimine

Põhi-kliimaseadmete juhtloogika saab alguse siseruumi paigutatud PT100 andurist, mis on skeemil tähistatud analoog sisendi plokina, nimega 'AI1'. See edastab pidevat signaali analoog võimendisse 'B009', mis teisendab signaali vajalikku suurusjärku edaspidiste toimingute korrektseks läbiviimiseks. Võimendatud signaal jaguneb kahe erineva haru vahel. Kaks haru vastutavad kumbki kindla määrdetud temperatuuri peale reageerimisele, vastavalt nendele määratud vahemikele. Tegu on 'Trigger' plokkidega, millest üks plokk nimega 'B011' on seadistatud reageerima siseruumi õhutemperatuurile, kui see on kõrgem kui +25 °C. Teine 'Trigger' plokk 'B012' on seadistatud reageerima siseruumi õhutemperatuurile, kui see kukub alla +15 °C. Järgnevalt käivitatud reaktsioonid on mõlemas olukorras loomu poolest sarnased, olles omavahel ka osaliselt seotud, kuid siiski individuaalsed, sest kindlate olukordade lahendamise toimub eri seadmetüüpe kasutades, mida kirjeldatakse täpsemalt viimase programmisektori lahkamisel.

Põhi-õhksoojuspumpade aktiveerimine ja režiimi valik toimub kindlate väljundkombinatsioonide abiga, milleni jõutakse eeldusel, et vajalike loogikatehete tingimused on täidetud. Parema ülevaate saamiseks, kuidas põhi-õhksoojuspumbad reageerivad LOGO! väljundite signaalidele, on signaalid koos vastava töörežiimiga loetletud järgnevas tabelis 3.1.

Tabel 3.1. Põhi-õhksoojuspumpade režiimide juhtimine LOGO! väljunditelt Q1 ja Q2

Q1	Q2	Režiim
0	0	OFF
1	0	OFF
0	1	COOLING
1	1	HEATING

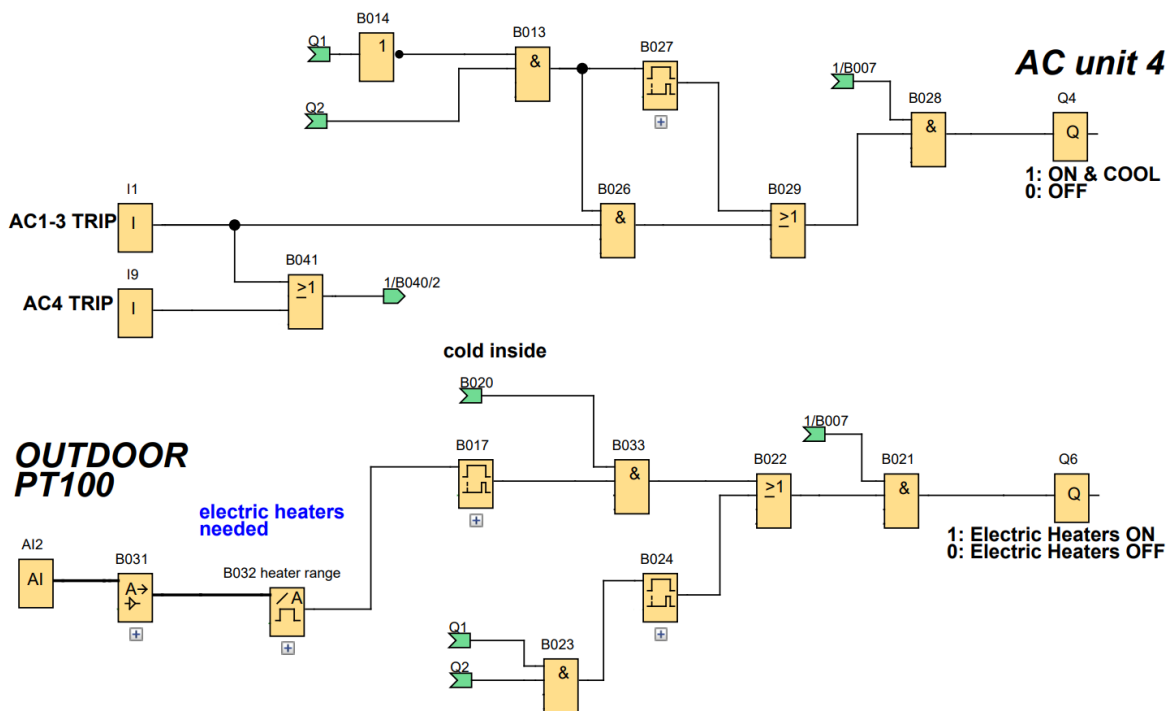
Nagu tabelis märgitud, on jahutusoperatsiooni saavutamiseks vaja aktiveerida ainult väljundit 'Q2'. Selleks peab 'B011' tähisega optimaalse temperatuurivahemiku ületavaid väärtusi jälgiv trigger edastama signaali vähemalt 5 minutit, et see läbiks sisselülitusviivitusega taimer-releeplokki 'B018', mille eesmärk on vältida kliimaseadmete sisselülitust lühiajaliste ning minimaalsete temperatuurimuutuste olukordades. Jõudes edasi XOR loogikaplokkini 'B001', mis kontrollib antud juhul optimaalsest temperatuurivahemikust allapoole jäävate väärtuste puudumist triggeri 'B012' signaali puudumise kaudu. Vaid 'B011'-st edastatud signaali olemasolul, kandub see edasi 'B015' AND ehk JA plokki, mis kontrollib tulekahjuvastase süsteemi alarmi puudumise tingimust, et käivitada õhksoojuspumba kliima reguleerimine.

Kütterežiimis opereerimiseks peavad mõlemad väljundid Q1 ja Q2 olema korraga aktiveeritud. Selleni jõudmise esimeseks tingimuseks on alajahtumise ohtu mõõtv triggeri 'B012' poolne signaaliedastus. Triggeri signaal edastatakse 'B020' taimer-releeploki kaudu, mis toimib sama eesmärgiga, nagu eelnevalt kirjeldatud 'B018'. Edasi jõuab signaal JA plokki 'B002', mis kontrollib optimaalsest temperatuurivahemikust allapoole jäävate väärtuste mõõtv triggeri signaali puudumise, kasutades selleks signaali invertteerimist. Selle järel jääb viimaseks tingimuseks tulekahjuvastase süsteemi signaali puudumine, mille täitumisel aktiveerubki põhi-õhksoojuspumpade poolne kütmine.

Skeemil on samuti kujutatud kriitilise siseõhutemperatuuri signaali edastuse tingimus. Selle täitmiseks peab kliimaseadmete puhul jahutamise või kütmise režiimi pidev opereerimisaeg ületama 60-minutilise piiri. Signaali edastatakse sisselülitusviivitusega taimerploki 'B048' kaudu väljundisse 'Q7'.

3.1.5 Tagavara kliimaseadmete juhtimine

Kavandi N+1 loogika on koostatud lähtudes nii seadmete rikke võimalusest kui ka harva esinevate ekstreemolukordade käsitlemiseks (Joonis 3.6). See tähendab, et projekteeritud süsteemis ei pea ilmingimata mõni seade rikkema, et tagavaratehnika appi tuleks. Projekteerimise eel teoreetilise osa koostamisel on arvestatud, et arvutatud maksimaalsete vajaminevate kütte- ja jahutusväärtuste vajadus reaalsetes oludes omab väga väikest tõenäosust, sest nende esinemiseks on vaja kõikkõimalike asjaolude töötamist projekteeritud süsteemi eesmärkide vastu, mistõttu põhi-seadmete koosseis on valitud väiksema töömahu jaoks. Seda põhjusel, et aastaringiselt mitte hoida töös kogu seadmestikku, kui on võimalik piiratud mahuga hakkama saada. Sellegipoolest võimaldavad N+1 tagavaraseadmed kõikkõimalike arvutuskäigus selgunud olukordade lahendust.



Joonis 3.6. Tagavara kliimaseadmete juhtimisloogika

Joonisel kujutatud N+1 seadmeid võib jagada kahte eri kategooriasse. Üheks varuseadmeks on üldjärjestuses neljas õhksoojuspump, eraldi gruppi kuuluvad elektrikütteradiaatorid. Neljandat õhksoojuspumpa saab edaspidi aktiveerida kaks eri tingimust. Üheks neist on sisselülitusviivituse ehk 'turn on delay' taimeri funktsiooniplokk 'B027', mille aeg hakkab jooksmas hetkest, kui algab põhi-õhksoojuspumpade jahutamise korraldus. Antud taimer on määratud signaali edastama alates 30 minuti täitumisest. Kui määratud aeg on jõudnud täituda, saab süsteem teada, et vajaliku aja jooksul ei suudetud siseruumi temperatuuri viia tagasi alla soovitud nivoo

ning esineb ülekuumenemise oht, mistõttu läheb tarvis lisaseadme poolset jahutusvõimsust. Taimer signaal edastatakse OR ploki 'B029' kaudu edasi tulekahjusignaali puudumist kontrollivasse JA ploki 'B028' ning sealt edasi LOGO! Väljundisse 'Q4', mis annab käsu neljanda õhksoojuspumba jahutamise alustamiseks. Teine võimalus, kuidas neljas õhksoojuspump aktiveerub, on ühe või enama põhi-õhksoojuspumba kaitseautomaatide rakendumisel. Selline olukord tähendab omakorda, et kumbki põhiseade oleks ajutiselt rivist väljas, mistõttu kasutataksegi ära algne N+1 mõiste antud olukorras ära. Põhi-õhksoojuspumpade kaitseautomaatide rakendumise signaali edastamise eest vastutab LOGO! Sisend 'I1', millesse on ühendatud vastavate seadmete toitekaablite ahelas paiknevad kaitseautomaatide kontaktid. Sisendi 'I1' signaal edastatakse JA ploki 'B026', mis kontrollib põhi-õhksoojuspumpade töörežiimi. Nimelt kontrollitakse, kas põhi-kliimaseadmed on seatud jahutuserežiimi, mis tähendab, et ka N+1 seade peaks vastavalt opereerima. Selle signaal läbib analoogselt kriitilise ülekuumenemise reaktsioonile OR ploki 'B029' ning viimasena tulekahjusignaali puudumise kontrolli. Põhi-õhksoojuspumba kaitseautomaatide rakendumise olukorras edastatakse signaal terminali kontaktile, mida kasutaja saab vastavalt vajadusele suunata edasi eraldi paigaldatavate elektriseadmete kaudu.

Nagu eelnevalt seadmestiku valikus mainitud kasutatakse varuseadmete hulgas ka elektrikütteradiaatoreid, mille rakendamise põhjuseks on õhksoojuspumpade kütteväärtuse puudulik võimekus külmade ilmade korral, kui välisõhu temperatuur langeb alla $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nimetatud probleemiga toimetulekuks on võetud kasutusele veel üks PT100 temperatuuri andur, mis on paigutatud õue, selle tähis skeemil on 'AI2' ehk 'analoog sisend 2'. Sarnaselt siseruumi PT100 andurile, esineb ka siin analoogvõimendi, skeemil 'B031' tähisega, mis viib signaali vajalikku suurusjärku, edastades selle 'trigger-ini' tähisega 'B032'. Antud 'trigger-i' eesmärgiks on jätkata signaali edastust, kui mõõdetud välisõhu temperatuur langeb alla seadistatud nivoo, milleks on $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Projekteerimisel on võetud arvesse, et ka külmade (alla $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$) ilmade korral on võimalik, et siseruumi keskkond püsib sellele määratud optimaalses õhutemperatuuri vahemikus. Selle võib tagada alajaama seadmete soojuseraldus lisaks õhksoojuspumpade kütmisele. Seepärast on elektrikütteradiaatorite aktiveerimiseks vaja täita 'AND' tingimus tähisega 'B033', milles toimub kontroll, kas lisaks külmale välistemperatuurile on ka sisetemperatuur langenud alla $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ nivoo, mis tähendaks potentsiaalset alajahtumise ohtu. Teine võimalus radiaatorite aktiveerimisele tuleneb pikaajast järjestikusest õhksoojuspumpade kütterežiimist. Väljundite 'Q1' ja 'Q2' kombineeritud signaali korral toob neid kokku JA ploki 'B023', mis edastab signaali taimer-releeplokini 'B024', milles toimub signaaliedastuse viivitus määratud ajalise väärtuseni jõudmiseni. Ühest või teisest olukorrast tulenevat signaali edastatakse OR

ploki 'B022' kaudu JA plokini 'B021', milles toimub tulekahjusignaali puudumise kontroll. Selle puudumisel saab väljund 'Q6' aktiveeruda ning kaasata elektrikütteradiaatorite töörežiimi.

3.2 Elektriskeemid

Autori poolt joonestatud elektriskeemid on koostatud näitamaks kliimasüsteemis käsitletavate elektriseadmete omavahelisi ühendusi, mille teostamisel on võimalik realiseerida tööstuskontrolleri algoritmis kirjeldatud tööloogikat. Elektriskeemidel on kujutatud autori valitud kliimasüsteemi elektriseadmed, lisaks baaslahendustesse kuuluvad standardtooted nagu kaitseautomaadid, ukseandur, pistikupesad, tulekahjutuvastuse kontrollpaneel ja nupplülid, mis on samuti seotud kliimasüsteemi peamiste täiturseadmetega. Elektriskeemide olemasolu on eelduseks eelprojekti loomisele ning tuleviku prototüübi komplekteerimisele. Autor on skeemide koostamisel tuginenud standardile IEC 60617 [25].

Elektriskeemidel kujutatud elektriseadmete paigutus on tähistatud nii nimetatud struktuurikastidega. 'ACK' tähistusega kasti sisse kuuluv seadmestik paikneb alajaama omatarbe kilbi sees, 'HEJA' tähistusega kasti sees olev aparaat on paigaldatud kas siseruumi (nt elektrikütteradiaatorid, lülid) või õue (nt õhksoojuspumba väliseade, välisõhutemperatuuriandur). Elektriskeemid on esitatud Lisades. Järgnevas tabelis 3.2 tuuakse esile lisades näidatud elektriskeemide loetelu ja nende sisu.

Tabel 3.2. Elektriskeemide tähistused ja sisu

Skeemi tähis	Skeemi sisu
L2.1 Elektriskeem	230VAC/24VDC toiteallikas LOGO! ja juhtahelate toiteks
L2.2 Elektriskeem	230VAC/12VDC toiteallikas õhksoojuspumpade kontrollerite toiteks
L2.3 Elektriskeem	Elektrikütteradiaatorite toide ja juhtimine
L2.4 Elektriskeem	Sundõhuventilatsiooni toide ja juhtimine
L2.5 Elektriskeem	Sundõhuventilatsiooni juhtahel andurite ja lülitiga
L2.6 Elektriskeem	1. õhksoojuspumba juhtimine LOGO! (PLC1) kaudu
L2.7 Elektriskeem	2. õhksoojuspumba juhtimine LOGO! (PLC1) kaudu
L2.8 Elektriskeem	3. õhksoojuspumba juhtimine LOGO! (PLC1) kaudu
L2.9 Elektriskeem	N+1 õhksoojuspumba juhtimine LOGO! (PLC1) kaudu
L2.10 Elektriskeem	LOGO! I/O laiendusmoodul (PLC1.1) ja analoogsignaali moodul (PLC1.2)
L2.11 Elektriskeem	Tulekahju kontrollpaneeli signaaliedastus LOGO!-sse
L2.12 Elektriskeem	Tulekahju kontrollpaneeli toide
L2.13 Elektriskeem	Elektriseadmete kaitseautomaatide kontaktid ja nende signaalid

4. TÖÖ TULEMUS JA EDASINE TEGEVUS

Töö käigus analüüsiti päikesepargi alajaamade turgu ning teostati põhjalikud arvutused spetsiifilise alajaama kliimalahenduse projekteerimisel, mille raames analüüsiti moodulalajaama konstruktsiooni termilisi omadusi. Arvutuste käigus selgus, et käsitletava moodulalajaama kütmiseks kõige külmematel ilmadel oli vaja vähemalt 3900 W ning kõige soojematel ilmadel jahutamiseks omakorda 23,2 kW. Vastavalt arvutustele komplekteeris autor eri elektriseadmetest koosneva kliimasüsteemi, mille tööd on võimalik omavahel ühildada. Valitud seadmestik on teoreetilise aluse põhjal võimaline tagama optimaalseid keskkonnaolusid päikeseenergiamuundurit sisaldava moodulalajaama seadmeruumis.

Kokku koondatud elektriseadmete juhtimiseks projekteeris autor tööstuskontrolleri juhtimisloogika FBD algoritmi, mis võimaldab edukalt täita kliimasüsteemile esitatud nõudeid ning potentsiaalselt vähendada kliimaseadmete töömahtu aasta sees, arvestades asukohast tingitud muutlike kliimaolusid. Lisaks kliima reguleerimisele integreeris autor N+1 loogika, mis aitab tagada kliimasüsteemi toimetuleku ekstreemolukordades ning tulla toime kindlates avariolukordades. Samuti said koostatud elektriskeemid, mis näitavad ära, kuidas on elektriseadmed omavahel ühendatud. Autori idee kasutada kliimasüsteemi juhtimiseks tööstuskontrollerit tagab süsteemi paindlikkust ja annab võimaluse tuleviku katsetuste käigus kliimasüsteemi töö kohandamisele nii tarkvara ümber programmeerimise kui ka elektriseadmete ümberühendamise või välja vahetamise kaudu.

Teoreetilise aluse, seadmete valiku, algoritmi- ja elektriskeemide koostamisega on loodud eelprojekt, mida on võimalik edaspidi vajalike materjalide kättesaadavusel võtta aluseks füüsilise prototüübi koostamiseks ning selle katsetamiseks. Prototüübi testimise eesmärgiks oleks eelkõige kontrollida elektriseadmete käitumiskarakteristikuid, mida analüüsides tuleb kindlaks teha, et kõik töötab kavandi põhiselt. Tõrgete või ebaefektiivsete tööprotsessi omaduste esinemisel on võimalik süsteemi optimeerida, et valmiks laiemaks ekspluateerimiseks mõeldud tootekooslus. Komplekteeritud süsteemi katsetamine muutlikus keskkonnas võimaldaks kontrollida projekteeritud juhtloogika efektiivsust läbi süsteemi käivitamise eri režiimidel. Juhtalgoritmi täismahulist programmi tööd saab võrrelda vähemate juhtimisaspektidega ehk ümberseadistatud programmiga, mis imiteeriks kliimaseadmete tööd tööstuskontrolleri puudumisel. Erinevate töörežiimide omavaheline võrdlemine analoogsetes keskkonnatingimustes töötamisel aitaks määrata, millises mahu on võimalik projekteeritud kliimasüsteemiga säästa elektrienergiat alajaamade sisekliima reguleerimisel muutlikes sise- ja väliskliimaga oludes.

KOKKUVÕTE

Käesolevas bakalaureuse lõputöös on antud ülevaade moodulalajaama kliimasüsteemi automaatika projekteerimisest lähtuvalt alajaama konstruktsioonile ning asukoha kliimatingimustest põhinenud nõuetele.

Lõputöö esimeses osas tutvustas autor lahendatava probleemi olemust ning nimetas pakutavaid tehnilisi lahendusi energijaotushoonetele, mille sisu vajab omakorda individuaalset projekteerimist vastavalt rakendusele. Autor nimetas käsitletava olukorra lähteandmeid ning kavandatavale süsteemile esitatud nõudeid, vastavalt millele sai järgnevalt teostada arvutusi ning komplekteerida moodulalajaama sisekliimat reguleeriv süsteem.

Teine osa käsitleb eelkõige soojusarvutusi seonduvalt moodulalajaama konstruktsiooni omadustega erinevatel ilmastikutingimustel. Autori eesmärgiks oli välja selgitada kliimaseadmete vajalik maht, mistõttu arvutati moodulalajaama asukoha andmete põhjal aasta kõige külmemate ja kõige soojemate ilmade korral eraldatud ja neelatud soojusmahud. Vastavalt arvutustulemustele valis autor projekteeritava kliimasüsteemi eesmärkide täitmiseks vajalikud elektriseadmed. Need vajasisid omavahelist ühildamist eraldi juhtsüsteemi kaudu, mida tuuakse esile kolmandas peatükis.

Lõputöö kolmas peatükk kirjeldab autori välja töötatud juhtloogika algoritmi, mis seob omavahel eelnevalt valitud kliimasüsteemi elektriseadmeid ning teostab nende juhtimist vastavalt moodulalajaama siseruumis esinevatele kliimaoludele. Projekteeritud algoritmiga täidab autor eesmärgi tagada alajaama seadmestikule optimaalsed keskkonnaolud ning pakub võimalust elektriseadmete efektiivsemale juhtimisele, kui seda võimaldavad elektriseadmete tehasesätted. Samuti tuuakse peatükis esile autori koostatud elektriskeemid, mille põhjal on tulevikus võimalik süsteemi realiseerida.

Lõputöö viimases osas tuuakse kokku lõputöö tulemus, milleks oli nõuetele vastava kliimasüsteemi projekteerimine. Selleks sai teostatud kavandi teoreetiline põhi arvutuste kujul ning praktilise osana koostatud algoritmi- ja elektriskeemid. Autor nimetab tulevikuplaane kasutades lõputöös loodud põhja, milleks on füüsilise prototüübi koostamine ja realiseerimine. Autor hindab tehtud töö tulemust edukaks, sest lõputöö käigus said täidetud püstitatud eesmärgid.

SUMMARY

In this bachelor's thesis, an overview is given about the automation design of a modular substation's climate system based on the substation's construction and the climatic conditions of its location, according to the requirements.

In the first part of the thesis, the author introduces the nature of the problem to be solved and mentions the proposed technical solutions for energy distribution buildings, which require individual design according to the application. The author specifies the initial data of the situation being addressed and the requirements imposed on the planned system. Based on these, calculations were performed and a climate control system for the modular substation was assembled.

The second part primarily deals with thermal calculations related to the characteristics of the modular substation's construction under different weather conditions. The author's objective was to determine the required capacity for the climate system devices. Therefore, heat gains and losses were calculated for the coldest and hottest weather conditions of the location. Based on the calculation results, the author selected the necessary electrical equipment to achieve the objectives of the designed climate system. These devices required integration through a separate control system, which is highlighted in the third chapter.

The third chapter of the thesis describes the author's developed control logic algorithm, which connects the previously selected electrical devices of the climate system and controls them according to the climate conditions inside the modular substation. With the designed algorithm, the author aims to ensure optimal environmental conditions for the substation equipment and offers the possibility of more efficient control of the electrical devices than what is provided by their factory settings. Additionally, the chapter presents the electrical diagrams prepared by the author, which can be used for future implementation of the system.

In the final part of the thesis, the results are summarized, which involved the design of a climate system meeting the requirements. This was achieved by establishing the theoretical basis of the design through calculations and creating algorithm and electrical diagrams as practical components. The author mentions future plans based on the foundation created in the thesis, including the development and realization of a physical prototype. The author evaluates the outcome of the work as successful, as the set objectives were achieved during the course of the thesis.

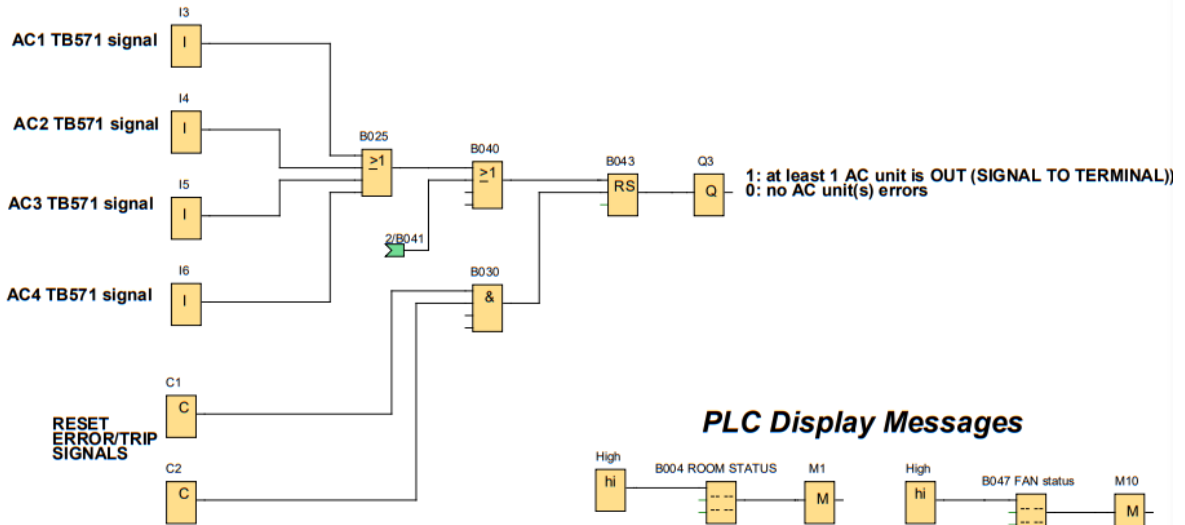
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] Elering, 'Taastuenergia', *Taastuenergia | Elering*, 2023. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://elering.ee/taastuenergia>. Kasutatud 16.05.2023.
- [2] Eesti Energia, 'Väiketootmine', *Tooda ise elektrit | Eesti Energia*. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.energia.ee/era/taastuenergia/tooda-ise>. Kasutatud 16.05.2023.
- [3] M. P. Rein Pinn, *Elekter päikesest ja tuulest*. MTÜ Kolm Kobrast, 2012. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://apl-api.apollo.ee/elektrienergia-paikesest-ja-tuulest.html>. Kasutatud 16.05.2023.
- [4] H. Karakuzu, 'Considerations for solar projects during heat waves', *pv magazine International*, Jul. 20, 2022. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.pv-magazine.com/2022/07/20/considerations-for-solar-projects-during-heat-waves/>. Kasutatud 16.05.2023.
- [5] CR Technology Systems, 'MV E-House 17.5kV for floating solar plant', *Projects*, 2022. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.crtsgroup.com/en/projects/floating-solar-park-in-portugal/>. Kasutatud 16.05.2023.
- [6] Ashrae Meteo, 'ASHRAE climatic design conditions 2021', *ASHRAE Handbook - Fundamentals*, 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://ashrae-meteo.info/v2.0/>. Kasutatud 16.05.2023.
- [7] Keskkonnaagentuur | ILM, 'Ajaloolised ilmaandmed, Türi Ilmajaam', *Keskkonnaagentuur | ILM*, 2023. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.ilmateenistus.ee/kliima/ajaloolised-ilmaandmed/>. Kasutatud 16.05.2023.
- [8] Danfoss, 'VACON® NXI Inverters FI9-FI14 Operating Guide'. Danfoss, 2019. Kasutatud 16.05.2023.
- [9] Hyperphysics, 'Thermal Conductivity', 2023. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Tables/thrcn.html>. Kasutatud 16.05.2023.
- [10] C.L.E.A.R., 'Cavities and Air Spaces', *Comfortable Low Energy ARchitecture*, 2023. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.new-learn.info/packages/clear/thermal/buildings/building_fabric/elements/cavities_and_air_spaces.html. Kasutatud 16.05.2023.
- [11] Kingspan TR, 'How to Calculate a U-value?', *How to Calculate a U-value? | Kingspan TR*, 2017. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.kingspan.com/tr/en/knowledge-articles/how-to-calculate-a-u-value/>. Kasutatud 16.05.2023.
- [12] ScienceDirect, 'Thermal Resistance', *Thermal Resistance - an overview | ScienceDirect Topics*, 2019. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/thermal-resistance>. Kasutatud 16.05.2023.
- [13] Arkadiusz Dobrzycki, Stanislaw Mikulski, and Dariusz Kurz, 'Analysis of the Impact of Building Integrated Photovoltaics (BIPV) on Reducing the Demand for

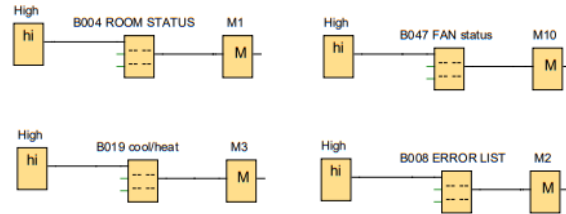
- Electricity and Heat in Buildings Located in Poland', *ResearchGate*, 2020. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.researchgate.net/figure/Thermal-resistance-values-for-heat-transfer-on-external-and-internal-walls-67_tbl2_341476746. Kasutatud 16.05.2023.
- [14] Sensible House, 'Calculating heat loss', *Energy Modeling | Sensible House*, 2016. [Võrgumaterjal]. Saadaval: http://www.sensiblehouse.org/nrg_heatloss.htm. Kasutatud 16.05.2023.
- [15] Engineering Toolbox, 'Cooling and Heating Equations', *Engineering Toolbox*, 2004. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.engineeringtoolbox.com/cooling-heating-equations-d_747.html. Kasutatud 16.05.2023.
- [16] 'vrf_multi_system.pdf'. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.mitsubishi-thermal.it/wp-content/uploads/2018/02/vrf_multi_system.pdf. Kasutatud 16.05.2023.
- [17] 'PP-120.pdf'. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://erp.mitsubishielectric.eu/files/library/files/erpdocs/lot10/PP-120.pdf>
- [18] Mitsubishi Electric Corporation, 'Mr Slim Databook - Document Library - Mitsubishi Electric', *M Series Databook* . Kasutatud 16.05.2023.
- [19] 'mac-334if.pdf'. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://klima.mitsubishielectric.com.tr/Brochure/20220714170005_mac-334if.pdf. Kasutatud 16.05.2023.
- [20] Ensto, 'BETA20-BT-EP', *Ensto Building Systems*, 2023. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.ensto.com/et/bulding-systems/tooted/elektrikuttelahendused/elektriradiaatorid/beta-radiaatorid-elektroonilise-termostaadi-ja-pistikuga/beta20-bt-ep/>. Kasutatud 16.05.2023.
- [21] 'SIEMENS LOGO! Manual'. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att_82564/v1/Logo_e.pdf. Kasutatud 16.05.2023.
- [22] SIEMENS Switzerland Ltd, 'QAC2010 - QAC2010 - Outside sensor Pt100'. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://hit.sbt.siemens.com/RWD/app.aspx?RC=HQEU&lang=en&MODULE=Catalog&ACTION=ShowProduct&KEY=BPZ%3aQAC2010>. Kasutatud 16.05.2023.
- [23] SIEMENS Switzerland Ltd, 'QAA2010 - Room temperature sensor Pt100', 2016. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://hit.sbt.siemens.com/RWD/app.aspx?RC=HQEU&lang=en&MODULE=Catalog&ACTION=ShowProduct&KEY=BPZ%3aQAA2010>. Kasutatud 16.05.2023.
- [24] R. G. & C. KG, '3118000 Hygrostat', *Rittal Climate Control*, 2023. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.rittal.com/en/products/PG0168KLIMA1/PGR1953KLIMA1/PGR2008KLIMA1/PRO12217?variantId=3118000>. Kasutatud 16.05.2023.
- [25] International Electrotechnical Commission, 'IEC 60617 - Graphical Symbols for Diagrams', *IEC 60617 Database*, 2023. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://std.iec.ch/iec60617>. Kasutatud 16.05.2023.

LISAD

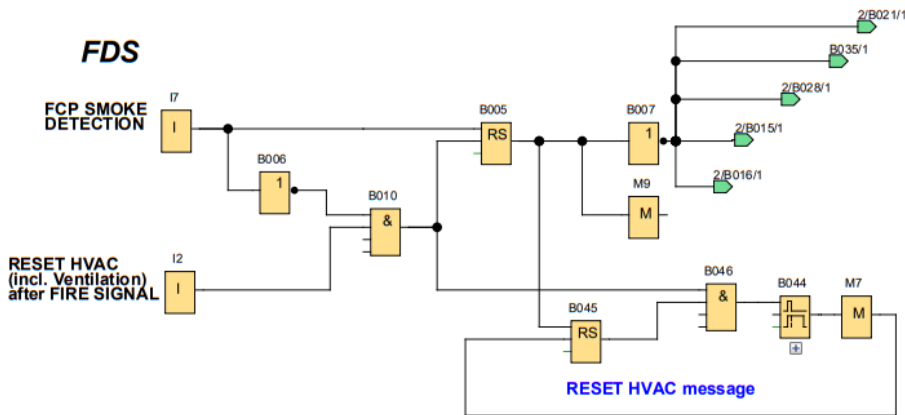
Error Signals



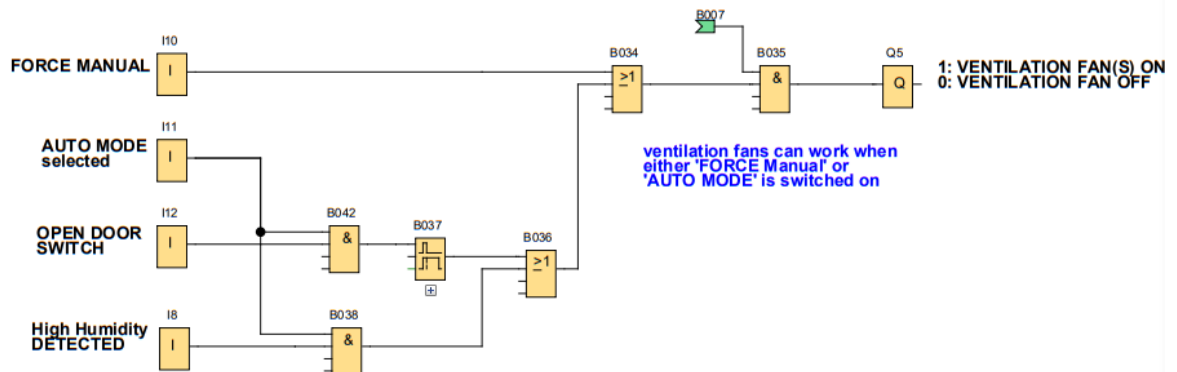
PLC Display Messages



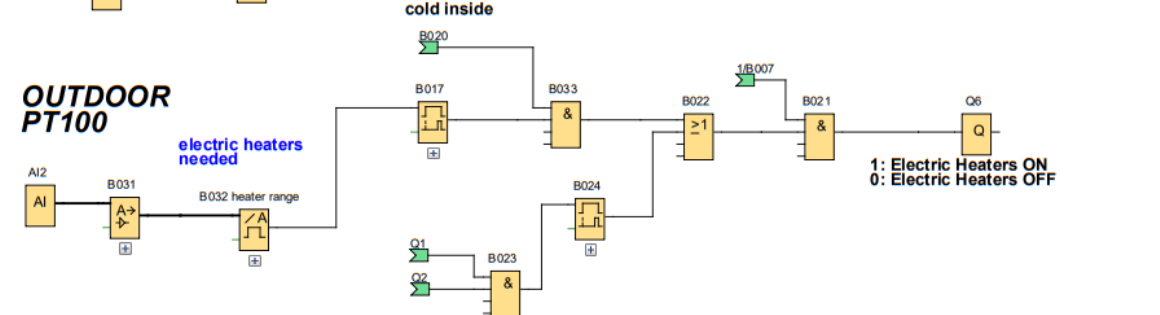
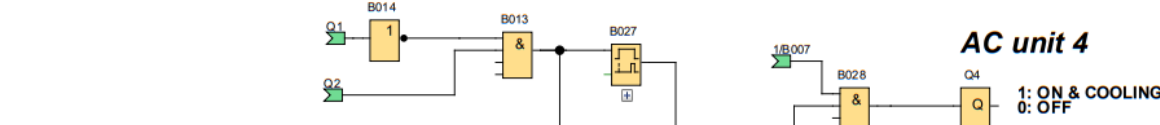
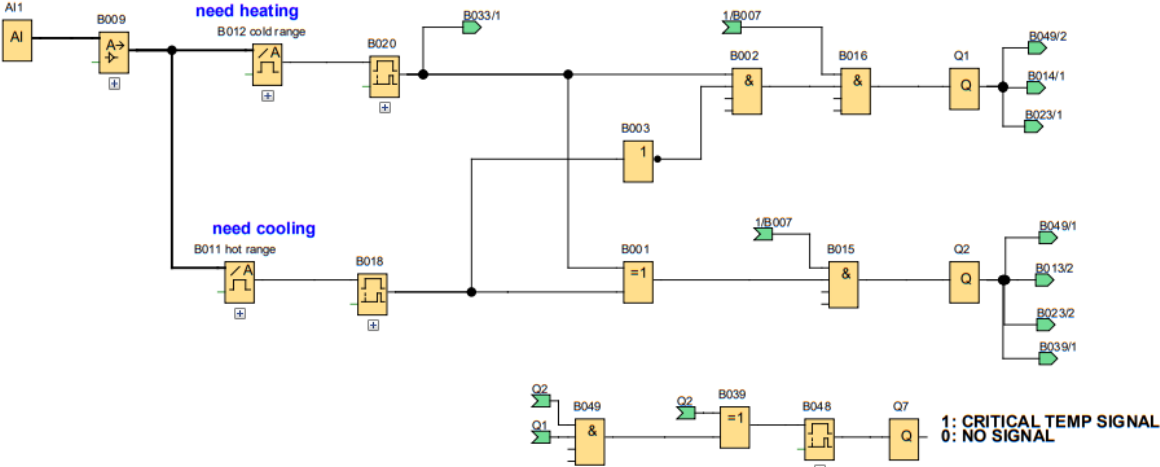
FDS



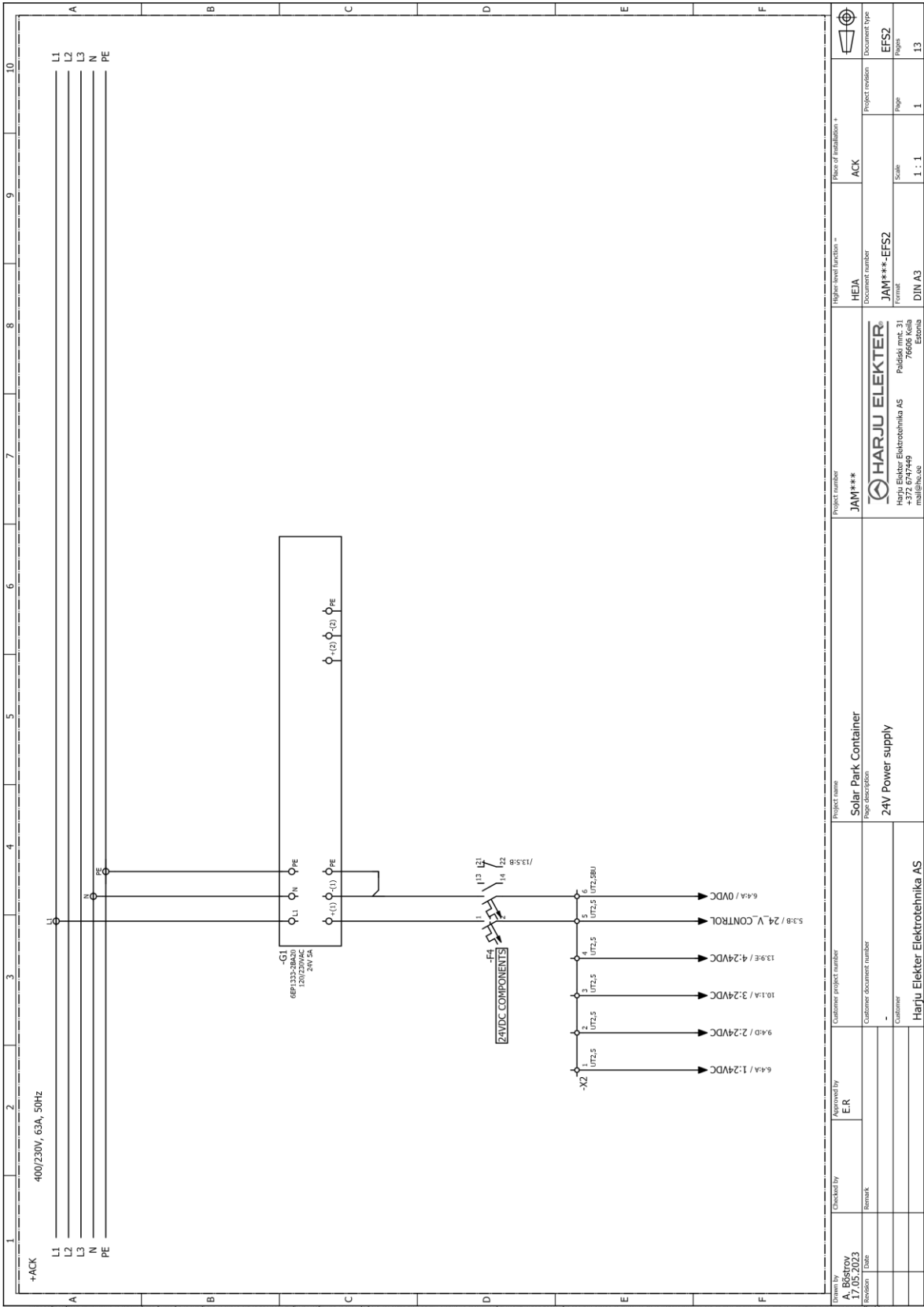
VENT CONTROL



**INDOOR
PT100**

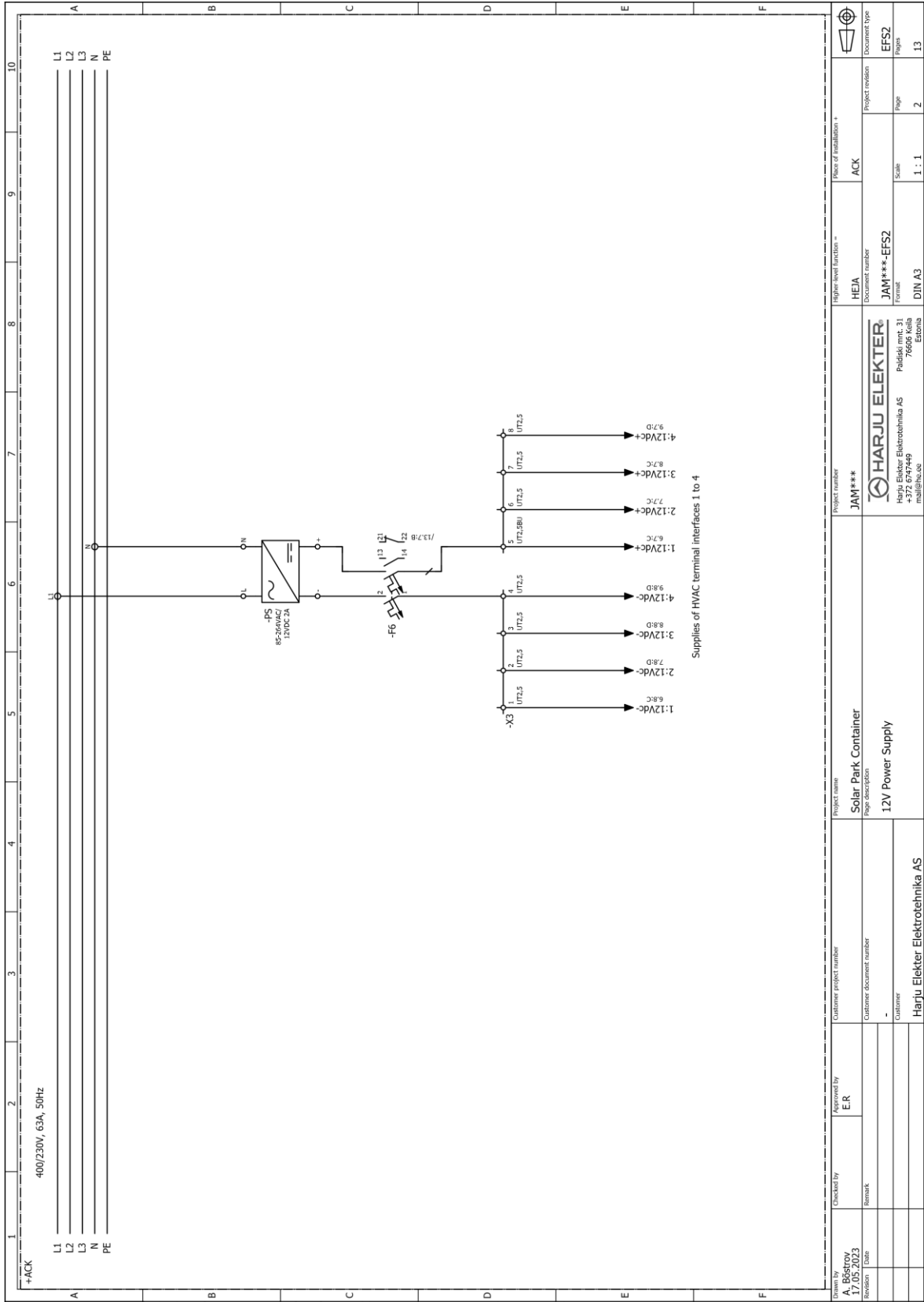


LISA 2.1 Elektriskeem



Drawn by A. Bästrov 17.05.2023	Checked by E.R.	Customer project number Solar Park Container	Project name Solar Park Container	Project number JAM***	Higher level function HEJA	Place of installation ACK
Revision 1	Remark	Customer document number -	Page description 24V Power supply	Document number JAM***-EFS2	Document type EFS2	Project reviser EFS2
		Customer Harju Elekter Elektrotehnika AS		Scale 1 : 1	Page 1	Page 13
				Format DIN A3		
				Company HARJU ELEKTER Harju Elekter Elektrotehnika AS Paldiski mnt 31 76605 Koela mail@he.ee		

LISA 2.2 Elektriskeem



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

A	B	C	D	E	F
---	---	---	---	---	---

400/230V, 63A, 50Hz

L1
L2
L3
N
PE

1:12Vdc
2:12Vdc
3:12Vdc
4:12Vdc

1:12Vdc
2:12Vdc
3:12Vdc
4:12Vdc

1:12Vdc
2:12Vdc
3:12Vdc
4:12Vdc

1:12Vdc
2:12Vdc
3:12Vdc
4:12Vdc

1:12Vdc
2:12Vdc
3:12Vdc
4:12Vdc

1:12Vdc
2:12Vdc
3:12Vdc
4:12Vdc

1:12Vdc
2:12Vdc
3:12Vdc
4:12Vdc

1:12Vdc
2:12Vdc
3:12Vdc
4:12Vdc

1:12Vdc
2:12Vdc
3:12Vdc
4:12Vdc

1:12Vdc
2:12Vdc
3:12Vdc
4:12Vdc

1:12Vdc
2:12Vdc
3:12Vdc
4:12Vdc

1:12Vdc
2:12Vdc
3:12Vdc
4:12Vdc

1:12Vdc
2:12Vdc
3:12Vdc
4:12Vdc

1:12Vdc
2:12Vdc
3:12Vdc
4:12Vdc

1:12Vdc
2:12Vdc
3:12Vdc
4:12Vdc

1:12Vdc
2:12Vdc
3:12Vdc
4:12Vdc

1:12Vdc
2:12Vdc
3:12Vdc
4:12Vdc

1:12Vdc
2:12Vdc
3:12Vdc
4:12Vdc

1:12Vdc
2:12Vdc
3:12Vdc
4:12Vdc

1:12Vdc
2:12Vdc
3:12Vdc
4:12Vdc

1:12Vdc
2:12Vdc
3:12Vdc
4:12Vdc

1:12Vdc
2:12Vdc
3:12Vdc
4:12Vdc

1:12Vdc
2:12Vdc
3:12Vdc
4:12Vdc

1:12Vdc
2:12Vdc
3:12Vdc
4:12Vdc

1:12Vdc
2:12Vdc
3:12Vdc
4:12Vdc

1:12Vdc
2:12Vdc
3:12Vdc
4:12Vdc

1:12Vdc
2:12Vdc
3:12Vdc
4:12Vdc

1:12Vdc
2:12Vdc
3:12Vdc
4:12Vdc

1:12Vdc
2:12Vdc
3:12Vdc
4:12Vdc

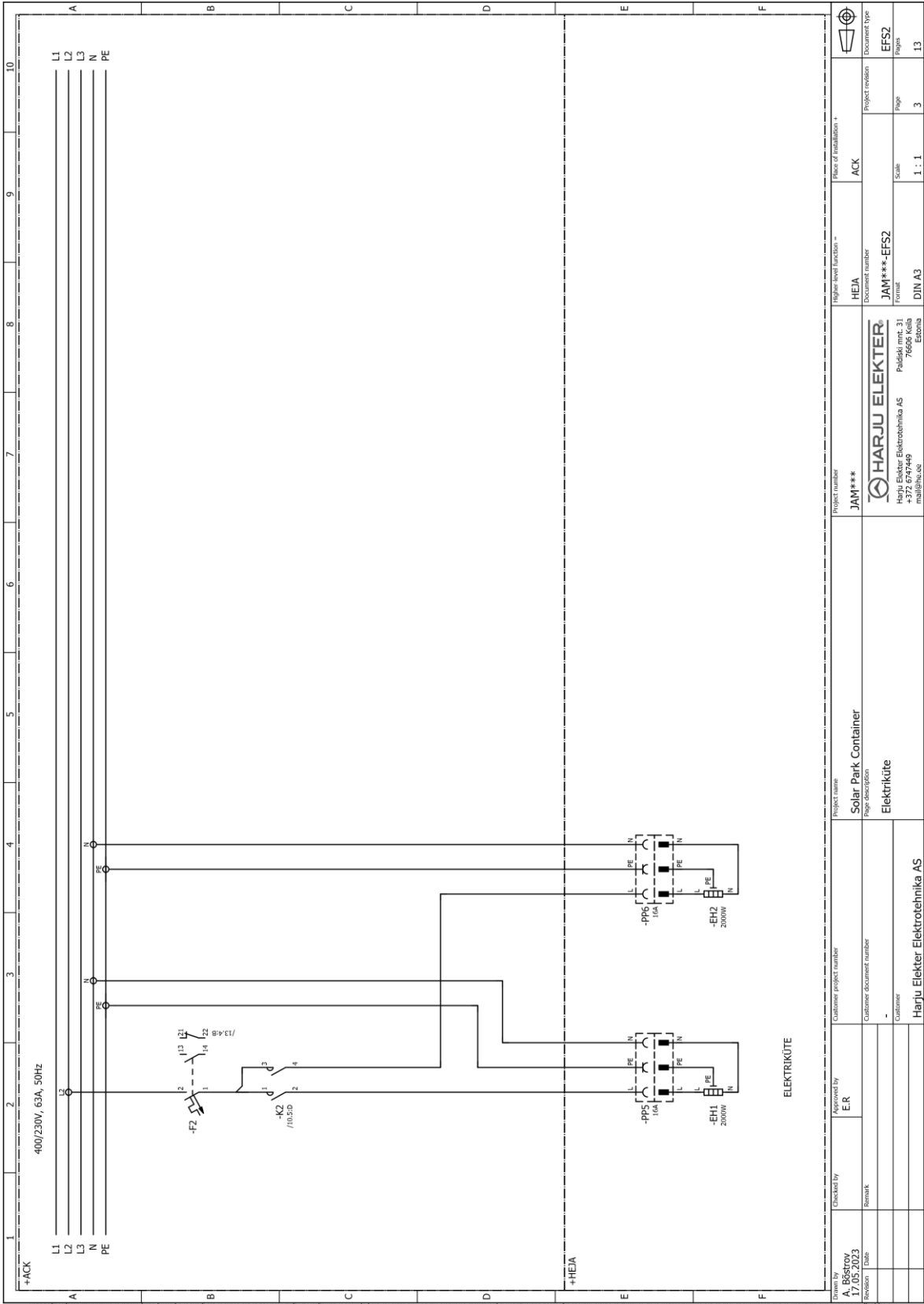
1:12Vdc
2:12Vdc
3:12Vdc
4:12Vdc

1:12Vdc
2:12Vdc
3:12Vdc
4:12Vdc

1:12Vdc
2:12Vdc
3:12Vdc
4:12Vdc

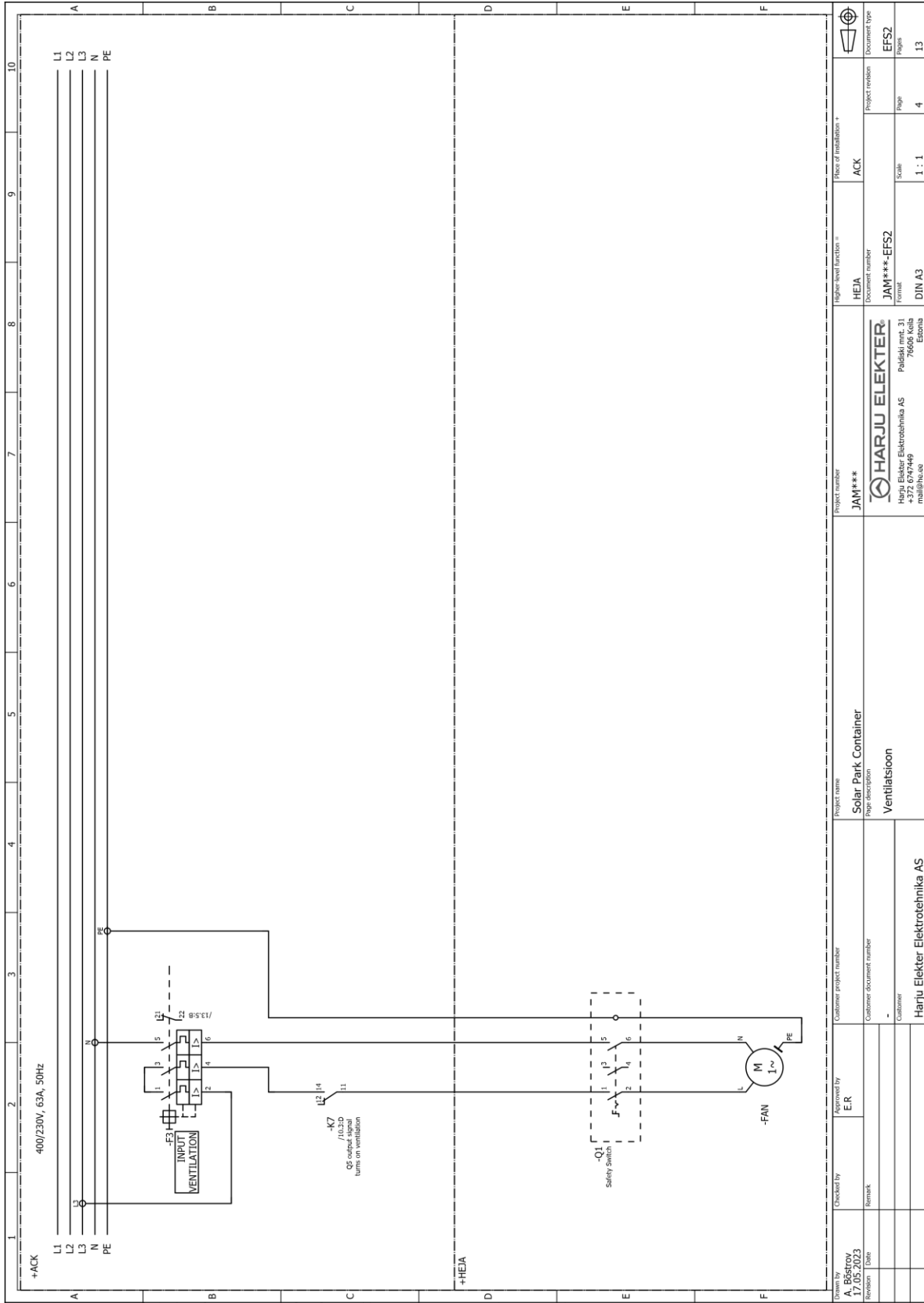
1:12Vdc
2:12Vdc
3:12Vdc
4:12Vdc

Lisa 2.3 Elektriskeem



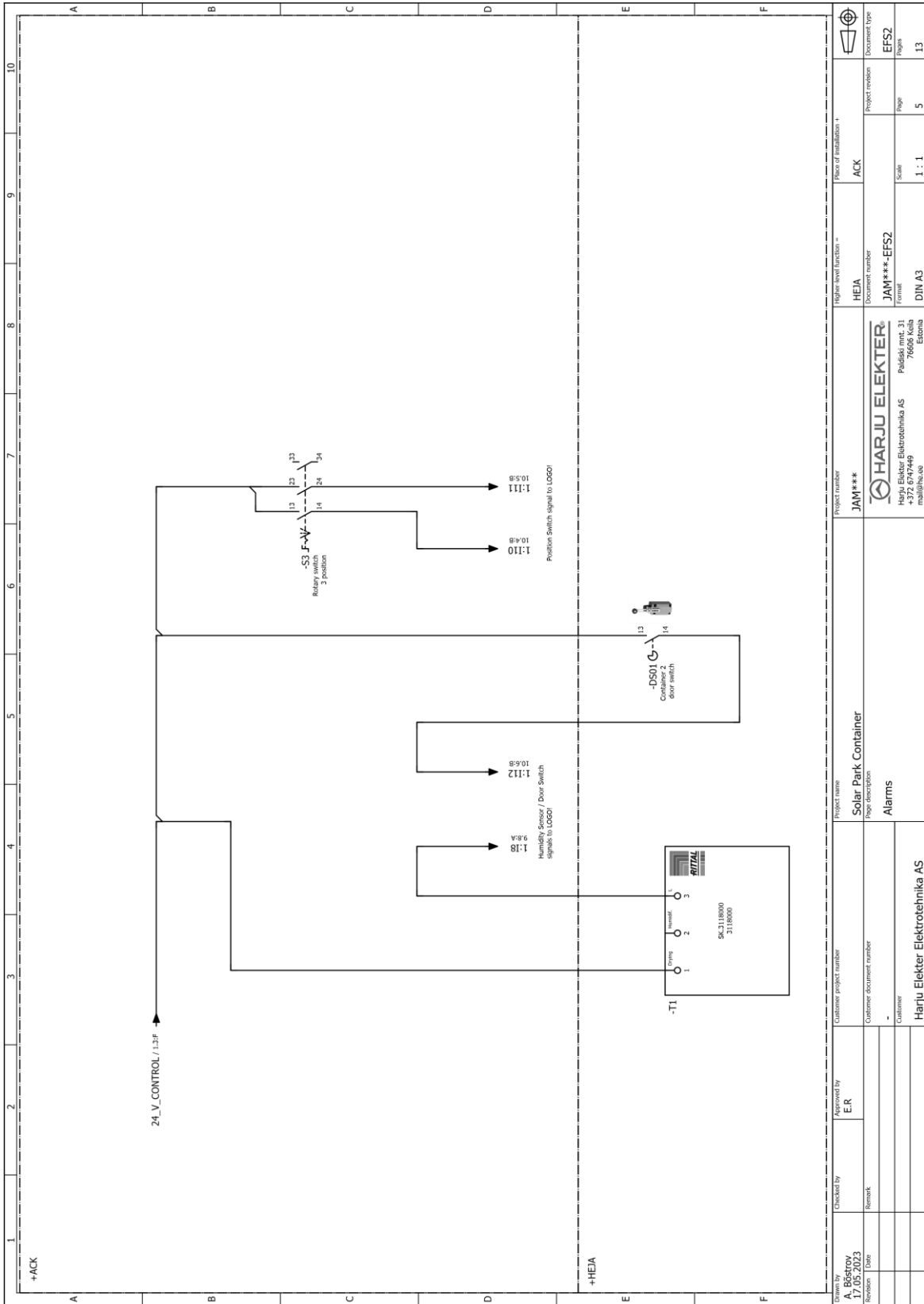
Drawn by A. Bästrov 17.05.2023	Checked by E.R.	Approved by	Customer project number	Project name Solar Park Container	Project number JAM***	Higher level function** HEJA	Place of installation** ACK
Revision	Date	Remark	Customer document number	Page description Elektriküte	Document number JAM***-EFSZ	Document type EFSZ	Project revisor
			Customer	Customer	Formal	Scale	Page
			Harju Elekter Elektrotehnika AS	Harju Elekter Elektrotehnika AS Paldiski mnt 31 76606 Koela +372 6747449 mail@he.ee	DIN A3	1 : 1	3
							Page
							13

Lisa 2.4 Elektriskeem



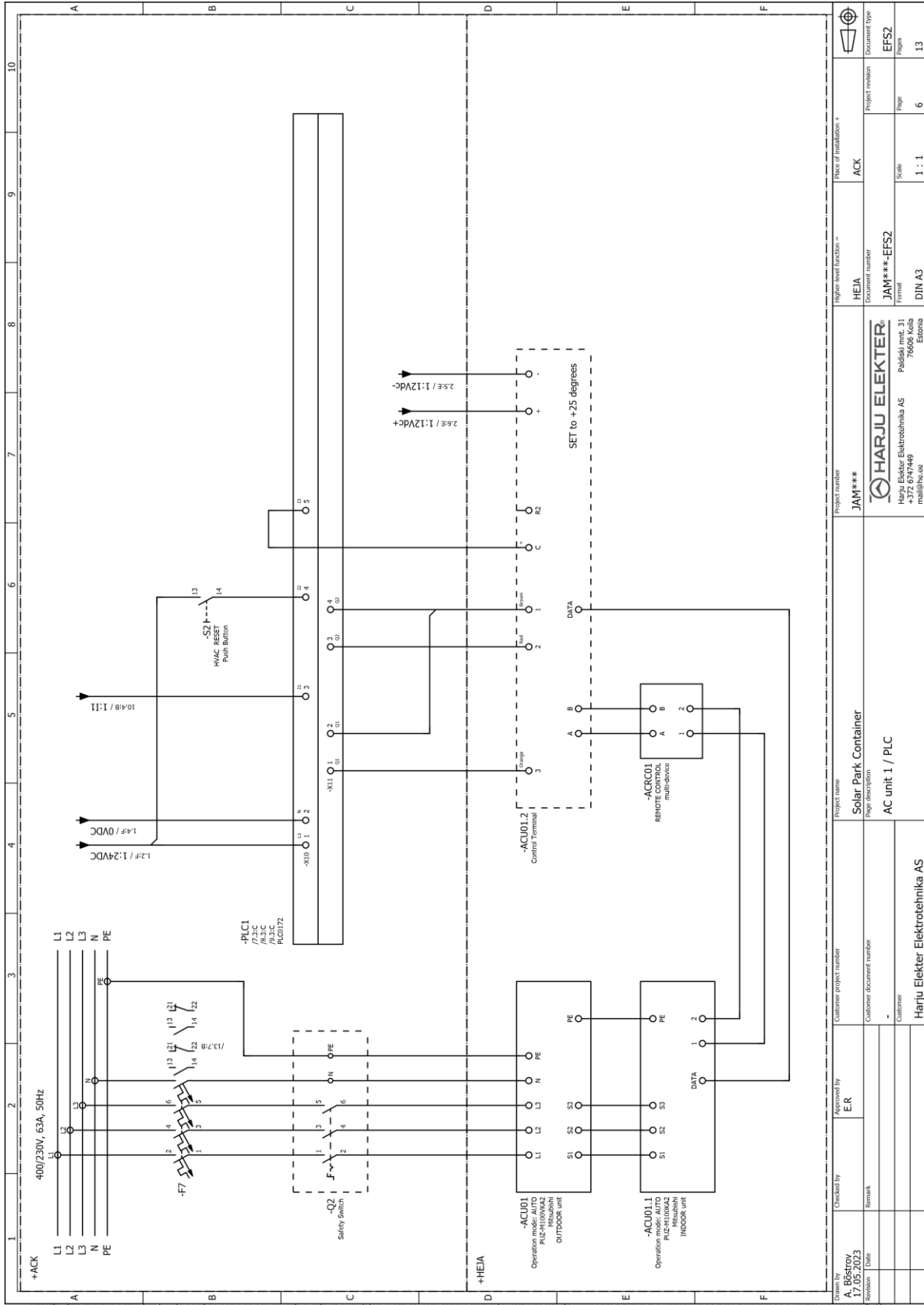
Drawn by A. BRÄSTROV 17.05.2023	Checked by E.R.	Customer project number Solar Park Container	Project name Solar Park Container	Project number JAM***	Higher level function = HEJA	Place of installation = ACK
Revision Date	Remark	Customer document number -	Page description Ventilatsioon	Document number JAM***-EFSZ	Document type EFSZ	Project revision EFSZ
		Customer Harju Elekter Elektrotehnika AS		Format DIN A3	Scale 1 : 1	Page 4
				Company HARJU ELEKTER Harju Elektrotehnika AS Paldiski mnt. 3 41270 Paldiski 76666 Koiva Eesti		Pages 13

Lisa 2.5 Elektriskeem



Drawn by A. Bistrov 17.05.2023	Checked by E.R.	Approved by E.R.	Customer project number	Project name Solar Park Container	Project number JAM***	Higher-level function = HEJA	Sheet of installation + ACK	Document type EFS2
Revision / Date	Remark	Customer document number	Page description Alarms	Document number JAM***-EFS2	Project revision 5	Document type EFS2	Page 5	Pages 13
		Customer	Customer Harju Elekter Elektrotehnika AS	Formal DIN A3	Scale 1 : 1	Formal DIN A3		
				Harju Elekter Elektrotehnika AS Paldiski mnt. 31 76606 Keila maail@hju.ee				

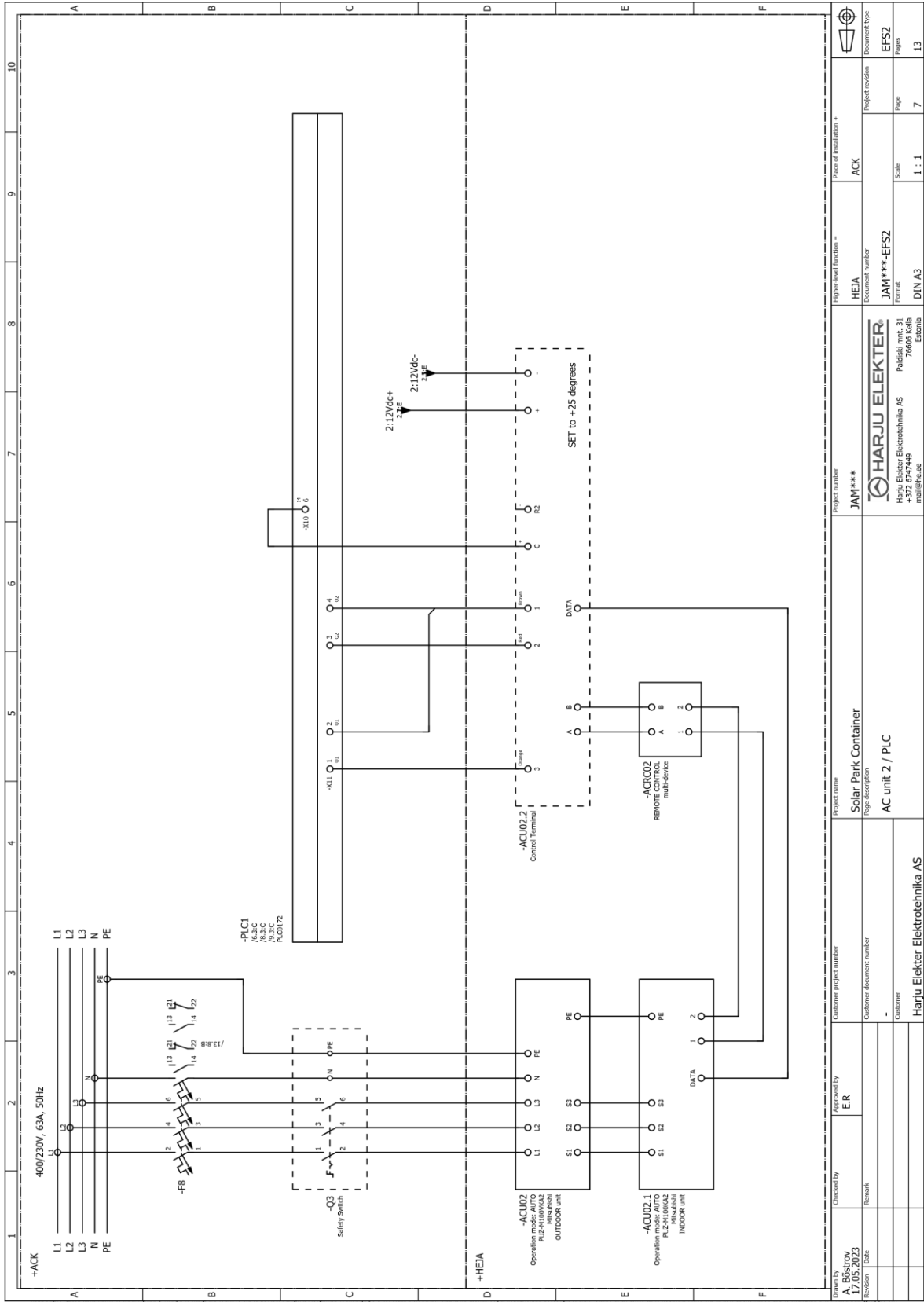
Lisa 2.6 Elektriskeem



Checked by A. Reikrov		Approved by E.R.		Customer project number		Project name		Project number		Higher level function =		Piece of installation =	
17.05.2023				Solar Park Container		Solar Park Container		JAM***		HEJA		ACK	
Revision		Remark		Customer document number		Page description		Document number		Document type		Project revision	
						AC unit 1 / PLC		JAM***-EFS2		EFS2		6	
				Customer		Customer		Format		Scale		Page	
				Harju Elekter Elektrotehnika AS		Harju Elekter Elektrotehnika AS		DIN A3		1 : 1		13	

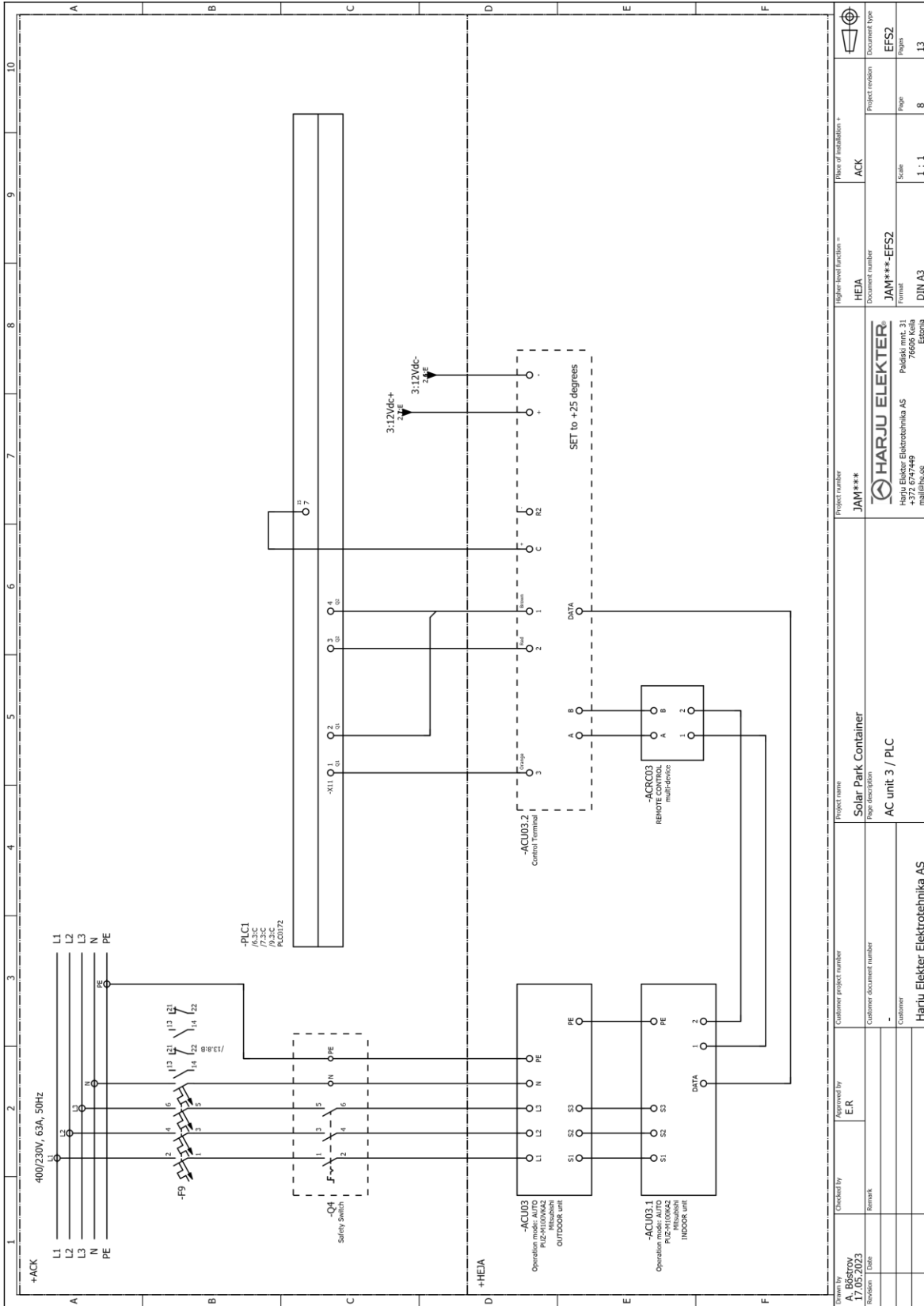
The copyright, distribution and utilization of this document as well as the communication of its contents to others without expressed authorization is prohibited. Offenders will be held liable for the payment of damages. All rights reserved by the owner of the work of a patent, utility model or ornamental design registration.

Lisa 2.7 Elektriskeem



Drawn by A. Bästrov 17.05.2023	Checked by E.R.	Approved by E.R.	Customer project number	Project name Solar Park Container	Project number JAM***	Higher level function = HEJA	Place of installation = ACK
Revision	Remark	Customer document number	Page description AC unit 2 / PLC	Document number JAM***-EFS2	Document type EFS2	Form DIN A3	Scale 1 : 1
		Customer	Harju Elekter Elektrotehnika AS	HARJU ELEKTER Harju Elekter Elektrotehnika AS Paldiski mnt 31 76606 Koiva +372 6747449 mail@he.ee	Page 7	Page 7	Page 13

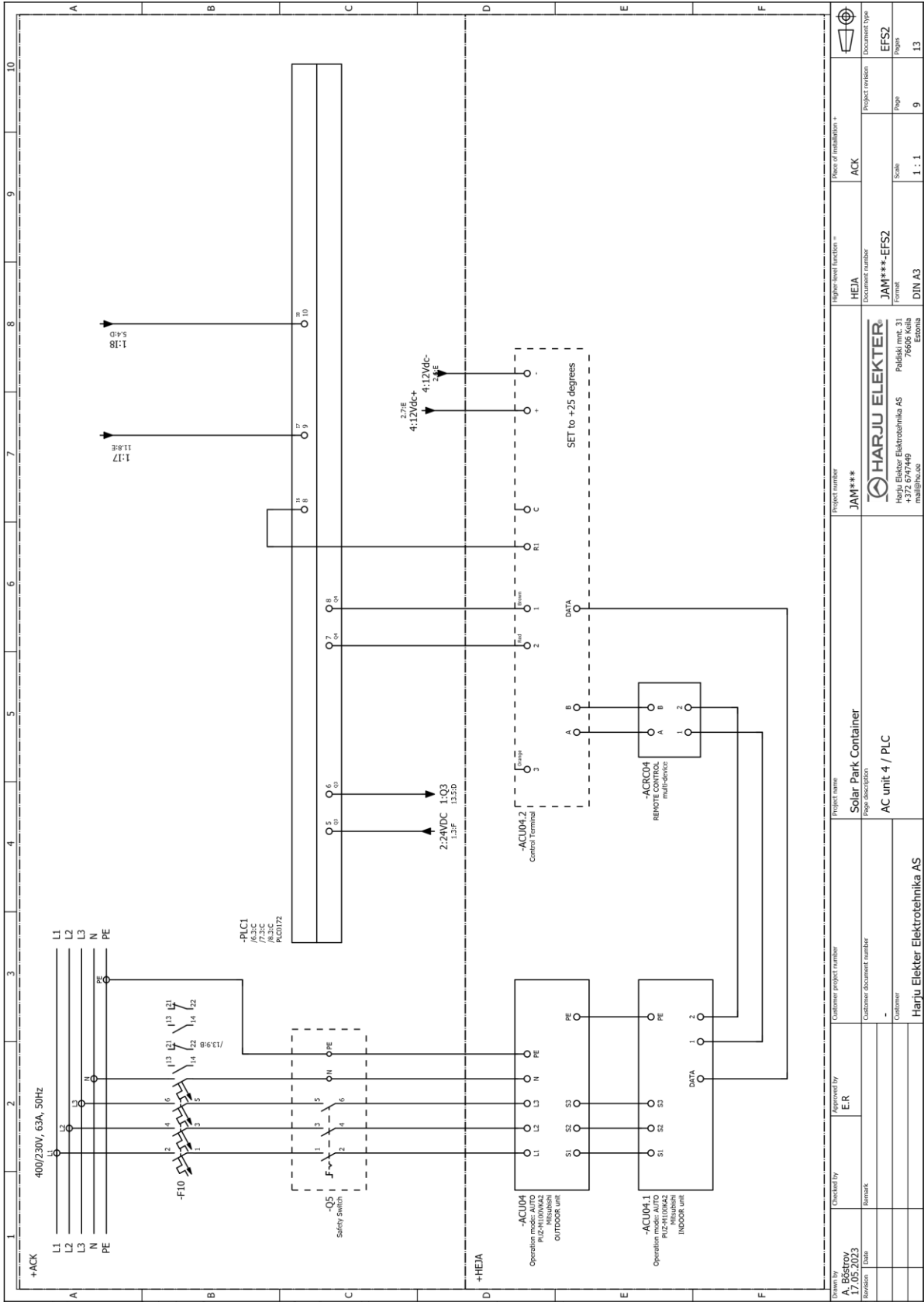
Lisa 2.8 Elektriskeem



The copyright, distribution and utilization of the document as well as the reproduction of its contents by others without expressed authorization is prohibited. Offenders will be held liable for the payment of damages. All rights reserved in the event of the grant of a patent, utility model or ornamental design registration.

Drawn by A. Bästrov 17.05.2023	Checked by E.R.	Customer project number	Project name Solar Park Container	Project number JAM***	Higher level function HEIA	Place of installation ACK	Document type EFS2
Remark	Customer document number	Page description AC unit 3 / PLC	Project number JAM***-EFS2	Document number JAM***-EFS2	Scale 1 : 1	Page B	Page 13
	Customer	Customer Harju Elekter Elektrotehnika AS	Project name Solar Park Container	Project number JAM***	Higher level function HEIA	Place of installation ACK	Document type EFS2
			Page description AC unit 3 / PLC	Document number JAM***-EFS2	Scale 1 : 1	Page B	Page 13

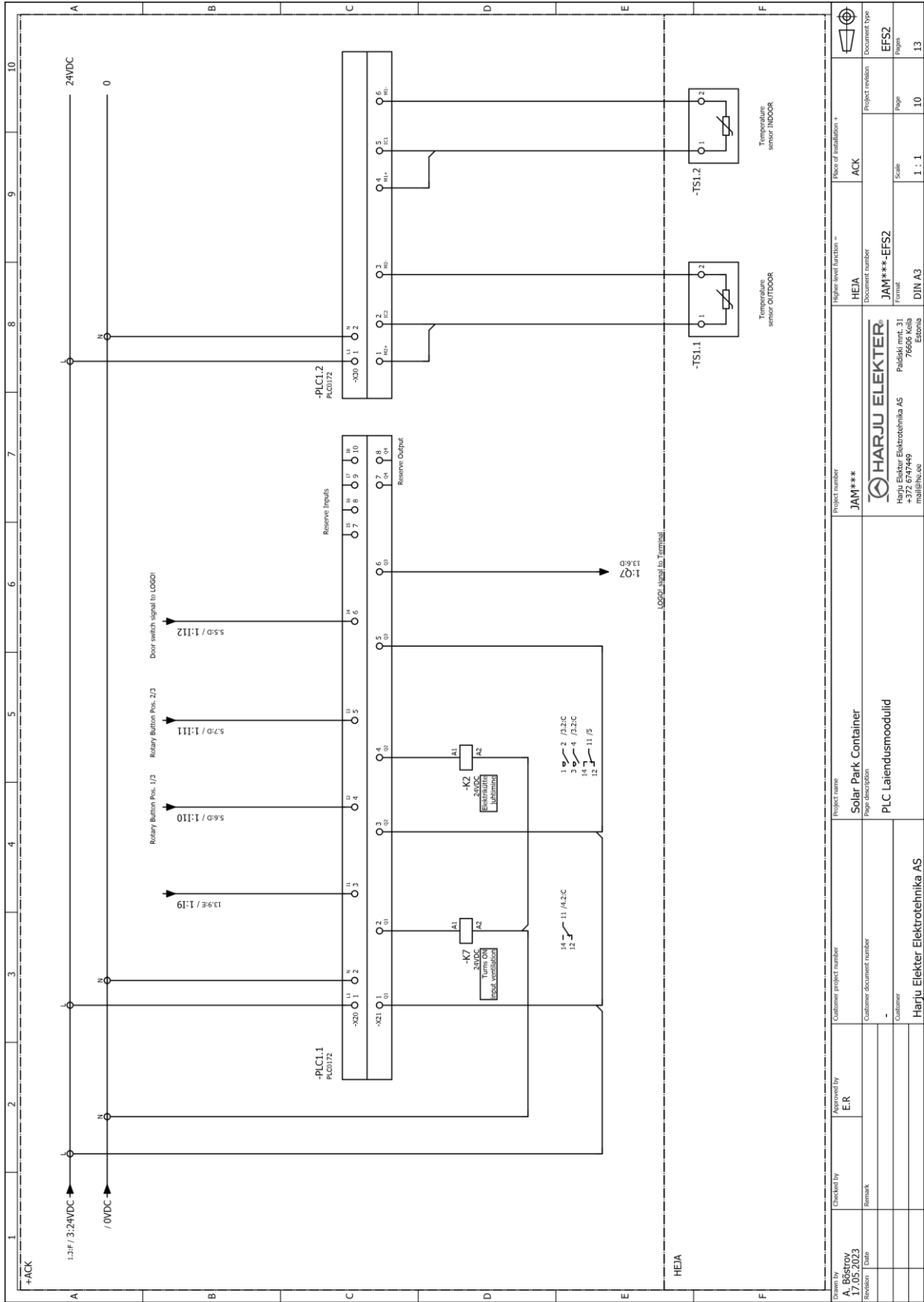
Lisa 2.9 Elektriskeem



Drawn by E.R.	Checked by E.R.	Approved by E.R.	Customer project number -	Project name Solar Park Container	Project number JAM***	Higher level function = HEIA	Place of installation = ACK
Revision 17.05.2023	Remark -	Customer document number -	Customer Harju Elekter Elektrotehnika AS	Page description AC unit 4 / PLC	Document number JAM***-EFS2	Document type EFS2	Project revision -
					Format DIN A3	Page 9	Scale 1 : 1
					Company HARJU ELEKTER Harju Elekter Elektrotehnika AS Paldiski mnt. 31 76606 Kalla Estonia maasign.ee	Page 13	

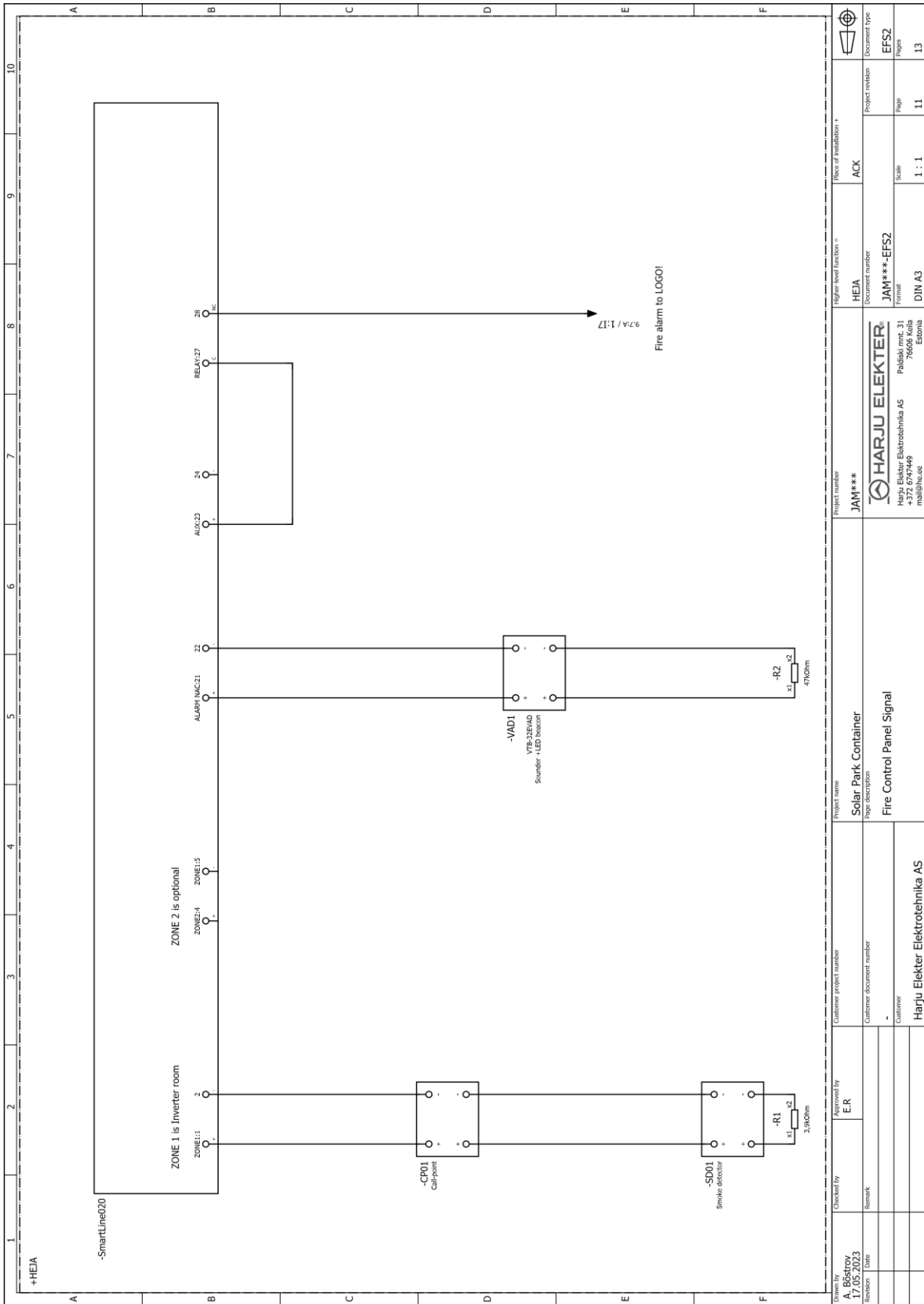
The copyright, distribution and utilization of this document as well as the communication of its contents to others without expressed authorization is prohibited. Offenders will be held liable for the payment of damages. All rights reserved in the event of a patent, utility model or ornamental design registration.

Lisa 2.10 Elektriskeem



Drawn by A. Bästrov 17.05.2023	Checked by E.R.	Customer project number JAM***	Project name Solar Park Container	Project number JAM***	Higher level function HEJA	Place of installation ACK
Revision -	Remark	Customer document number -	Page description PLC laendusmooduld	Document number JAM***-EFS2	Document type EFS2	Project revisor
		Customer Harju Elekter Elektrotehnika AS		Scale 1 : 1	Page 10	Page 13
				Form DIN A3		

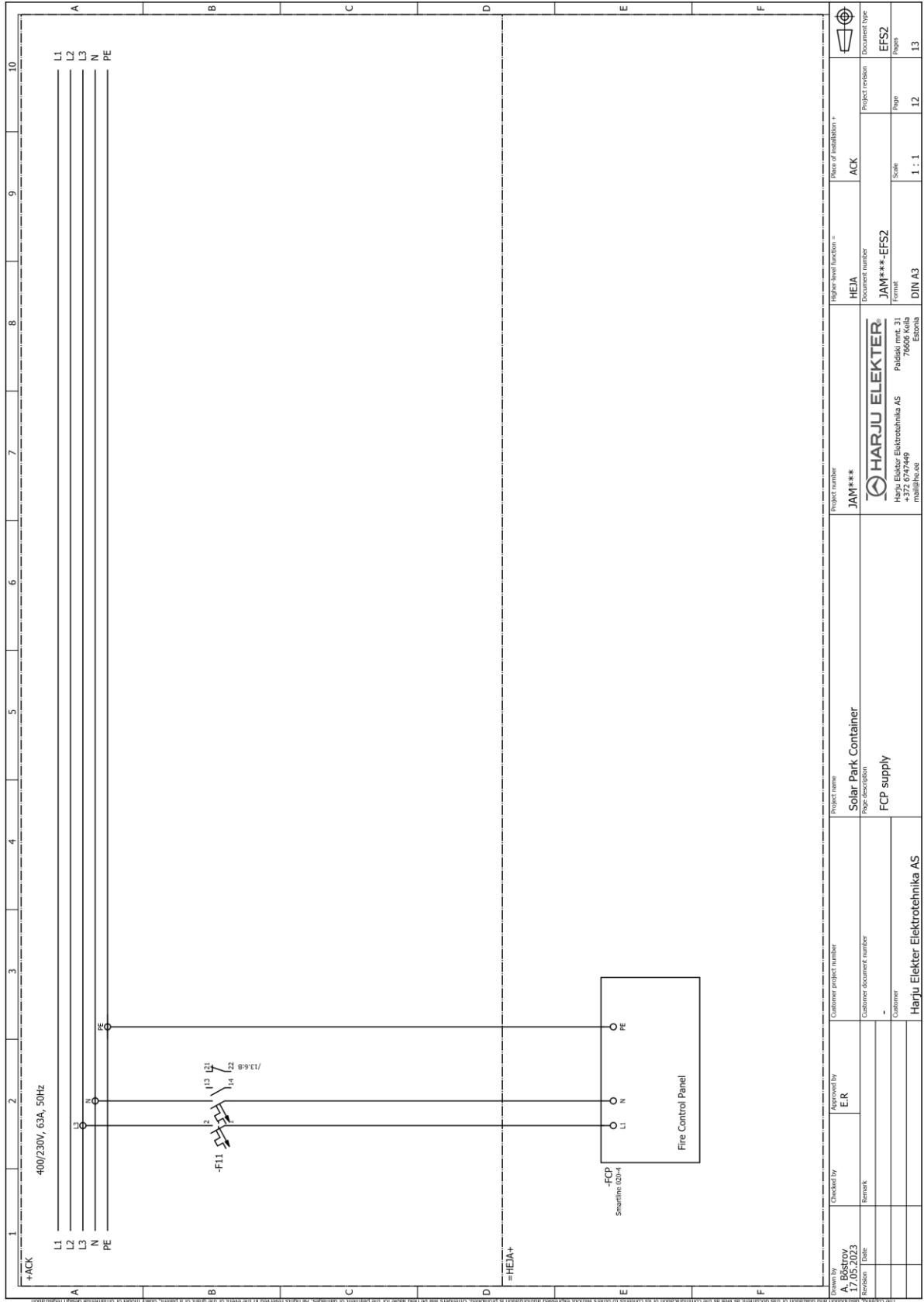
Lisa 2.11 Elektriskeem



Checked by A. Brestov 17.05.2023	Approved by E.R.	Customer project number Solar Park Container	Project name Solar Park Container	Project number JAM***	Higher level function = HEJA	Place of installation = ACK
Remark	Customer document number -	Page description Fire Control Panel Signal	Document number JAM***-EFSZ	Document type EFSZ	Project revision Form	Document type EFSZ
	Customer Harju Elekter Elektrotehnika AS		Customer Harju Elekter Elektrotehnika AS	Form JAM***-EFSZ	Scale 1 : 1	Page 11
				Form DIN A3	Scale 1 : 1	Page 11
				Form DIN A3	Scale 1 : 1	Page 13

The copyright, distribution and utilization of this document as well as the reproduction of its contents to others without expressed authorization is prohibited. Creators will be held liable for the payment of damages. All rights reserved in the event of the grant of a patent, utility model or ornamental design registration.

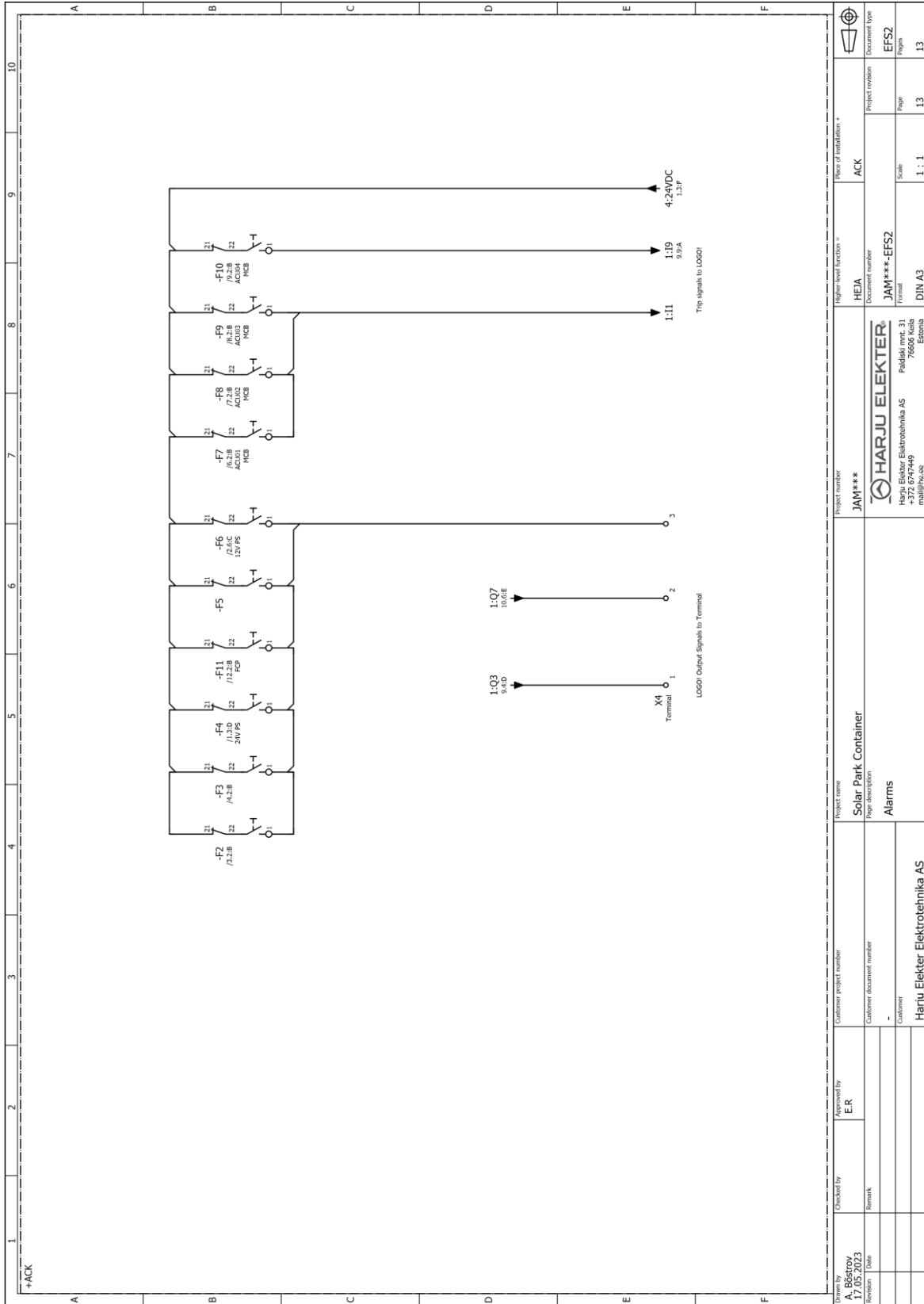
Lisa 2.12 Elektriskeem



Checked by B. Sastry 17.05.2023	Approved by E.K.	Customer project number	Project name Solar Park Container	Project number JAM***	Higher level function = HEJA	Place of installation = ACK
Remark	Customer document number	Customer document number	Page description FCP supply	Document number JAM***-EFS2	Document type EFS2	Project revision
				Format DIN A3	Page 12	Page 13
		Customer Harju Elekter Elektrotehnika AS			Scale 1 : 1	

The copyright, distribution and utilization of this document as well as the communication of its contents to others without expressed authorization is prohibited. Offenders will be held liable for the payment of damages. All rights reserved in the event of a patent, utility model or ornamental design registration.

Lisa 2.13 Elektriskeem



10 9 8 7 6 5 4 3 2 1
+ACK

Drawn by A. Böstrov Revision 17.05.2023	Checked by E.R. Remark	Approved by E.R.	Customer project number JAM***	Project name Solar Park Container	Project number JAM***	Higher level function = HEJA	Place of installation = ACK	Document type EF52
Customer document number -	Customer description Alarms	Customer Harju Elekter Elektrotehnika AS	Document number JAM***-EF52	Page description Alarms	Document number JAM***-EF52	Form DIN A3	Scale 1 : 1	Project revision Page 13
Customer Harju Elekter Elektrotehnika AS	Customer Harju Elekter Elektrotehnika AS	Customer Harju Elekter Elektrotehnika AS	Project number JAM***	Page description Alarms	Document number JAM***-EF52	Form DIN A3	Scale 1 : 1	Project revision Page 13

The copyright, distribution and utilization of this document as well as the reproduction of its contents is prohibited. All rights reserved in the event of a patent, utility model or ornamental design registration.