



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO

INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

OHUTUSRIHMA KONTROLLSEADME ELEKTRI- JA AUTOMAATIKASÜSTEEMI PROJEKTEERIMINE, JUHTSÜSTEEMI LOOMINE JA AJAMITE VALIK

ELECTRICAL- AND AUTOMATION SYSTEM DESIGN, CONTROL SYSTEM
DEVELOPMENT AND DRIVE SELECTION OF SEATBELT CONTROL UNIT

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Sander Mitendorf

Üliõpilaskood: 183218AAAM

Juhendaja: Anton Rassõlkin, Professor

Tallinn, 2020

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.

“.....” 201.....

Autor: Sander Mitendorf

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 201.....

Juhendaja: Anton Rassõlkin

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

Autor: Sander Mitendorf

Lõputöö liik: Magistritöö

Töö pealkiri: Ohutusrihma kontrollseadme elektri- ja automaatikasüsteemi projekteerimine, juhtsüsteemi loomine ning ajamite valik

Kuupäev: 19.05.2020

98 lk

Ülikool: Tallinna Tehnikaülikool

Teaduskond: Inseneriteaduskond

Instituut: Elektroenergeetika ja mehatroonika instituut

Töö juhendaja(d): professor Anton Rassõlkin

Töö konsultant (konsultandid): -

Sisu kirjeldus:

Käesoleva lõputöö eesmärk on töötada välja ohutusrihmade testjaama elektri- ja automaatikasüsteem, valida sobivad elektriajamid seadme funktsionaalseks tööks, luua juhtsüsteem seadme käivitamiseks ja kalibreerida seadme funktsionaalsed osad lõplikuks kasutuselevõtuks ettevõttes AS Norma. Loodav testjaam saab osaks ohutusrihmade tootmisprotsessist täitmaks rihmade 100% kontrolli nõuet ilma milleta ettevõtte tooteid klientidele müüa ei saa.

Lõputöö eesmärkide saavutamiseks viiakse esmalt läbi ohutusrihma testseadme tehnilise ülesande paika panek rahvusvaheliste- ja ettevõttesiseste standardite alusel. Seejärel teostatakse tehnilise ülesande alusel sobivate elektriajamite valik erinevate testide läbi viimiseks. Seadme koostamiseks projekteeritakse kogu elektri- ja automaatikasüsteem valides välja vajalikud komponendid ja luues elektriskeemid. Kui kogu süsteem on projekteeritud ja valmis koostatud, teostatakse juhtsüsteemi programmeerimine, seadme käivitamine ja kalibreerimine seadme vastavuse hindamiseks tehnilises ülesandes paika pandud nõuetele.

Töö tulemusena valmib kõikidele nõuetele vastav ohutusrihma 100 % funktsionaalsuse kontrolli teostav seade, mis on oluliseks osaks ohutusrihmade tootmisahelas.

Märksõnad: automatiseerimine, servoajam, samm-ajam, tööstusautomaatika, magistritöö.

ABSTRACT

<i>Author:</i> Sander Mitendorf	<i>Type of the work:</i> Master Thesis
<i>Title:</i> Electrical- and automation system design, control system development and drive selection of seatbelt control unit	
<i>Date:</i> 19.05.2020	98 pages
<i>University:</i> Tallinn University of Technology <i>School:</i> School of Engineering	
<i>Department:</i> Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics	
<i>Supervisor(s) of the thesis:</i> Professor Anton Rassõlkin <i>Consultant(s):</i> -	
<i>Abstract:</i> The main purpose of this master thesis is to develop an electrical- and automation system, select suitable drive mechanisms, create control system and calibrate all functional parts of a seatbelt control unit in company AS Norma. The developed seatbelt control unit will be a crucial part of the seatbelt production process by fulfilling the the obligation to perform 100 % functionality inspection to all produced seatbelts. Without fully inspecting of every seatbelt, the company is not able to sell products to customers! In order to achieve the purpose, first, a technical specification needs to be put together based on international- and inter company standards, regulations and instructions. Based on these technical aspects suitable electrical drive mechanisms will be selected for functionality tests. Then, in order to get the machine working, all suitable electrical- and automation components will be selected and electrical schematics drawn. If all the components are selected and the system assembled, control system will be developed in order to start the machine and perform the tests. Finally, all the functional systems of the machine will be calibrated to make sure the machine complies all standards brought out in technical specification. As an outcome of this master thesis, there will be a fully functional and approved machine capable of performing 100 % functionality test for retractors produced in AS Norma.	
<i>Keywords:</i> automation, servodrive, stepperdrive, industrial automation, master thesis.	

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema:	Ohutusrihma kontrollseadme elektri- ja automaatikasüsteemi projekteerimine, juhtsüsteemi loomine ning ajamite valik
Lõputöö teema inglise keeles:	Electrical- and automation system design, control system development and drive selection of seatbelt control unit
Üliõpilane:	Sander Mitendorf, 183218AAAM
Eriala:	Energiamuundus- ja juhtimissüsteemid
Lõputöö liik:	Magistritöö
Lõputöö juhendaja:	Anton Rassõlkin
Lõputöö ülesande kehtivusaeg:	Kevad 2020
Lõputöö esitamise tähtaeg:	20.05.2020

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Õppekava juht (allkiri)

1. Teema põhjendus

Käesoleva lõputöö raames töötatakse välja ohutusrihmade testjaama elektri- ja automaatikasüsteem ning valitakse sobilikud ajamid seadme funktsionaalseks tööks ettevõttes AS Norma (edaspidi „ettevõtte“). Testjaam saab osaks ohutusrihmade tootmisprotsessist täitmaks rihmade 100% kontrolli nõuet. Loodava kontseptsiooniga testjaam on ainulaadne, kuna ohutusrihmasid, millele antud seade luuakse, toodetakse vaid ettevõttes AS Norma. Kui töö tulemusena selgub, et loodav lahendus vastab kõikidele rihma testimiseks ette nähtud nõuetele, on üheks võimalikuks variandiks meetodi standardiseerimine ja kasutuselevõtt tulevikus ka uute loodavate ohutusrihmade funktsionaalsuse kontrolliks.

2. Töö eesmärk

Töö eesmärk on paika panna seadmele rakenduvad tehnilised nõuded nii rahvusvahelistest- kui ka ettevõttesisestest standarditest, projekteerida ja valmis ehitada ohutusrihma testjaama elektri- ja automaatikasüsteem, valida välja sobivad ajamid vajalike testide teostamiseks ning verifitseerida ja kalibreerida seade tootmisesse juurutamiseks.

3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

- 1) Ohutusrihma testimiseks vajalike sisendandmete kogumine ettevõtte standarditest, testitavate toodete tehnilistest joonistest ning rahvusvahelistest seadustest ja määrustest.
- 2) Sobivate ajamite valik funktsionaalsete testide teostamiseks.
- 3) Kogu seadme elektri- ja automaatikasüsteemi projekteerimine, sobivate komponentide valik, elektri- ja automaatika osa koostamine, juhtsüsteemi loomine ning seadme käivitus.
- 4) Tehnilise ülesande käigus seadmele püstitatud nõuete kontroll ja seadme kalibreerimine.

4. Lähteandmed

Käesoleva lõputöö ülesannete lahendamisel lähtutakse järgmistest seadustest, määrustest ja dokumentidest:

- ohutusrihma kontrollile esitatavad rahvusvahelised nõuded vastavalt *Regulation No 16 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UNECE)*;
- protsessi loomisel lähtutakse ettevõtte sisemisest standardist, mis defineerib tootmisliini järel asetseva ohutusrihma kontrollseadme töövoo;
- seadme elektri- ja automaatikaosa projekteerimisel lähtutakse järgnevatest standarditest ja määrustest:
 - EC Machinery Directive 2006/42/EC,
 - low Voltage directive 2014/35/EU,
 - safety of machinery EVS-EN ISO 12100:2010;
- seadme kalibreerimisel ja verifitseerimisel kasutatakse ettevõtte akrediteeritud katselabori abi ja taadeldud mõõteseadmeid. Kalibreerimine teostatakse vastavalt ettevõtte sisemistele standarditele ja kalibreerimise juhenditele;
- kõikidele toodetega seotud küsimustele vastab ettevõtte tootearendusosakond ning ohutusrihmade koostamise osakond.

5. Uurimismeetodid

Töö esimeses järgus viiakse läbi seadme funktsionaalse osa analüüs ja tehnilise osa kirjeldus teoreetilisel kujul. Põhiline rõhk on arvutustel, mille põhjal valitakse seadme testsõlme ajamid kallutuse- ja kiirenduse katsete teostamiseks. Arvutamisel lähtutakse katsete iseloomust ja mehaaniliste komponentide massist, mida ajamid peavad liigutama. Samuti koostatakse elektriskeemid seadme koostamiseks.

Kui teoreetiliste arvutuste põhjal on komponendid valitud ja seadme funktsionaalne osa koostatud, alustatakse seadme juhtsüsteemi loomisega. Seejärel viiakse läbi sobivate parameetrite leidmine ja masina kalibreerimine katsetamiste ja katsetulemuste analüüsi teel. Saadud tulemuste alusel hinnatakse seadme vastavust tehnilises osas esitatud nõuetele. Samuti on võimalik saadud tulemuste alusel arvutada erinevaid parameetreid, mille alusel seadet hiljem heaks kiita. Kui tulemused ei vasta etteantud tingimustele, saab korrigeerida seadme parameetreid ning teostada uued mõõtmised, kuniks nõuetele vastavus on garanteeritud.

Kogu seadme elektri- ja automaatikasüsteemide projekteerimine viiakse läbi eelkõige erialalist kirjandust ning teemale aktuaalseid Eesti standardeid analüüsides.

6. Graafiline osa

Olulisemad tabelid:

- 1) Seadme elektri- ja automaatikasüsteemis kasutatavate oluliseamte seadmete tehnilisi andmeid kirjeldavad tabelid.
- 2) Nõrk- ja tugevvoolu komponentide ja tarbitavate vooluhulkade tabelid.
- 3) Valitud tööstuskontrolleri tehnilised andmed.
- 4) Voodiagrammides kasutatavate sümbolite loetelu.
- 5) Ettevõtte ohutusrihma kontrolljaamale kohalduva sisemise standardi sisu, ehk nõuded, millele testjaam peab vastama.
- 6) Ohutusrihma testjaama vastavuse kriteeriumite tabel.
- 7) Kalibreerimise katsetulemuste tabelid.

Olulisemad joonised:

- 1) Joonised seadme 3D mudelist, mille alusel kirjeldatakse seadme mehaanilise osa tööd ja funktsionaalsete komponentide paigutust.
- 2) Katsetamise teel saadud kiirendusgraafikud.

Olulisemad skeemid:

- 1) Juhitava tehnoloogia ja seadmete plokk skeem.
- 2) Juhtsüsteemi programmi kõrgema taseme- ja põhiosa struktuurskeemid.
- 3) Seadme elektriskeemid.
- 4) Olulisemate elektri- ja automaatikasüsteemi komponentide andmelehed.
- 5) Juhtsüsteemi olulisemate sõlmede voodiagrammid.

Käesoleva töö puhul asetseb suurem osa graafilisest osast töö lisades. Peamine osa skeemidest ja tabelitest paigutatakse töö põhiossa.

7. Töö struktuur

1. Seadme eesmärgi ning tööpõhimõtte formuleerimine
 - 1.1 Lühülevaade testitavatest ohutusrihmadest
 - 1.2 Ohutusrihma funktsionaalsusele esitatavad nõuded (nii ettevõtte sisesed, kui ka rahvusvahelised standardid)
 - 1.3 Testjaama tehnoloogia ja mehaanilise osa lühikirjeldus
2. Funktsionaalseid teste teostavate elektriajamite projekteerimine
 - 2.1 Elektriajamite projekteerimise alused (ajami tüübi valik, mootorite valiku alused)
 - 2.2 Elektriajami projekteerimine kallutustesti teostamiseks
 - 2.3 Elektriajami projekteerimine kiirendustesti teostamiseks
3. Elektri- ja automaatikasüsteemi projekteerimine
 - 3.1 Automaatikasüsteemi projekteerimine (komponentide valik, tehnoloogia skeem)
 - 3.2 Elektrisüsteemi projekteerimine (tugev- ja nõrkvoolu ahela projekteerimine, komponentide valik)
4. Seadme juhtprogramm, selle osad ja struktuur
 - 4.1 Programmi kõrgema taseme- ja põhiosa struktuur
 - 4.2 Voodiagrammid
 - 4.3 Kasutajaliidese ülesehitus
 - 4.4 Festo mootorite juhtimine
5. Liikumist teostavate sõlmede kalibreerimine
 - 5.1 Ülevaade kalibreerimise metoodikast
 - 5.2 Samm-ajami kalibreerimine
 - 5.3 Servoajami kalibreerimine

8. Kasutatud kirjanduse allikad

Töö teoreetilise analüüsi teostamisel kasutatakse eelkõige ettevõtte sisemisi eeskirju ja standardeid, Eesti standardeid, Euroopa määruseid ning erialast kirjandust. Peamised kasutatavad allikad on:

- 1) United Nations Economic Commission for Europe, „Regulation No 16 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UNECE) — Uniform provisions concerning the approval of: I. safety-belts, restraint systems, child restraint systems and Isofix child restraint systems for occupants of power-dr,” Regulation No 16 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UNECE) — Uniform provisions concerning the approval of: I. safety-belts, restraint systems, child restraint systems and Isofix child restraint systems for occupants of power-dr, 2007.

- 2) T. Lehtla, „Elektriamid. Üldkursus,“ TTÜ elektriamite ja jõuelektroonika instituut, Tallinn, 2005.
- 3) E. P. U. L. Margus Müür, Application of PLC in Industrial Automation, Tallinn: ISBN, 2011.
- 4) EVS-EN 60204 – 1: 2018 Masinate ohutus. Masinate elektriseadmed. Osa 1: Üldnõuded
- 5) O. M. R. Laaneots, Mõõtmise alused, 2002.

9. Lõputöö konsultandid

Konsultandid puuduvad

10. Töö etapid ja ajakava

- 1) Kirjanduse läbitöötamine, lähteandmete kogumine ja tehnilise ülesande paika panek (03.03.2020).
- 2) Arvutuste teostamine seadme testsõlme funktsionaalse osa elektriamite valikuks. Sobivate elektriamite valik (16.03.2020).
- 3) Seadme elektri- ja automaatikasüsteemi projekteerimine ja komponentide valik. Elektri- ja automaatikaosa koostamine (27.03.2020).
- 4) Seadme juhtsüsteemi teoreetiline kirjeldus ja algoritm. Juhtsüsteemi loomine (tööstuskontrolleri programmeerimine) ja seadme käivitamine (10.04.2020).
- 5) Seadme katsetamise teel saadud mõõtetulemuste analüüs ja sobivate parameetrite leidmine seadme kalibreerimiseks. Seadme verifitseerimine ja nõuetele vastavaks tunnistamine (01.05.2020).
- 6) Lõputöö teoreetilise osa täiendamine ja kokkuvõtte kirjutamine. Töö esimene versioon valmis ja esitatud juhendajale ning retsensendile läbilugemiseks (04.05.2020).
- 7) Juhendajalt saadud viimase tagasiside põhjal töö täiustamine ja viimistlemine (10.05.2020).
- 8) Töö lõplik versioon valmis. Lõputöö esitamine kaitsmiseks (20.05.2020).

SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE.....	3
ABSTRACT	4
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE.....	5
EESSÕNA.....	12
KASUTATUD LÜHENDITE JA SÜMBOLITE NIMEKIRI.....	13
1. SEADME EESMÄRGI NING TÖÖPÕHIMÕTTE FORMULEERIMINE	15
1.1 Lühiülevaade testitavatest ohutusrihmadest	15
1.2 Ohutusrihma funktsionaalsusele esitatavad nõuded	16
1.2.1 Ettevõtte sisemistest eeskirjadest tulenevad nõuded	16
1.2.2 Rahvusvahelisest regulatsioonist tulenevad nõuded	17
1.3 Testjaama tehnoloogia- ja mehaanilise osa lühikirjeldus	18
2. FUNKTSIONAALSEID TESTE TEOSTAVATE ELEKTRIAJAMITE PROJEKTEERIMINE	21
2.1 Elektrijamite projekteerimise alused	21
2.1.1 Elektrijami tüübi valiku kriteeriumid	22
2.1.2 Elektrimootori valiku kriteeriumid	22
2.2 Elektrijami projekteerimine kallutustesti teostamiseks	25
2.3 Elektrijami projekteerimine kiirendustesti teostamiseks	28
3. ELEKTRI- JA AUTOMAATIKASÜSTEEMI PROJEKTEERIMINE	35
3.1 Automaatikasüsteemi projekteerimine	35
3.1.1 Juhtsüsteemi komponentide valik.....	35
3.1.2 Turvaahela komponentide valik	37
3.1.3 Skänneri valik.....	38
3.1.4 Juhitava tehnoloogia ja juhitavate seadmete plokk skeem	38
3.2 Elektrisüsteemi projekteerimine.....	39
3.2.1 Elektrisüsteemi üldiste komponentide valik	39
3.2.2 Nõrkvoolu toiteahela projekteerimine	40
3.2.3 Hädaseiskamissüsteemi turvaahela projekteerimine	41
3.2.4 Vahelduvvoolu toiteahela projekteerimine	41
4. SEADME JUHTPROGRAMM, SELLE OSAD JA STRUKTUUR	43
4.1 Programmi kõrgema taseme- ja põhiosa struktuur.....	43
4.2 Loodavat juhtsüsteemi kirjeldavad voodiagrammid	45
4.3 Kasutajaliidese ülesehitus.....	46

4.4 Festo mootorite konfiguratsioon.....	47
4.4.1 Servoajami konfiguratsioon tarkvaras Festo Configuration Tool	48
4.4.2 Samm-ajami konfiguratsioon tarkvaras Festo Automation Suite	49
5. LIIKUMIST TEOSTAVATE AJAMITE KALIBREERIMINE JA VERIFITSEERIMINE.....	50
5.1 Kalibreerimise metoodika ja kalibreerimisele esitatud nõudmised	50
5.2 Samm-ajami kalibreerimine	51
5.3 Servoajami kalibreerimine	52
KOKKUVÕTE	57
KASUTATUD KIRJANDUS.....	58
LISAD	60
LISA 1 – Ettevõttepoolsed nõuded ohutusrihma testjaamale.....	61
LISA 2 – Samm-mootori tehniline andmeleht	66
LISA 3 – Servomootori tehniline andmeleht	67
LISA 4 – Seadme tugev- ja nõrkvoolu elektriskeem	68
LISA 5 – Testjaama olulisemate tööprotsesside voodiagrammid.....	93

EESSÕNA

Antud magistritöö raames loodud seadme vajadus kerkis esile ettevõttes AS Norma. Selles ettevõttes viidi läbi ka kõikide käesoleva magistritöö raames tehtud tööd ja andmete kogumine.

Siinkohal sooviksin tänada ettevõtte AS Norma juhtkonda, et mulle anti luba käesoleva seadme arendusprotsessist kirjutada käesolev magistritöö. Samuti sooviksin tänada AS Norma mõõtekeskuses töötavaid insenere Andres Kali ja Indrek Võrklaeva, kelle nõu ja jõu ning koostööga sai pandud paika kogu seadme tehniline ülesanne ja kellega koos viisime läbi seadme heakskiiduks vajaliku kalibreerimise.

Lisaks sellele avaldan tänu ka kogu Tallinna Tehnikaülikooli personalile ja kaastudengitele, kellega olen nii bakalaureuse- kui ka magistriõpingute käigus kokku puutunud. Tänu kõigile teile olen oma õpingute jooksul omandanud väga palju olulisi ja vajalikke teadmisi, millest oli väga palju kasu antud lõputöö kirjutamisel.

Olen samuti tänulik kogu oma perekonnale, eelkõige elukaaslasele. Nemad toetasid mind kogu õpingute vältel ja andsid motivatsiooni õpingute õigeaegseks lõpetamiseks.

Viimasena sooviksin tänada ka oma juhendajalt, professor Anton Rassõlkinit. Tema kommentaarid ja nõuanded töö kirjutamisel olid väga suureks abiks.

KASUTATUD LÜHENDITE JA SÜMBOLITE NIMEKIRI

AC – alalisvool;

ALR – automaatselt lukustuv sissetõmbeseadis;

AS – aktsiaselts;

CPU (*central processing unit*) – protsessor;

DC – vahelduvvool;

DO – digitaalne väljund;

DI – digitaalne sisend;

HMI (*human machine interface*) – kasutajaliides;

PLC (*programmable logic computer*) – tööstuskontroller;

POU – programmi korralduslik plokk;

UNECE (*United Nations Economic Commission for Europe*) – ÜRO Euroopa Majanduskomisjon;

SISSEJUHATUS

Käesoleva magistritöö teema kerkis esile seoses ettevõtte AS Norma ohutusrihma koosteliini ümberehitusega. Nimelt kadus uue liini loomisega võimekus teostada toodetavatele ohutusrihmadele kohustuslik 100 % funktsionaalsuse kontroll (ilma 100 % kontrolli teostamata ei ole võimalik ohutusrihmasid kliendile müüa). Sellega seoses tekkis vajadus uue, nii ettevõtte- kui ka rahvusvahelistest standardites välja toodud ohutusrihma funktsionaaluste nõudeid kontrolliva seadme järele. Kuna ettevõtte poolt toodetud ohutusrihmade näol ei ole tegemist standardtoodetega ja iga tootegrupp on erineva ehitusega, ei olnud võimalik turult valmis seadet soetada. Seega tuli sobiva funktsionaalsusega seade ise valmis ehitada.

Antud seadme välja arendamine ja ehitamine anti ülesandeks ettevõttes olevale arendusosakonnale. Üheks arendusosakonna liikmeks on ka lõputöö autor. Kogu seadme mehaanilise osa kontseptsiooni töötas välja arendusosakonnas töötav mehaanikainsener. Mehaanika osa projekteerimisel lähtuti eelkõige UNECE rahvusvahelises regulatsioonis nr.16 (Regulation No 16 of the Economic Commission for Europe of the United Nations) välja toodud nõuetest ja soovitudest. Samuti ka ohutusrihma konstruktsioonist ja kliendi joonisel asuvatest eeskirjadest. Kogu elektri- ja automaatikaosa projekteerimine, komponentide valik, seadme käivitamine koos juhtsüsteemi loomisega ja kalibreerimine lõplikuks heakskiiduks jääb lõputöö autori teha.

Magistritöö eesmärkide saavutamiseks viiakse läbi erinevate rahvusvaheliste- ja ettevõtte sisemiste standardite analüüs tehnilise ülesande paika panekuks. Paika pandud tehnilise ülesande toel teostatakse ajamite valik, valitakse kõik automaatikakomponendid, projekteeritakse seadme vahelduv- ja nõrkvoolu ahelad ning luuakse kogu juhtsüsteem seadme käivitamiseks. Viimase sammuna veendutakse kogu seadme töökindluses, viies läbi kalibreerimise kõikide nõuete vastavuse hindamiseks. Töö põhiosas kirjeldatakse eelkõige komponentide valikut. Elektriskeemid ja juhtsüsteemi loomisel koostatavad voodiagrammid tuuakse välja töö lisades. Lisades tuuakse välja ka olulisemate valitud komponentide andmelehed.

Töö erinevates etappides kasutatakse erinevaid tarkvarasid. Seadme mehaanika osa analüüsimiseks ja inertsmomentide leidmiseks kasutatakse SolidWorks tarkvara. Elektriskeemide koostamisel kasutatakse DesignSpark Electrical tarkvara. Elektriajamite valikul kasutatakse Festo Positioning Drives tarkvara. Festo elektriajamite parameetrite paika panekuks kasutatakse nii Festo Automation Suite tarkvara kui ka Festo Configuration Tool tarkvara. Tööstuskontrolleri programmeerimine viiakse läbi kasutades TIA Portal V15 tarkvara.

1. SEADME EESMÄRGI NING TÖÖPÕHIMÕTTE

FORMULEERIMINE

Järgnevas peatükis antakse ülevaade testitavatest ohutusrihmadest ja nende funktsionaalsusest tuues välja ka kõik rahvusvaheliselt- ja ettevõttesiseselt paika pandud nõuded. Lisaks sellele kirjeldatakse ohutusrihma testjaama mehaanilist kontseptsiooni, millele elektri- ja automaatikasüsteem projekteeritakse. Selles peatükis välja toodud informatsiooni alusel määratakse kõik testjaamale esitatavad nõuded.

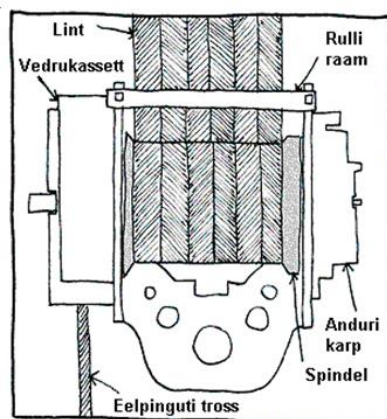
1.1 Lühiülevaade testitavatest ohutusrihmadest

Ohutusrihm on osa sõiduki keerulisest reisija turvalisust tagavast süsteemist. Funktsionaalselt on kõikidel ohutusrihmadel üks ülesanne – vältida liiklusõnnetuse olukorras autos istujate liikumist istmest välja. Tänu sellele takistatakse autos olija kokkupuutumist auto sisustusega ja autost välja viskumist, millega vähendatakse tõsiste kehavigastuste tekkimist. Lisaks eelnevale on ohutusrihma ülesandeks ka reisija hoidmine järsu pidurdamise või auto rappumise korral.

AS Norma on erinevat tüüpi ohutusrihmasid tootnud juba väga pikki aastaid. Käesolev testjaam projekteeritakse ja ehitatakse R23L tüüpi ohutusrihmade kontrollimiseks. Lähtudes asjaolust, et tegemist on ühte tüüpi rihmaga võiks eeldada, et üks artikkel sobib kõikidele klientidele. Nii see paraku ei ole. Iga auto on oma konstruktsioonilt ja olemuselt erinev, mis tähendab, et ka asukoht, kuhu ohutusrihm paigutatakse on erinev (kinnituspunkt, nullasend jne). Lisaks eristatakse ka parema- ja vasaku käe (ehk juhi- ja kõrvalistuja poolseid) rihmasid, esimestele ja tagumistele istmetele paigaldatavaid rihmasid ning elektrilisi- ja mitte-elektrilisi rihmasid (lukustumine käivitatakse kas ohutusrihma sees oleva mehaanilise lülitiga või auto poolt antava signaaliga). Samuti on erinevad ka sõidu- ja veoauto rihmad. Kõikidest nendest erinevustest tulenevalt on väga palju erinevate parameetritega rihmasid, mida tuleb kontrollida.

Ohutusrihma kõige olulisemaks alamkoostuks on rull (joonis 1.1). Rull koosneb spindlist, millele keritakse lint, vedrukassetist, milles olev vedru kerib linti ning anduri karbist, milles olevad andurid takistavad vajadusel spindli pöörlemise. Rulli ülesandeks on linti rihma seest väljutada ning maha keritud linti tagasi rullis asuvale poolile kerida. Oluline on märkida, et teatud olukordades on lindi liikumine lubatud ning teistes olukordades peab see olema takistatud. Üheks selliseks olukorraks, kus lint ei tohi liikuda, on sõidukiiruse järsk vähenemine, mis võib olla tingitud kas pidurdamisest

või kokkupõrkest. Teine situatsioon, kus lint peab olema blokeeritud, on auto kaldumine normaalasendist välja.



Joonis 1.1 Ohutusrihma rulli põhimõtteskeem (ettevõtte sisemistest allikatest)

Sõiduki järsule pidurdamisele reageerib rulli sees olev lindi kiirenduse andur, mis aktiveerub, kui linti tõmmatakse rullilt maha liiga suure kiirendusega. Järsule pidurdamisele reageerib ka kallutusandur, mis sunnib rulli lukustuma. Kallutusandur reageerib ka siis, kui auto kaldub normaalasendist välja.

1.2 Ohutusrihma funktsionaalsusele esitatavad nõuded

Nagu eelnevalt mainitud, on ohutusrihmade kõige olulisemaks funktsiooniks elude päästmine. Lisaks on oluline, et rihma oleks ka mugav kasutada. Kõige selle tagamiseks on ohutusrihmade funktsionaalsusele esitatud ridamisi nõudeid, millele need peavad vastama. Järgnevalt tuuakse välja ettevõtte poolt paika pandud nõuded tootmisliini lõpus olevale 100% kontrolli teostavale seadmele. Lisaks tuuakse välja nõuded UNECE rahvusvahelisest regulatsioonist nr.16, mis sätestab ohutusrihma kontrollimiseks vajalikud parameetrid. Kõige selle alusel töötatakse välja tehnilised nõuded loodavale kontrollseadmele.

1.2.1 Ettevõtte sisemistest eeskirjadest tulenevad nõuded

Ohutusrihmade lõppkontrollile on ettevõtte loonud sisemise spetsifikatsiooni, mis reglementeerib tootmisliini lõpus oleva 100% kontrolli teostava seadme töövoo (LISA 1). Käesoleva spetsifikatsiooni peatükis 3 tuuakse välja nõutud testid, kirjeldatakse testide protsessi voog ning esitatakse nõuded seadme mehaanikale. Samuti tuuakse välja protsessi parameetrid, millega teste teostada.

Erinevaid teste, mida tuleb teostada on kolm: kallutus- ja kiirendusanduri töö kontroll ning ALR funktsiooni kontroll. Need testid on määratud ettevõttesiseses standardis. Testide teostamisel on oluline, et ohutusrihm on asetatud rakisesse, mis imiteerib selle normaalset paiknemist sõiduautos (asend, kus rull ei ole lukus ning lint on vabalt liigutatav). Kõik testid tuleb teostada vastavalt spetsifikatsioonis välja toodud protsessi voole kasutades dokumendis välja toodud parameetreid. Tulenevalt seadme mehaanilisest disainist, tuleb kallutusanduri testimise parameetreid määraes lähtuda sellest, et kasutatakse staatilist testimist. Kõiki parameetreid ettevõtte standardis uurides võib täheldada, et viidatakse palju seadustest tulenevatele nõuetele. Et need parameetrid seadme jaoks kindlaks teha, tuleb tutvuda rahvusvaheliste regulatsioonidega.

1.2.2 Rahvusvahelisest regulatsioonist tulenevad nõuded

Transpordivahendites kasutatavale ohustetehnikale seab regulatsioonid ÜRO Euroopa Majanduskomisjon. Täpsemalt vastutab seelses komisjonis kõikide sõiduautode ja sõiduautodes olevate süsteemide, komponentide ja varustuse turvalisuse- ja keskkonnanõuete eest töörühm *World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations* (WP. 29). Ohutusrihmadele ja ohutusrihmade funktsionaalsust kontrollivatele seadmetele kohaldatavad nõuded on reglementeeritud WP. 29 hulka kuuluva regulatsiooniga nr.16 (*Regulation No 16 of the Economic Commission for Europe of the United Nations*) [1].

WP. 29 regulatsioon nr. 16 jagab ohutusrihmad neljaks erinevaks tüübiks. Antud juhul keskendutakse neljanda tüübi ohutusrihmadele. Need rihmad ei piira normaalse sõiduviisi juures kasutaja vabadust ega liikumist. Lindi pikkus on reguleeritud automaatselt vastavalt kasutajale ning lukustusmehhanism aktiveeritakse kas sõidukiiruse tugeval vähenemisel (üksik tuvastus) või automaatselt, näiteks aeglustamise ja ebatavalise lindi liikumise kombinatsioonil (mitmik tuvastus). Lisaks tavalistele tüüp 4 rihmadele on kontrollitavate rihmade hulgas ka neljanda tüübi erijuhud, mida määruse järgselt kutsutakse tüüp 4N rihmadeks. Viimaseid kasutatakse veoautodes. Järgnevalt on välja toodud rahvusvahelised nõuded nii tüüp 4 kui ka 4N ohutusrihmade funktsionaalsusele UNECE regulatsioonist nr.16 [2]:

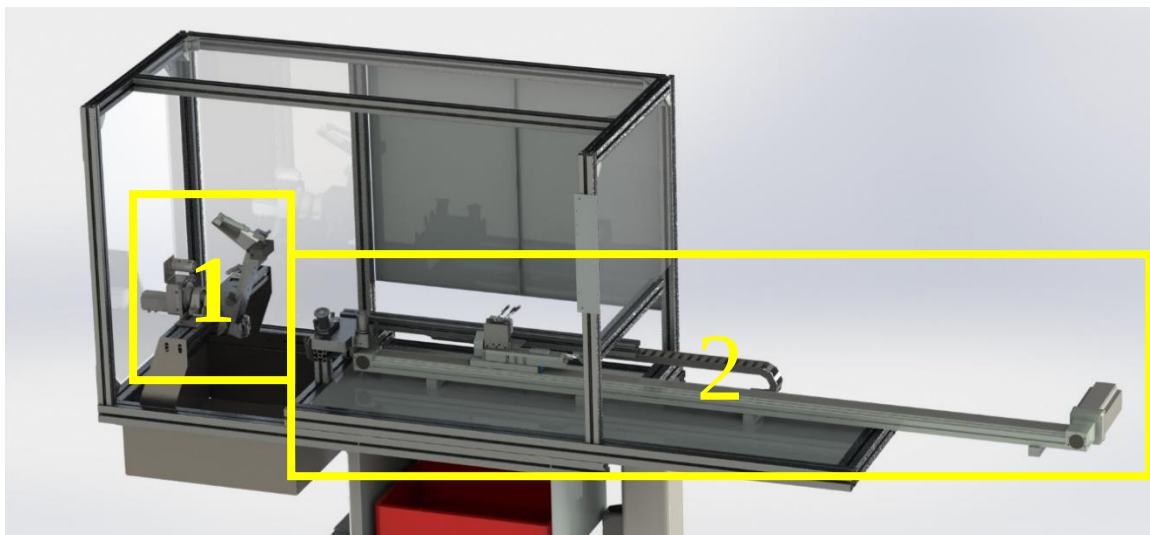
- 1) Ohutusrihma lukustumist tuleb testida hetkel, kui peale kogu lindi välja tõmbamist on linti rullile tagasi keritud pikkuses 300 +/- 3mm [2].
- 2) Vajalik kiirendus tuleb saavutada enne, kui 5 mm linti on rullilt maha keritud. Kiirenduse tõus nõutud kiirenduse saavutamiseks peab olema vahemikus 25 g/s – 150 g/s [2].

- 3) Ohutusrihm ei tohi lukustuda, kui lindi väljatõmbekiirendus on tüüp 4 rihma puhul väiksem, kui 0,8 g ning tüüp 4N rihmade puhul väiksem, kui 1,0 g [2].
- 4) Ohutusrihm ei tohi lukustuda, kui see on tootja poolt määratud nullpositsioonist kallutatud mis tahes suunas vahemikus 0° kuni 12° [2].
- 5) Ohutusrihm peab lukustuma, kui see on kallutatud tüüp 4 rihma puhul 27° või rohkem ja tüüp 4N rihma puhul 40° või rohkem mistahes suunas tootja poolt määratud nullpositsioonist [2].

1.3 Testjaama tehnoloogia- ja mehaanilise osa lühikirjeldus

Uue ohutusrihma testjaama loomine tuli päevakorda peale eelmise kontrolljaama utiliseerimist seoses tootmisliini ümber ehitusega. Uus tootmisliin näeb ette ohutusrihma täielikku koostamist ning seejärel funktsionaalsuse kontrolli eraldiseisvas tööjaamas. Eraldiseisva tööjaama peamiseks erinevuseks tootmisliinisese kontrolliga on asjaolu, et kontrollitakse lõpuni koostatud ohutusrihmasid, mitte rulle. See aga tähendab uut lähenemist kontrolli teostamisel. Järgnevalt kirjeldatakse lühidalt seadme tehnoloogilist ülesehitust ja testimise protsessi.

Oma olemuselt võib kontrollseadme jagada kaheks erinevaks tööjaamaks: ohutusrihma kallutamise - ning lindikiirenduse jaam (Joonis 1.2).

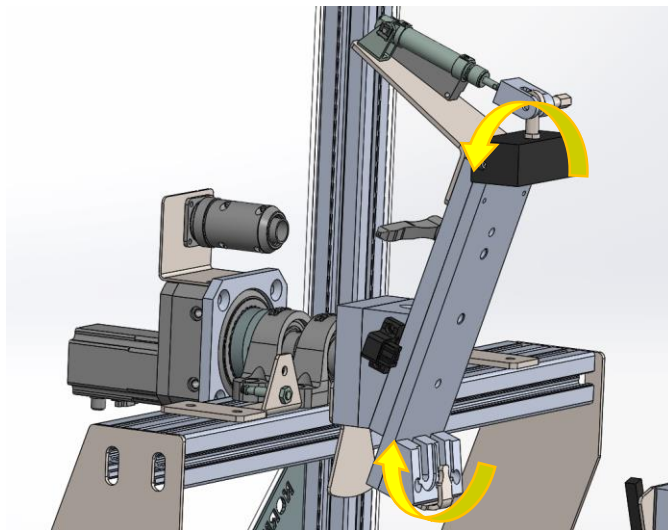


Joonis 1.2 Kontrollseadme 3D mudel:

1. ohutusrihma kallutamise jaam; 2. ohutusrihma lindikiirenduse jaam

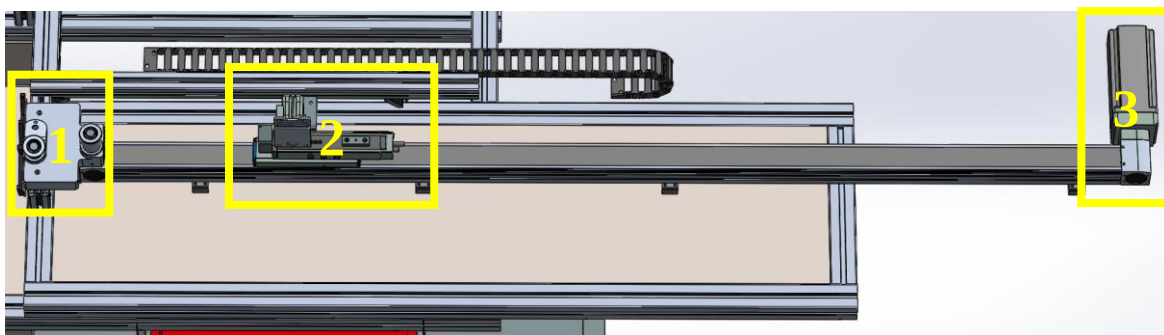
Kallutamise jaama (Joonis 1.3) peamine eesmärk on ohutusrihma liigutamine erinevate kaldenurkade vahel kallutusanduri funktsionaalsuse testimiseks. Ohutusrihma kinnitamiseks seadmesse on loodud rakis, mis kinnitatakse ajami poolt liigutatava pöördmehhanismi külge. Rihma

kallutamist teostab elektriajam, mis on läbi ülekandemehhanismi ühendatud rakise külge. Sobiva ajami valik kallutuse teostamiseks on üks käesoleva lõputöö eesmärkidest.



Joonis 1.3 Kallutust teostav mehhanism

Lindikiirenduse jaama (Joonis 1.4) eesmärk on lindi rullilt maha- ja peale kerimine ning erinevate lindi liikumisest tulenevate ohutusrihma funktsionaalsete omaduste testimine. Seadme mehaaniline kontseptsioon näeb ette, et lint kinnitatakse lineaarteljel oleva klambri vahele (kusjuures, lint peab olema veetud klambrini läbi etteantud teekonna, mida tuleb kontrollida), mille avanemist ja sulgemist reguleerib pneumaatiline silinder. Klamber omakorda on kinnitatud teise pneumaatilise silindri külge, mis käitub amortisaatorina hetkel, kui lint rullilt otsa lõppeb või kui rull lukustub. Buffersilindri küljes olev positsiooniandur tuvastab silindri nihkumise ning lineaartelje liikumine peatatakse. Lineaartelje liikuma panemiseks sobiva ajami valik on samuti üheks käesoleva lõputöö eesmärkidest. Antud ajami valik on ülimalt kriitiline, kuna selle abil teostatakse kriitiliste nõuete kontroll.



Joonis 1.4 Lindikiirenduse kontrollisüsteem:

1. lindisuunaja 2. lindiklambrisüsteem buffersilindriga 3. lindikelku liigutav ajam lindi kerimiseks

Lisaks funktsionaalsetele tööjaamadele oli oluline, et seadmel on ekraan (kasutajaliides), mille abil seadet manipuleerida ja seadmest tagasisidet saada. Samuti peab seadmele olema lisatud skanneerimise võimekus. Skanneerimise abil toimub seadmele sobivate parameetrite andmine erinevate ohutusrihmade katsetamiseks (kasutades „Setup Sheet“ lehte). Lisaks võimaldab skanneerimine ära hoida ka vale rihma testimist (kuna skanneeritakse ka ohutusrihma ennast), mis ei kuulu hetkel testitavasse partiisse.

Väga oluline antud seadme juures on ka kasutusmugavus. On tähtis, et ohutusrihma oleks seadmesse mugav paigutada ning et testimise ajal oleks tagatud liinil töötava operaatori ohutus. Selleks kasutatakse antud seadme juures turvakardinaid, millega peatatakse seadme töö kohe, kui operaator satub tööalasse. Kogu seadme mehaanikalise disaini analüüs ei kuulu käesoleva lõputöö alla ning detailsemalt erinevaid mehaanika sõlmi ei kirjeldata.

2. FUNKTSIONAALSEID TESTE TEOSTAVATE ELEKTRIAJAMITE PROJEKTEERIMINE

Üheks kõige kriitilisemaks ja olulisemaks probleemiks käesoleva kontrollseadme arendamisel on sobivate elektrijamite projekteerimine nii kallutuse- kui ka kiirenduse katsete teostamiseks. Mõlemal juhul on oluline, et valitud ajamite abil oleks võimalik saavutada nõutud tingimused erinevate funktsionaalsete katsete teostamiseks. Järgnevas peatükis viiakse läbi esmalt mõlema sõlme tehniline analüüs elektrijamite parameetrite määramiseks. Seejärel teostatakse vajalikud arvutused ajamis kasutatavate elektrimootorite dimensioneerimiseks. Ajamite valikul on lähtutud ettevõttes kasutatavatest standardkomponentidest. Ülekandemehhanismi projekteerimist ja valimist käesoleva lõputöö raames ei kajastata.

2.1 Elektrijamite projekteerimise alused

Elektrijam on masinate või tehnoloogiaseadmete käitamiseks ettenähtud elektromehaaniline süsteem, mis koosneb toitemuundurist, elektrimootorist, jõuülekandest ja juhtseadmest ehk kontrollierist. Juhtseadmete hulka kuuluvad mikrokontroller koos andmeside liidestega, andmekanalid (andmevõrk), andurid ja täiturid. Üldisemalt võttes on elektrijami ülesandeks masinate ja mehhanismide liikumise juhtimine [3].

Kõikidel ajami elementidel on oma kindel ülesanne. Muunduri ülesandeks elektrijami süsteemis on muundada elektrivõrgust tarbitava elektrienergia parameetrid sobilikuks juhitavale elektrimootorile või muundada neid parameetreid mõjutamiseks elektrimootori tööd (näiteks reguleerida pöörlemiskiirust). Jõumuunduriteks võivad olla näiteks alaldid, pingemuundurid, sagedusmuundurid jne. Elektrimootori ülesanne ajamis on muundada elektrienergia mehaaniliseks energiaks. Ülekandemehhanism kannab mehaanilise energia üle elektrimootori võllilt tööorganile ehk koormusele. Vajadusel muudetakse ülekandemehhanismiga ka liikumise kiirust või liikumise iseloomu (näiteks pöörlev liikumine sirgjooneliseks). Ülekandemehhanismideks on näiteks reduktor, variaator, lame- või kiilrihmülekanne jne. Kõiki neid erinevaid elemente juhib ja elektrimootorit kaitseb elektrijamis juhtsüsteem. Juhtsüsteemiks võib olla väga lihtne element nagu mootorikaitselüliti, kuid selleks võib olla ka keerulisem arvuti [4].

2.1.1 Elektriajami tüübi valiku kriteeriumid

Sobiva elektriajami valik algab tüübi määramisest. Peamiselt jagatakse elektriajameid nimipinge alusel kaheks: alalisvoolu- ja vahelduvvooluajamid. Õige ajami tüübi valimiseks tuleb esmalt teha selgeks, millised on sellele esitatavad nõuded ja milline on aplikatsioon, kuhu see paigaldatakse [5].

Esmalt analüüsitakse kiirust iseloomustavaid tegureid nagu kiirendust ja aeglustust ja kas erinevaid parameetreid peab olema võimalik juhtida. Selleks on hea küsida kolm süsteemi kiirust ja positsiooni iseloomustavat küsimust, mille alusel valik teha [5]:

- 1) Kas tegemist on süsteemiga, kus mootori kiirus on konstantne?
- 2) Kas tegemist on süsteemiga, kus kiirus peab olema reguleeritav?
- 3) Kas tegemist on süsteemiga, kus on nõutud ka positsiooni kontroll?

Kui kiirus on muutumatu, sobivad kasutamiseks kõige lihtsamad alalis- ja vahelduvvooluajamid. Kiirenduse- ja aeglustuse kirjeldamine ei ole antud juhul tavaliselt oluline. Enamasti kasutatakse lihtsat, sees/väljas juhtimist [5].

Kui soovitakse kiirust muuta, tuleb ajamis kasutusele võtta lisaks mootorile ka muundur (näiteks sagedusmuundur vahelduvvoolumootorite puhul). Alalisvoolumootorite puhul kasutatakse juhtsüsteemi. Kui soovitakse saada ka kiiruse hetkeväärtust, kasutatakse enkooderit, mis ühendatakse juhtsüsteemi sisenditesse [5].

Kõige keerukamatel juhtudel on vaja lisaks kiiruse juhtimisele juhtida ka positsiooni. Sellistel puhkudel kasutatakse enamasti tagasisidestatud servo- ja sammootoreid. Sammajamid on mõeldud täpsete positsioonide saavutamiseks ja positsiooni hoidmiseks. Kui on soov teostada keerulisemaid liikumisi (suured kiirused ja palju erinevaid positsioone) ja soov suurematel kiirustel saavutada suuremat momenti, võetakse kasutusele suletud ahelaga tagasisidestatud servomootorid [5].

2.1.2 Elektrimootori valiku kriteeriumid

Üheks kõige olulisemaks komponendiks elektriajamis on elektrimootor. Sobiva elektrimootori valik on olulise tähtsusega elektriajami projekteerimisel. Sobiva elektrimootorite tüübi valiku aluseks on eelkõige süsteem, kuhu mootor paigaldatakse. Süsteemi kirjeldavateks parameetriteks on [6]:

- töökiirus ja liikumise aeg;
- liikumise ulatus;

- süsteemi täpsus ehk eraldusvõime;
- peatamise täpsus;
- positsiooni hoidmise võimekus;
- toiteallika iseloom (alalis- või vahelduvvool);
- töökeskkond;
- erilised nõuded nagu tagasiside olemasolu, programmeeritavus, IP tase jne.

Lisaks üldistele süsteemi parameetritele on oluline ka mootori poolt juhitava mehhanismi defineerimine (kruviülekanne, rihmülekanne, tõstemehhanism vms). Samuti tuleb defineerida iga liigutatava elemendi mõõdud ning mass ja vajadusel hinnata ka iga liikuva elemendi hõõrdeegurit [6]. Antud töö raames ajami ülekandemehhanismi valikut ei põhjendata, see on teostatud mehaanikainseneride poolt. Projekteerimisel arvestatakse loodud süsteemi parameetritega. Kallutusmehhanismi puhul on tegemist pöördliikumisega ning kiirendusmehhanismi puhul lineaarliikumisega (rihmülekanne).

Eelnevad sammud on eelkõige olulised mootori tüübi valikul. Kui tüüp on määratud on vaja paika panna mootori parameetrid. Sobivate parameetrite määramisel tuginetakse kolmele arvutatavale väärtusele: inertsmoment, jõumoment ja kiirus. Lisaks arvutatakse mõningatel juhtudel ka mootori võimsus [6].

Keha teatud ülekandemehhanismi (antud juhul rihmajam) lineaarselt liikuma saamiseks vajalik jõumoment koosneb kahest komponendist: staatiline- ning dünaamiline moment (valem 2.1).

$$T_M = T_{stat} + T_{dün} , \quad (2.1)$$

kus T_M – Keha lineaarselt liikuma saamiseks vajalik moment, Nm,

T_{stat} – staatiline moment, Nm,

$T_{dün}$ – dünaamiline moment, Nm.

Kiiruse hoidmise jaoks vajalik staatiline moment on leitav jõu, rihmaratta raadiuse ja lineaartelje kasuteguri abil (valem 2.2) [7].

$$T_{stat} = \frac{F * r}{1000 * \eta} , \quad (2.2)$$

kus F – jõud, mis on vajalik liigutatava objekti liikuma saamiseks, N,

r – rihmaratta raadius, mm,

η – ülekandemehhanismi kasutegur (0,85 – 0,95).

Staatilise momendi leidmiseks tuleb leida jõud, millega liigutatav keha soovitud kiirendusega saada liikuma (valem 2.3) [7].

$$F = m * a , \quad (2.3)$$

kus m – mass (liigutatava objekti mass), kg,

a – kiirendus, m/s².

Dünaamilise momendi leidmiseks leitakse süsteemi nurkkiiruse ja elektriajami inertsomendi korrutis (valem 2.4) [7].

$$T_{dün} = J_{EL} * \alpha , \quad (2.4)$$

kus J_{EL} – elektriajami inertsomoment, kgm²,

α – nurkkiirendus, rad/s².

Nurkkiirenduse leidmisel arvestatakse, et kiirendus toimub paigaolekust kuni maksimaalse kiiruseni (valem 2.5) [7].

$$\alpha = \frac{2\pi * n}{60 * t} , \quad (2.5)$$

kus n – maksimaalne pöörlemissagedus, rpm,

t – kiirenduse kestvus, s.

Seejärel leitakse kogu süsteemi inertsomoment. Inertsomoment iseloomustab keha inertsust pöördliikumisel. Keha inertsomoment sõltub keha massist, mõõtmetest ja massi jaotusest pöörlemistelje suhtes [6].

Kui koormus on kinnitatud otse mootori külge, avaldub pöörleva keha inertsomoment järgnevalt [8]:

$$J = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2 , \quad (2.6)$$

kus m_i – pöörlevate kehade mass, kg,

r_i – pöörlevate kehade massielemendi kaugused pöörlemisteljest, m.

Ülaltoodud seose alusel saab leida lihtsamate kehade inertsomente. Keerulisemate kehade puhul ei ole antud seose kasutamine mõistlik. Lisaks, on antud seos rakendatav vaid siis, kui pöörlemistelg läbib massikeset [8].

Kui pöörlemistelje asend muutub, siis omab ka keha inertsomoment erineva väärtuse. Sellisel juhul võimaldab inertsimomenti määrata Steineri teoreem (valem 2.7) [8].

$$J_T = J + mb^2, \quad (2.7)$$

kus J_T – inertsmoment muutunud pöörlemistelje ümber, Nm,

J – inertsmoment massikeset läbiva telje suhtes, Nm,

m – pöörleva keha mass, kg,

b – massikeskme kaugus pöörlemisteljest, m.

Kui tegemist on rihmülekandega süsteemiga, tuleb inertsmomenti arvutamisel lisaks keha massile arvestada ka rihmajami rihma massiga (valem 2.8) [7].

$$J_{EL} = (m_l + m_b) * r_1^2, \quad (2.8)$$

kus J_{EL} – rihmülekandega mehhanismi inertsmoment, Nm,

m_l – liigutatava keha mass, kg,

m_b – rihma mass, kg,

r_1 – rihmaratta raadius, m.

Lisaks arvutamisele võimaldavad täna enamlevinud modelleerimistarkvarad inertsmomenti hinnata ka loodud 3D mudeli põhjal. See on ülimalt väärtuslik funktsionaalsus, kuna paljude süsteemide puhul on liigutatavad objektid niivõrd keerulised, et inertsmomenti arvutamine on sisuliselt võimatu või siis väga pikk protsess, kuna tuleb leida kõikide liigutatavate elementide inertsmomentid eraldi. Antud töös leitakse kallutusmehhanismi inertsmoment samuti just 3D modelleerimistarkvara kasutades.

2.2 Elektriajami projekteerimine kallutustesti teostamiseks

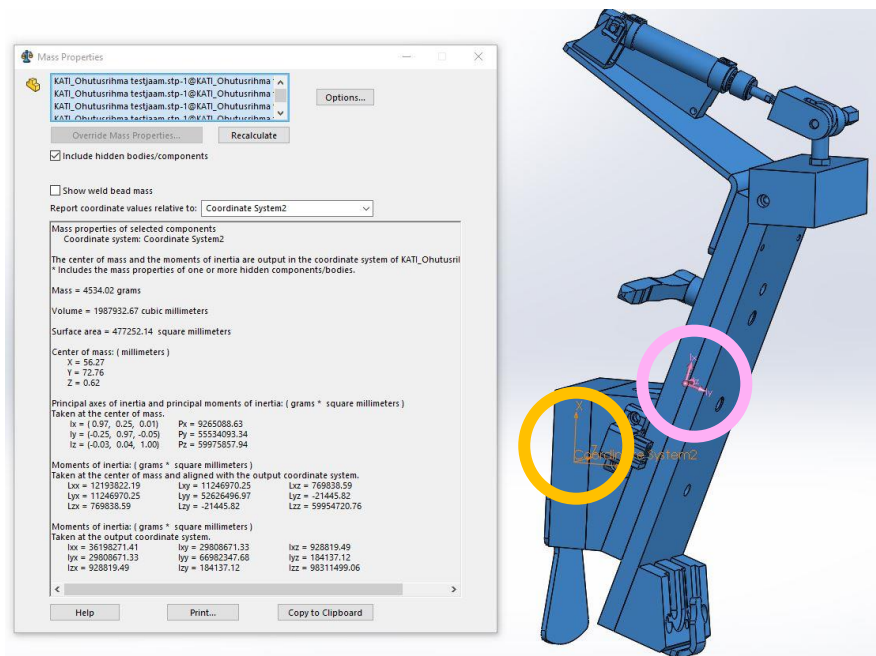
Sobiva elektriajami projekteerimisel kallutustesti teostamiseks tuleb esmalt panna paika süsteemile esitatavad nõuded. Nõuded pannakse paika vastavalt ülesandele, mida ajam peab täitma. Kallutustesti funktsionaalsuse detailsem kirjeldus on välja toodud peatükis 1. Lühidalt, on kallutustesti teostava mootori ülesandeks rihma hoidva rakise nurga saavutamine võimalikult kõrge täpsusega ja selle hoidmine kogu testi vältel. Järgnevalt on välja toodud kõik antud süsteemile esitatavad nõuded:

- oluline on kiiruse- ja positsiooni juhtimise võimekus (liikumine vahemikus $0^\circ - 40^\circ$);
- liikumise kiirus peab olema selline, et maksimaalse, 40° nurga saavutamine oleks võimalik 2-3 s jooksul;

- vajalik on saada igal hetkel tagasisidet ajami positsiooni kohta veendumaks, et korrektne nurk on saavutatud (tegemist peab olema suletud ahelaga);
- elektriajami juhtimine peab olema võimalik teostada üle Profinet andmeside;
- mootor peab olema suuteline positsiooni hoidma;
- toitenä võib kasutada nii alalis- kui ka vahelduvvoolu;
- töökeskkonnale erilisi nõudeid ei esitata;
- elektriagam peab olema valitud Festo tootevalikust (ettevõtte nõue).

Alampeatükis 2.1.1 välja toodud kriteeriumeid arvestades sobib kallutustesti teostamiseks tagasisidestatud samm-mootoriga elektriagam. Seda eelkõige selle võimekuses ülimalt täpselt saavutada ja hoida soovitud positsiooni. Tagasisidestatud süsteem on vajalik, kuna igal hetkel peab olema võimalik saada süsteemist tagasisidet positsiooni hetkeväärtuse kohta.

Sobiva mootori leidmiseks leitakse esmalt mootori võllile langev inerstmoment. Kuna kallutust teostava rakise puhul on tegemist keeruka, mitmetest elementides koosneva koostuga, oleks inertsmomenti leidmine arvutamise teel pikk ja keeruline protsess. Sellest tingituna leitakse inertsmoment kasutades SolidWorks modelleerimistarkvara (joonis 2.1).



Joonis 2.1 Kallutusmehhanismi parameetrid SolidWorks modelleerimistarkvarast

Antud viisil on võimalik väga täpselt määrata süsteemi inertsmoment. Inertsmomenti leidmiseks määrati kõikide koostu osade materjal, et mass oleks korrektne. Seejärel määrati telg, mille ümber mehhanism pöörleb. Joonisel on see telg oranži värvi. Massikeskme telg on joonisel tähistatud

roosa värviga. Antud juhul toimub pöörlemine mõlema telje y-telje suunas (Lyy). Kõige olulisemad parameetrid SolidWorks keskkonnast on välja toodud allolevas tabelis (Tabel 2.1). Nende andmete põhjal on võimalik valida sobiv ajamikomplekt.

Tabel 2.1 Kallutusrakise mehaanilised parameetrid

Parameeter	Väärtus
Mass, g	4534,02
Pöörlemistelje kaugus massikeskmele, mm	56,27
Inertsmoment pöörlemisteljel, kg/cm ²	669,83

Kuna ettevõttes kasutatakse palju just Festo poolt pakutavaid mootoreid, kasutatakse sobiva ajamikomplekti leidmiseks Festo tarkvara Positioning Drives. Antud tarkvara abil on võimalik kirjeldada süsteemi, kuhu elektrimootorit valitakse. Saab määrata mootori paigutuse, määrata liigutatava elemendi inertsmomendi, kirjeldada liikumisprofiili, tsükliäga ja ülekandemehhanismi. Antud juhul näeb mehaanika disain ette horisontaalse mootori paigutuse. Liikumise puhul on tegemist detailse liikumisega, ehk liigutatakse erinevate positsioonide vahel. Tsükliäga ei ole kriitiline, seega antakse tarkvaras ette liikumise tsükliajaks 5 s. Ülekandemehhanismi näol on mehaanika projekteerijad näinud ette, et tuleks valida pöördajamiga moodul. Inertsmoment on eelnevalt leitud modelleerimistarkvarast. Antud parameetrite sisestamisel tekib 40 sobivat süsteemi komplekti (Joonis 2.2).

Results

Result No. 5
Depending on construction and guide, a range of electromechanical linear positioning axes with spindle, tooth belt and linear motor is available.

Selected drive

Axis: ERMB-25
Axial kit: EAMM-A-D40-87A

Motor: EMMS-ST-87-M-5-G2
(Rotary module: 4:1)

Controller: CMWT-ST-C8-1C-EC-50
Power section 24 VDC

Overview about performance data

Required

Mass moment of inertia: 669,83 kgcm²

Distance of centre of gravity to rotary axis: 0 mm

External torque: 0 Nm

Travel time + Dwell time: 0,612 s

Dwell time: 0,2 s

40 Results (Optimum sizes)

Detailed motion profile: Cycle time (Travel time + Dwell time): Maximum 5 s

No.	Rotary module	Axis Size	Motor	Motor Size	Gearbox	Motor	Travel time
1	Toothed belt (ERMB)	25	Stepper (EMMS-ST)	87-M	1:1	99 %	0,427
2	Toothed belt (ERMB)	25	'ServoLite' (EMMS-ST)	87-M	1:1	99 %	0,425
3	Toothed belt (ERMB)	25	Stepper (EMMS-ST)	87-L	1:1	99 %	0,459
4	Toothed belt (ERMB)	25	'ServoLite' (EMMS-ST)	87-L	1:1	99 %	0,457
5	Toothed belt (ERMB)	25	Stepper (EMMS-ST)	87-M	1:1	99 %	0,412
6	Toothed belt (ERMB)	25	Stepper (EMMS-ST)	87-M	1:1	64 %	0,344
7	Toothed belt (ERMB)	25	'ServoLite' (EMMS-ST)	87-M	1:1	99 %	0,411
8	Toothed belt (ERMB)	25	'ServoLite' (EMMS-ST)	87-M	1:1	99 %	0,344

Copyright Festo AG & Co. KG 2006-2019

Joonis 2.2 Kallutusmehhanismi liigutamiseks sobivad ajamikomplektid Festo Positioning Drives tarkvarast

Komplekti esialgsel valimisel sobiva 40 hulgast lähtuti sellest, et ajam oleks võimalikult palju koormatud. Lisaks arvestati ajamikomplekti hinda ning tarneaega. Need andmed uuriti Festo Eesti müügiesindajalt. Allolevas tabelis (tabel 2.2) on välja toodud *Positioning Drives* tarkvara poolt välja pakutud elektriajami komplekti osad, mis osutusid valituks.

Tabel 2.2 Kallutusajami komponendid

Festo tootekood	Toote artikli nr.	Kirjeldus
552707	ERMB-25	Pöördajami moodul
1322186	EAMM-A-D40-87A	Sidurikomplekt
1370486	EMMS-ST-87-M-S-G2	Samm-mootor
8084005	CMMT-ST-C8-1C-EC-S0	Kontroller

Valitud samm-mootori tehniline andmeleht on välja toodud LISAS 2.

2.3 Elektriajami projekteerimine kiirendustesti teostamiseks

Kui kallutust teostava ajami puhul oli ülesandeks vaid positsioonide saavutamine ja hoidmine, siis kiirendustesti teostava jaama puhul on tegemist hoopis keerukama süsteemiga. Peatükist 1.2.2 võib leida ohutusrihmale esitatavad nõuded, mida loodava seadmega peab suutma kontrollida. Järgnevalt on välja toodud kõige olulisemad tingimused, millele kiirendustesti teostav elektriagam peab vastama:

- oluline on kiiruse-, kiirenduse- ja aeglustuse juhtimise ning muutmise võimekus (et tagada ohutusrihma lukustumise testimise võimekus kiirenduste 1 g, 2 g ning 0,8 g juures);
- liikumise ulatus peab olema maksimaalselt 2000 mm;
- liikumise täpsus peab olema vähemalt +/- 0.1 mm;
- vajalik on saada igal hetkel tagasisidet ajami positsiooni kohta, et lukustumise hetkel salvestada lukustumise asukoht ja seda võrrelda seadustest tulenevate nõuetega;
- toiteallikana võib kasutada nii alalis- kui ka vahelduvvoolu;
- kogu juhtimine ning andmeside peab olema teostatav üle Profinet andmeside;
- keskkonnale erilisi nõudeid ei ole;
- elektriagam valitakse Festo tootevalikust.

Alampeatükis 2.1.1 välja toodud kriteeriumeid arvestades sobib kiirendustesti teostamiseks tagasisidestatud servomootoriga elektriagam. Servoajamid võimaldavad kiireid ja täpseid liikumisi ning igal ajal saada tagasisidet süsteemist.

Kuna käesoleva lõputöö raames mehaanika projekteerimist ei käsitleta, siis ülekandemehhanismi valikut käesoleva töö raames ei põhjendata. Mehaanikainseneride poolt on ülekandemehhanismiks valitud Festo rihmülekanne ELGA-TB-G-80-2000-OH (joonis 2.3).



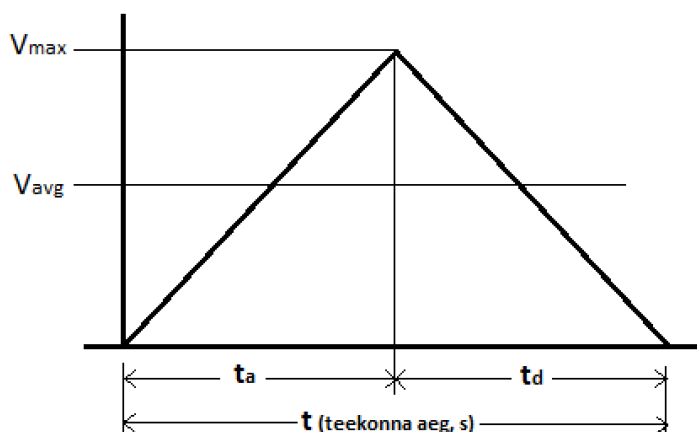
Joonis 2.3 ELGA-TB-G-80-2000-OH rihmülekanne

Sobiva mootori valikuks tuleb lisaks ülekandemehhanismile teada ka liigutatavate elementide omadusi, eelkõige kogu liigutatava süsteemi massi. Liigutatavate elementide nimetused, tootekoodid (ostutoodete puhul) ja massid on välja toodud allolevas tabelis (Tabel 2.3). Kogu liigutatava osa mass on alloleva info põhjal 3,42 kg.

Tabel 2.3 Kiirendustesti sõlme mootori poolt liigutatavad elemendid

Element	Tootekood (ostutoode)	Mass, kg
Buffersilinder	DGSL-16-150-PA	2,1
Lindiklambri silinder	ADN-32-20-I-P-A	0,3
Lindi paigutuse kontrolli silinder	ADVC-6-10-A-P-A	0,02
Lindiklambri mehaanilised komponendid	N/A	1

Kuna liikumisi on erinevaid, mida antud süsteem teostab, siis tuginetakse mootori valikul kõige kriitilisema liikumise parameetritele. Kõige kriitilisem liikumise profiil antud sõlmes on 2 g ($1\text{ g} = 9,807\text{ m/s}^2$) kiirenduse test. Antud liikumist iseloomustab kolmnurgakujuline kiirusdiagramm (Joonis 2.4).



Joonis 2.4 Kolmnurgakujuline kiirusdiagramm (t_a – kiirenduse aeg; t_d – aeglustuse aeg, V_{avg} – keskmine kiirus, V_{max} – maksimaalne kiirus)

Ehk siis, kogu liikumise ulatuses toimub kas kiirendus või aeglustus. Kogu liikumise ulatuseks on 150 mm (buffersilindri maksimaalne käik). Mootorile sobivate parameetrite leidmiseks eeldatakse, et pool liikumise ulatusest on kiirendus (0 - 75 mm) ning teine pool liikumisest aeglustus (75 mm – 150 mm). Kuna nõue on, et rihma lukustus / mitte lukustus hinnatakse esimese 50 mm

jooksul (terve selle aja vältel peab olema tagatud 2 g kiirendus), siis tehtud eeldus on sobiv parameetrite arvutamiseks.

Defineerimaks liikumise profiili olulisi parameetreid, tuleb esmalt alustada maksimaalse kiiruse v_{max} leidmisega. Algandmetest on teada kiirendus ja läbitav teepikkus. Maksimaalse kiiruse saab leida kiirenduse ja aja korrutisena (valem 2.9). Samast valemist saab avaldada ka aja väärtuse.

$$v = a * t \Rightarrow t = \frac{v}{a}, \quad (2.9)$$

kus v – kiirus, m/s,

a – kiirendus, m/s²,

t – aeg, s.

Lisaks kiirendusele on teada ka teepikkus. Teepikkus on samuti avaldatav kiirenduse ja aja kaudu (valem 2.10).

$$s = \frac{a * t^2}{2}, \quad (2.10)$$

kus s – teepikkus, m.

Nende kahe valemi abil on võimalik leida maksimaalne kiirus. Selleks asendatakse valemis 2.10 muutuja t valemis 2.9 avaldatud aja väärtusega ning avaldatakse kiirus v .

$$s = \frac{a * (\frac{v}{a})^2}{2} = \frac{v^2}{2a} \Rightarrow v^2 = 2a * s \Rightarrow v = \sqrt{2a * s}$$

Kiirus ja teepikkus on algandmetest teada, Asendades need tuletatud valemisse on võimalik leida maksimaalne kiirus hetkel, kui 75 mm on läbitud kiirendusega 2 g = 19,61 m/s².

$$v_{max} = \sqrt{2a * s} = \sqrt{2 * 19,61 * 0,075} = 1,72 \text{ m/s}$$

Nüüd, kui maksimaalne kiirus on teada, saab leida aja t , mis kulub teekonna 0 – 75 mm läbimiseks. Aeg leitakse kiiruse ja kiirenduse abil (valem 2.11).

$$t = \frac{v_f - v_i}{a}, \quad (2.11)$$

kus v_f – maksimaalne saavutatud kiirus, m/s,

v_i – algkiirus, m/s.

Kiirendus algab antud juhul paigalseisust ja toimub kuni kiiruseni v_{max} . Nende andmete abil on võimalik leida 75 mm läbimise aeg t kasutades valemit 2.11.

$$t = \frac{v_f - v_i}{a} = \frac{1,72 - 0}{19,61} = 0,088 \text{ s}$$

Nüüd, kui aeg on leitud, alustatakse nurkkiirenduse leidmisega. Nurkkiirenduse avaldises on vaja liikumine defineerida pöörete arvuga minutis. Selleks tuleb lineaarne kiirus teisendada pöörlevaks kiiruseks (valem 2.12).

$$n = \frac{60}{2\pi * r} * v, \quad (2.12)$$

kus r – rihmaratta (ELGA-TB-G-80-2000-OH) raadius, m.

Asendades leitud väärtused avaldisse 2.12, leitakse pöörete arv minutis.

$$n = \frac{60}{2\pi * r} * v = \frac{60}{2\pi * 0,019} * 1,72 \approx 865 \text{ rpm}$$

Seejärel asendatakse kõik leitud väärtused nurkkiirenduse valemisse (valem 2.5).

$$\alpha = \frac{\pi * n}{30 * t} = \frac{\pi * 865}{30 * 0,087} = 1040,5 \text{ rad/s}^2$$

Nüüd, kui nurkkiirendus on leitud, leitakse lineaarselt liikuva objekti inertsmoment tuginedes valemile 2.8. Antud juhul ei ole lineaartelje andmelehel rihma massi välja toodud. Välja on toodud juba arvutatud rihmülekanne inertsmoment. Seega leitakse liigutatava keha inertsmoment kasutades ainult keha enda massi. Hiljem summeeritakse lineaartelje inertsmoment leitud inertsmomentidele juurde, et saada lõplik väärtus. Rihmajami ELGA-TB-G-80-2000-OH inertsmoment tootekataloogist on $6,66 \text{ kg/cm}^2 = 0,00066 \text{ kg/m}^2$.

$$J_{EL} = m_l * r_1^2 = 3,42 * 0,019 = 0,0012 \text{ kgm}^2$$

Kogu liigutatava osa inertsmoment on seega:

$$J = 0,00066 \text{ kgm}^2 + 0,0012 \text{ kgm}^2 = 0,00187 \text{ kgm}^2$$

Järgnevalt leitakse lineaarliikumise kiirendamiseks vajalik dünaamiline moment (valem 2.4).

$$T_{dün} = J * \alpha = 0,00187 * 1040,5 = 1,93 \text{ Nm}$$

Kogu vajamineva momendi leidmiseks tuleb lisaks kiirenduse momendile leida ka vajalik moment stabiilse keha liikumiskiiruse juures. Esmalt leitakse teljesihiline jõud keha liigutamiseks (valem 2.3).

$$F = m * a = 3,42 * 19,61 = 67,07 \text{ N}$$

Seejärel arvutatakse staatiline moment stabiilse keha liikumise juures (valem 2.2). Kuna kasutegurit teljestiku andmelehel välja ei ole toodud, võetakse selle väärtuseks 98%.

$$T_{stat} = \frac{F * r}{1000 * \eta} = \frac{67,07 * 18,9}{1000 * 0,98} = 1,29 \text{ Nm}$$

Kui kiirenduse moment ja stabiilse liikumise moment on teada, leitakse moment kogu teljestiku mehhanismide liikuma saamiseks nõutud kiirendusega (valem 2.1).

$$T_M = T_{stat} + T_{dün} = 1,29 + 1,93 = 3,22 \text{ Nm}$$

Nüüd on kõik vajalikud parameetrid olemas sobiva mootori valikuks lineaarse liikumise teostamiseks. Mootori esmane valik teostatakse taaskord kasutades Festo Positioning Drives tarkvara. Seejärel veendutakse, et Festo tarkvara poolt pakutud lahendus on süsteemi sobilik.

Esimese sammuna kirjeldatakse Festo tarkvaras liikumise profiil. Profiili kirjeldamisel määratakse kiirendus, kogu distantsi läbimise aeg ja teepikkus. Vastavalt sellele kalkuleerib tarkvara liikumise profiili. Oluline on parameetrid sisestada selliselt, et tekiks kolmnurk profiil (joonis 2.5).

Stroke - Speed - Stroke (Maximum speed)
Travel time - Stroke - Speed
Travel time - Stroke - Acceleration

Note

Motion profile: No. 1

Your input

- * Travel time t
- * Stroke (Mode = Relative (R))
- * Maximum acceleration a

Profile calculation

- * Maximum speed v
- * Stroke s_v

Input values t-s-a

Modify input values by means of cursor keys or mouse, too:
Mark cursor position and set value behind selected position

Travel time t: 0,187 s

Stroke s: 150 mm

Required stroke: Relative (Mode = R)

Acceleration a1: 19,6 m/s²

Deceleration a2: 19,6 m/s²

Note

Motion profile = triangle

(Calculated with Stroke, Maximum speed, Acceleration / Deceleration)

Maximum speed = 1,582 m/s

Profile calculation

Calculate:

Maximum speed v

Stroke s_v

Maximum speed v: 1,582 m/s

Stroke (Maximum speed) s_v: 0 mm

Time_v (Maximum speed) t_v: 0 s

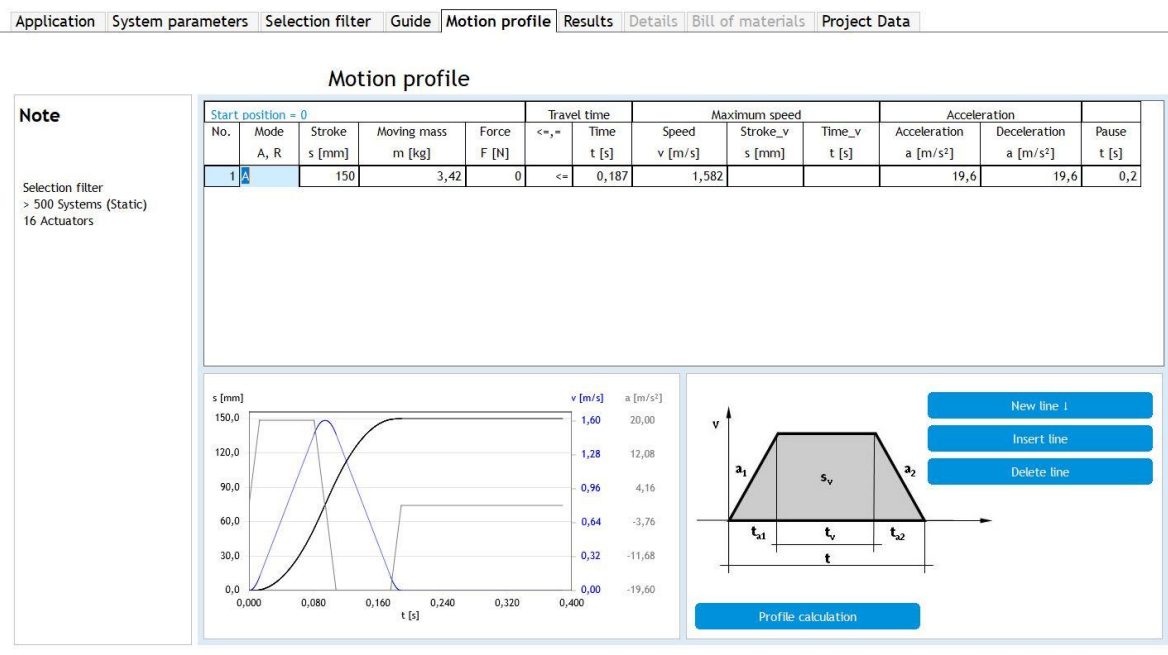
Acceleration t_a1: 0,081 s

Deceleration t_a2: 0,081 s

OK
Cancel

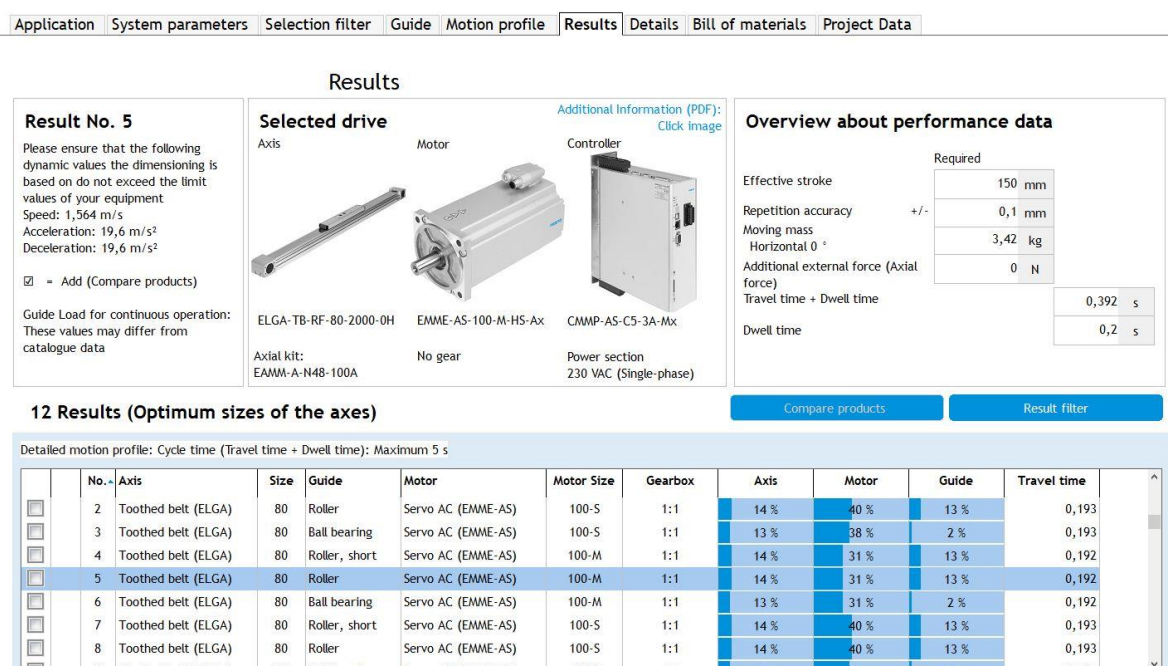
Joonis 2.5 Festo Positioning Drives - kiirendustesti liikumise profiil

Peale liikumise parameetrite paika panekut tekib esimene liikumist kirjeldav tulemus (Joonis 2.6). Tulemuses on näha, et maksimaalne kiirus saavutatakse ligikaudu 0,08 s möödumisel teepikkusel ligikaudu 75 mm. Maksimaalne kiirus tarkvara arvutuste tulemusena on 1,58 m/s. Arvutamisel leiti kiiruseks 1,72 m/s. Erinevus võib tulla arvutamisel teostatud ümardamistest. Kiirenduse ja aeglustuse väärtused määrati võrdseks.



Joonis 2.6 Festo Positioning Drives - liikumisprofiili tulemus

Kui liikumisprofiilid olid kirjeldatud, liiguti edasi tulemuste leidmise juurde. Antud juhul kalkuleeris tarkvara 12 erinevat ülekande/mootori/kontrolleri kombinatsiooni (Joonis 2.7).



Joonis 2.7 Festo Positioning Drives tarkvara kalkuleeritud ajami komplektid kiirendustesti teostamiseks

Lõpliku valiku tegemisel lähtuti sellest, et toiteallikana kasutatakse nimipinget 230 V (1-faas), hinnast ning Festo poolt pakutavast tarneajast. Lõplik BOM on leitav allolevast tabelist (tabel 2.4).

Tabel 2.4 Kiirendustesti ajami komplekti kuuluvad elemendid

Festo tootekood	Toote artikli nr.	Kirjeldus
570503	ELGA-TB-G-80-2000-0H	Lineaartelg (valitud enne mootori valikut)
1201894	EAMM-A-N48-100A	Sidurikomplekt
2103499	EMME-AS-100-M-HS-AS	Servo mootor AC
1501326	CMMP-AS-C5-3A-M3	Kontrolleri

Valitud mootori andmelehest (LISA 3) selgub, et mootori poolt genereeritav moment nominaalkiiruse (3000 rpm) juures on 6,4 Nm. Süsteemi elementide liigutamiseks vajalik moment on 3,22 Nm, seega valitud mootor on ka nominaalkiiruse juures sobilik antud liikumise teostamiseks.

3. ELEKTRI- JA AUTOMAATIKASÜSTEEMI PROJEKTEERIMINE

See peatükk kirjeldab loodava seadme elektri- ja automaatikasüsteemi projekteerimist. Käesolevas peatükis tuuakse välja kõik elektri- ja automaatikakomponendid ning põhjendatakse olulisemate komponentide valikut. Lisaks sellele kirjeldatakse juhitavat tehnoloogiat ning luuakse juhitava tehnoloogia plokkskeem. Kui kõik komponendid on valitud, projekteeritakse ka seadme tugev- ja nõrkvoolu osa ja luuakse elektriskeemid. Seadme elektriskeemid on välja toodud LISAS 4. Elektriskeemid tuuakse välja kahes osas: tugev- ja nõrkvoolu skeemid ning sisendite- ja väljundite skeemid.

3.1 Automaatikasüsteemi projekteerimine

Automaatikasüsteemi projekteerimise eesmärgiks on määrata kõik vajalikud automaatikakomponendid, mille abil teostada ohutusrihma automatiseeritud kontrolli. Valitavate komponentide hulka kuuluvad kõik vajalikud turvaelemendid (turvakardinad ja turvareleed), andurid, täiturid, puutepaneel ja tööstuskontroller. Lisaks ka erinevad nupud ja tuled. Suur osa nendest komponentidest on sellised, mille valikut detailsemalt ei põhjendata. Seda sellepärast, et tegemist on standardkomponentidega, mille valik ei sõltu ühestki konkreetsest parameetrist. Need on tulukesed ja nupud ja erinevad tüüpilisi kontrolle teostavad andurid (laser- ja induktiivandurid).

3.1.1 Juhtsüsteemi komponentide valik

Väga oluline samm automaatikasüsteemi projekteerimisel on sobivate juhtsüsteemi komponentide määramine. Eelkõige tööstuskontrolleri valik koos kõikide vajaminevate laiendmoodulitega. PLC valikul lähtutakse järgnevatest kriteeriumitest [10]:

- vajaminevate sisendite / väljundite arv ja tüüp (digitaal- ja / või analoog sisendid ja väljundid);
- protsessori töökiirus ehk kui kiiresti peab CPU sooritama ühe programmi tsükli (kas esineb ajakriitilisi funktsioone);
- süsteemile esitatavad nõudmised ning apliksiooni iseärasusest tulenevad tingimused (milliseid funktsioone on vaja teostada);
- sisemälu maht kogu programmi jooksutamiseks;
- toite iseloom (nii sisend- kui ka väljundisignaali toite iseloom);

- andmeside tüüp, ehk millisel viisil toimub andmete vahetus erinevate süsteemi osade vahel (Profinet, RS232 jne);
- füüsiline keskkond (sise- ja välistingimused);

Üheks täiendavaks lisatingimuseks ettevõtte poolt on, et tuleb kasutada Siemens tööstuskontrollereid, kuna need tootmises kõige enamlevinud.

Sisendite – ja väljundite hulga ja tüübi määravad erinevad andurid, täiturid ja juhivad süsteemi osad. Käesoleva seadme puhul kasutatakse vaid 24 V DC digitaalseid sisendeid- ja väljundeid. Digitaalseid sisendeid vajatakse minimaalselt 16 ja väljundeid minimaalselt 16.

Kuna üheks seadme ülesandeks on etikettide skanneerimine, andmetöötlus ja tulemuste logimine on oluline, et kontrolleri oleks võimalik lisada juurde mälukaardi näol täiendavat lisamälu andmete salvestamiseks. Töömälu hulga määramisel tuginetakse kogemuslikule tunnetusele. Süsteemi keerukust silmas pidades piisab vähemalt 64 KB töömälust.

Loodava seadme kõige kriitilisemaks süsteemi osaks on ohutusrihma lukustumise tuvastus buffersilindril oleva anduri abil. Et võimalikult kiiresti lukustumisele reageerida ja mootor peatada, on oluline, et tööstuskontroller toetaks funktsiooni *Hardware Interrupt*. Selleks defineeritakse konkreetse sisendi (antud juhul buffersilindri andur) jaoks eriline sündmus, mis viiakse läbi kohe (sõltumata sellest, millises sammus on põhitsükkel), kui antud sisendisse tekib positiivne signaal, Käesoleva seadme puhul on selliseks sündmuseks mootori liikumise peatamine.

Peatükkides 2.2 ja 2.3 teostatud mootorite ja mootori kontrolleri valikul toodi välja, et andmeside PLC ja mootori kontrolleri vahel peab toimuma üle Profinet andmesideprotokolli. See on samuti üheks oluliseks kriteeriumiks antud süsteemi sobiva tööstuskontrolleri valikul.

Kõikidele eelnevatele välja toodud tingimustele tuginedes valitakse süsteemi Siemens S7 – 1200 seeria tööstuskontroller. Antud seeria puhul on tegemist on madala- ja kesktaseme juhtsüsteemi ehitamiseks sobilike kontrolleritega. Kõige sobilikumaks käesolevast seeriast osutus CPU 1212C DC/DC/DC 8DI/6DO/2AI. Kõige olulisem tehniline info on välja toodud allolevas tabelis (Tabel 3.1) [11].

Tabel 3.1 CPU 1212C olulisemad tehnilised andmed

Toiteväärtus (DC), V	24
Voolu tarbimine koos kõikide laiendmoodulitega, A	1,2
Töömälu, KB	75
Sisemälu (andmete hoiustamiseks), MB	2
Laiendmoodulite arv	3 andmeside moodulit, 2 signaali moodulit, 1 laiendmoodul

Tabel 3.1 järg CPU 1212C olulisemad tehnilised andmed

Digitaalsed sisendid- ja väljundid	8 sisseehitatud digitaalset sisendit (millest 6 on High Speed Counting); 6 sisseehitatud digitaalset väljundit; 2 sisseehitatud analoog sisendit
Andmeside	Profinet, Ethernet, MODBUS

Kuna vajaminevate sisendite- ja väljundite hulk on vastavalt 16 ja 16, siis ei piisa kontrolleri sisseehitatud sisendite- ja väljundite arvust vaid tuleb juurde lisada ka laiendmoodulid. Vajaliku hulga sisendite/väljundite saavutamiseks lisatakse 2 tk SM 1223 DI/DO 8 x 24 V-DC-input / 8 x 24 V-DC-output moodulit. Samuti lisatakse ka laiendmoodul SB 1221 DI 4 x 24V DC 200 KHz *High Speed Counting* protsessi jaoks, et tuvastada silindri anduri signaali lukustumise hetkel (*Hardware Interrupt*).

Üheks juhtsüsteemi osaks on ka kasutajaliides. Kuna kogu juhtsüsteem on üles ehitatud Siemens seadmeid kasutades, valitakse puutepaneel Siemens tootekataloogist. Ettevõtte soovil valatakse kasutajaliideseks Siemens SIMATIC HMI KTP 700 Basic HMI.

3.1.2 Turvaahela komponentide valik

Ohutuse seisukohalt kõige olulisemaks osaks automaatikasüsteemis on hädaseiskamissüsteem. Hädaseiskamissüsteem koosneb erinevatest seadmetest, mis täidavad hädaseiskamisfunktsiooni. Selle eesmärk on ära hoida tegelikke või tulevase hädaolukordi, mis tulenevad inimeste käitumisest või ootamatust ohtlikust sündmusest. Hädaseiskamissüsteemi projekteerimisel tuginetakse Eesti vabariigi standardile EVS-EN ISO 13850:2015 [12].

Hädaseiskamisseadised peavad olema projekteeritud selliselt, et need oleksid hõlpsasti tuvastatavad ning aktiveeritavad isikute poolt, kellel on vajadus nende aktiveerimiseks [12]. Käesoleva seadme puhul on sellisteks seadmeteks operaatori käeulatuses juhtpuldi juures paiknev hädaseiskamise nupp ja operaatorit tööalast eraldav turvakardin.

Turvakardina valikul tuginetakse standardile EVS-EN ISO 13855. Antud standardist leiab seose sobivate turvakardinate valmiseks süsteemi (valem 3.1) [13].

$$S = (K * T) + C, \quad (3.1)$$

kus S – minimaalne distant ohuallikani, mm,

K – inimese või inimese käe liikumiskiirus, mm/s (käe liikumise $K = 2000$ mm/s),

T - süsteemi peatumise kiirus, s (antud juhul arvestatakse, et $T = 0,16$ s),

C – turvakardina resolutsioon, mm.

Antud juhul on teada ohuallika kaugus turvakardinatest. Selleks kauguseks on 400 mm. Olemasolevate andmete põhjal leitakse vajalik turvakardina minimaalne resolutsioon C (valem 3.1).

$$C = S - (K * T) = 400 - (2000 * 0,16) = 80 \text{ mm}$$

Ettevõtte soov on kasutada seadme ehitamisel võimalusel ära juba laos olevaid komponente. Ettevõttel on laos olemas OMRON F3S-B 302P turvakardinad. Antud turvakardinate tehnilisest andmelehest selgub, et optiline resolutsioon C on neil 30 mm. Ülal tehtud arvutustele tuginedes on olemasolevad turvakardinad lahendusse sobilikud.

3.1.3 Skänneri valik

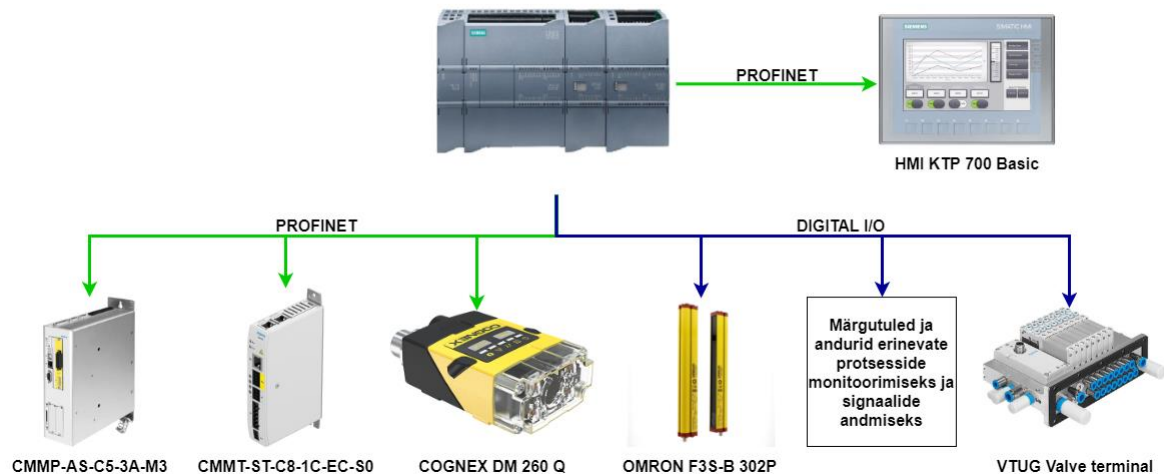
Tootmise poolt on üheks seadmele esitatud tingimuseks ka skanneerimise võimekuse olemasolu. Skanneerimise vajalikkus on põhjendatud kolme erinevat tüüpi info edastamisega liinile:

- 1) *Setup Sheet* – tegemist on seadistuslehega, millelt loetakse seadme tehniline seadistus vastavalt ohutusrihma tehnilistele parameetritele. Info edastatakse 2D koodis ehk maatrikskoodis.
- 2) *Production ticket* – tegemist on tootmisinfot sisaldava etiketiga, kust loetakse seadmesse testitavate rihmade kogus ja testitava partii info. Info edastatakse 2D koodis ehk maatrikskoodis.
- 3) Rulli etikett – skanneeritakse veendumaks seadme korrektses seadistuses vastavalt ohutusrihmale. Samuti kirjutatakse logifaili testi tulemused testitud rihma põhiselt. Info edastatakse 1D koodiga. Täpsemalt on kasutusel koodi tüüp 128.

Ettevõtte poolt on soov, et sobiv skanner valitakse Cognex Dataman seeria toodete hulgast. Sobiva seadme valikul tuginetakse eelkõige sellele, milliseid koode on vajalik lugeda ning ka sellele, et kogu andmevahetus peab toimuma üle Profinet andmesideprotokolli. Antud kriteeriumitele vastab Cognex DataMan 262 Q skanner.

3.1.4 Juhitava tehnoloogia ja juhivate seadmete plokk skeem

Kui kõik vajalikud seadmed on automaatikasüsteemi valitud, saab paika panna kõikide juhivate seadmete hierarhilise skeemi vastavalt nende juhtimise meetodile. Skeem on koostatud vastavalt valitud automaatikasüsteemi komponentidele (joonis 3.1). Antud skeemi alusel viiakse järgnevates peatükkides läbi elektri tugev- ja nõrkvoolusüsteemide projekteerimine ja kogu juhtsüsteemi loomine.



Joonis 3.1 Juhitava tehnoloogia ja seadmete plokk skeem

3.2 Elektrisüsteemi projekteerimine

Kui kõik automaatikasüsteemi komponendid on seadmele valitud, saab alustada elektrisüsteemi projekteerimisega. Elektrisüsteemi projekteerimist alustatakse nõrkvooluahela (antud juhul 24 V alalisvooluahela) projekteerimisega. Seejärel viiakse läbi kogu vahelduvvoolu toiteahela projekteerimine. Elektrisüsteemi projekteerimisel lähtutakse standardist EVS-EN 60204-1:2018 (MASINATE OHUTUS, Masinate elektriseadmed, Osa 1: Üldnõuded). Koostatud elektriskeem on välja toodud LISAS 4.

3.2.1 Elektrisüsteemi üldiste komponentide valik

Esmalt tuuakse välja erinevate kasutatud juhtide parameetrid. Antud elektrisüsteemi ehitamisel kasutatakse ainult vasest juhte. Juhtide värvide valimisel tuginetakse standardi IEC 60757 soovitusetele. Soovituslikud värvid antud standardist on [14]:

- must – vahelduv- ja alalisvoolu jõuahelad;
- punane – vahelduvvoolu juhtimisahelad;
- tumesinine – alalisvoolu juhtimisahelad;
- oranž – erandlikud ahelad.

Üheks erandiks viiakse sisse vahelduv- ja alalisvooli jõuahelate juhtmete eraldamine. Kui IEC 60757 soovitab mõlemal juhul kasutada musta värvi juhti, siis antud seadme juures ühendatakse alalisvoolu jõuahelad kasutades pruuni värvi juhti.

Neutraaljuhi tuvastamiseks kasutatakse kohustuslikku helesinist juhti. Kaitsejuhi näol kasutatakse kahevärvilist kollarohelist kombinatsiooni. Niisugune värvikood on rangelt reserveeritud üksnes kaitsejuhi ja kaitse-potentsiaaliühtlustusjuhi jaoks [14].

Erinevate ahelate omavaheliseks ühendamiseks kasutatakse selleks ettenähtud ühendusklemme. Ühendusklemmid valitakse ettevõtte soovil Phoenix Contact tootevalikust. Ühendusklemmidena kasutatakse nii ühe-, kahe- kui ka kolmetasandilisi ühendusklemme.

3.2.2 Nõrkvoolu toiteahela projekteerimine

Antud seadme nõrkvooluahelas kasutatakse 24 V alalisvoolutoidet. Alalisvooluahela eesmärk on toita nii juhtsüsteemi, erinevaid andureid ja täitureid kui ka mootorite kontrollereid. Lisaks kasutatakse 24 V DC toidet ka samm-mootori toiteks. Järgnevalt on välja toodud kõik seadmed, mis kuuluvad nõrkvoolusüsteemi (Tabel 3.2).

Tabel 3.2 Nõrkvoolusüsteemi komponendid ja nende tarbitav vooluhulk

Komponendi tootekood	Kommentaar	Tarbitav vooluhulk (A)
CPU 1212C DC/DC/DC 8DI/6DO/2AI	Tööstuskontroller	1,2 (kõikide moodulitega)
SIMATIC HMI KTP 700 Basic	HMI kasutajaliides	0,23
SCALANCE XB008	Profinet switch	0,12
Cognex Dataman 262 Q	Skänner	0,1
EMMS-ST-87-M-S-G2	Samm-mootor	9,5
CMMT-ST-C8-1C-EC-S0	Samm-mootori kontroller (loogika osa toide)	1
CMMP-AS-C5-3A-M3	Servo kontroller (loogika osa toide)	0,65
OMRON F3S-B 302P	Turvakardinad	0,4
Allen Bradley Guardmaster MSR127RP	Turvarelee	0,1

Lisaks tabelis väljatoodud elementidele on tarvis toita ka kõiki seadmes paiknevaid andureid. Et leida kogu andurite poolt tarbitav voolu hulk, lähtutakse sellest, et ühe anduri keskmine voolu tarbimine on 100 mA. Erinevaid andureid on seadmes kokku 15. Hinnanguliselt on kõikide andurite tarbitav vooluhulk seega 1.5 A. Kogu seadme nõrkvooluahela poolt tarbitav voolu hulk on 14,8 A, millest 5,3 A kasutatakse juhtimisahela toiteks ja 9,5 A jõuahela toiteks.

Alalisvooluahela toiteallika valik teostatakse ettevõtte soovil Siemens toiteallikate hulgast. Üaltoodud tabelist selgub, et maksimaalne juhtsüsteemi tarbitav vooluhulk on 14,8 A. Antud koormust silmas pidades valitakse toiteallikaks Siemens tootekataloogist sobivaim toode, milleks osutus SITOP PSU100L 24 V/20 A toiteplokk.

Alalisvooluahelate projekteerimisel on ettevõtte siseeskirjades toodud välja nõue lahutada juhtsüsteemi- ja jõuahelad teineteisest selliselt, et kui ühes süsteemi osas peaks tekkima kas lühis

või ülekoormus ja toiteallika pinge peaks selle tõttu kukkuma, siis teised süsteemi osad ei saaks kannatada. Sellise kaitse saavutamiseks kasutatakse antud süsteemis Siemens SITOP selektiivsusmoodulit PSE200U 10 A. Tegemist on seadmega, millega on võimalik monitoorida nelja erinevat 24 V alalisvooluahelat. Kui ühes nendest ahelatest peaks tekkima kas ülekoormus või lühis, lülitatakse antud ahel kiiresti muust võrgust välja tagamaks seadme ohutu töö ja toitepinge säilimine.

3.2.3 Hädaseiskamissüsteemi turvaahela projekteerimine

Hädaseiskamissüsteemi projekteerimisel tuleb lähtuda asjaolust, et pärast hädaseiskamisseadise aktiveerimist peatatakse masina ohtlikud liikumised ja toimingud asjakohasel viisil ilma lisaohtu tekitamata ja edasise sekkumiseta. Hädaseiskamissüsteemi aktiveerimisseadmetena kasutatakse antud seadmes nii peopesaga aktiveeritavat surunupplülitit kui ka turvakardinaid [12].

Antud tingimuse täitmiseks projekteeritakse turvaahel selliselt, et see oleks lahus muust juhtimissüsteemist. Selleks kasutatakse nii turvakardinate- kui ka hädaseiskamisnupu monitoorimiseks turvareleesid. Antud turvareleede lülitamisega eemaldatakse toide süsteemi liikuvatelt osadelt ning eemaldatakse ka suruõhk. Turvareleedena kasutatakse ettevõtte soovil Allen Bradley Guardmaster MSR127RP 24 V AC/DC turvareleesid.

3.2.4 Vahelduvvoolu toiteahela projekteerimine

Nüüd, kui alalisvoolu toiteahel on projekteeritud ja kogu vahelduvvoolu toidet vajavate seadmete nimekiri paigas, saab alustada vahelduvvoolu toiteahela projekteerimisega. Kõik vahelduvvoolu toidet vajavad seadmed on välja toodud allolevas tabelis (tabel 3.3). Tabelis on lisaks sedmele välja toodud ka seadme poolt tarbitav vooluhulk ja sobiv kaitselüliti (mis on leitud kas tootelehelst või valitud lähtudes tarbitavast maksimaalsest vooluhulgast).

Tabel 3.3 Vahelduvvoolu toiteahelasse kuuluvad seadmed ja tarbitav vooluhulk

Komponendi tootekood	Kommentaar	Tarbitav vooluhulk, A	Soovituslik kaitselüliti
SITOP PSU100L 24 V/20 A	24 V DC toiteplokk	2,35	C 10 A
EMME-AS-100-M-HS-AS	Servomootor	4,1 (peak 18,4)	C 10 A
Bosch Rexroth 3842552222	Töökoha valgusti	0,2	C 3 A
General Electric MSCSEP	Pistikupesa kilbis	3	C 3 A
SE STRÖMFORS IP44	Pistikupesad liinil	6	C 6 A

Tabelis 3.3 välja toodud seadmetele tuginedes valitakse seadme üheks ja ainsaks sisendtoiteahelaks 1-faasiline 230 V pingeline toide. Siseneva toitejuhi otsad ühendatakse esmalt kilbis selleks

ettenähtud terminalidesse, mis on markeeritud vastavalt IEC 60445 standardile (L, N, PE). Seejärel ühendatakse faasijuhe toiteahela turvalahutusaparaadi klemmiga, sealt edasi kilbi uksele asuva pealülitiga ning seejärel erinevaid lülitusi teostavate kaitselülititega. Toiteahela turvalahutusaparaadina kasutatakse turvalahutusomadustega kaitselüliti vastavalt standardile IEC 60947-2 [14]. Kaitselüliti nimivoolu suuruse valikul lähtutakse selektiivsuse põhimõttest. Selektiivsust silmas pidades lähtutakse toiteahela turvalahutusaparaadi valikul toiteploki ees olevast C 10 A kaitselülitist. Sellest tulenevalt valitakse turvalahutusaparaadiks Siemensi tootegruppi kuuluv moodulkaitselüliti 240 V 14kA, 1-pole, C, 16A (tootekood 5SJ4116-7HG40).

Masina ühendamiseks välise kaitsejuhiga on ette nähtud eraldi klemm. Klemmi mõõtmed on valitud vastavalt standardis EVS-EN 60204-1:2018 välja toodud nõuetele (tabel 3.4) [14].

Tabel 3.4 Välise kaitsejuhi vasksoone minimaalne ristlõige standardist EVS-EN 60204-1:2018 [14]

Seadme toiteahela liinijuhi ristlõige S , mm ²	Välise kaitsejuhi (PE) vasksoone vähim ristlõige S_p , mm ²
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	$S / 2$

Standardi EVS-EN 60204-1:2018 kohaselt peab üldotstarbeliste pistikupesade toiteahelad varustama liigvoolukaitsega. Liigvoolukaitseaparaat tuleb paigaldada selliste pistikupesade toiteahelate pingestatud juhtide ahelatesse. Lisaks, tuleb kõiki valgustusahelate maandamata toitejuhte kaitsta lühisvoolu toime eest eraldi, muude ahelate kaitsest sõltumatute liigvoolukaitseaparaatidega [14].

Antud seadme juures tuleb seega kasutusele võtta kaks liigvoolukaitseaparaati: üks pistikupesade ning teine valgusti ahela kaitseks. Liigvoolukaitseaparaadina kasutatakse Siemens rikkevoolukaitselüliti tootekoodiga 5SV3312-6 (tüüp A, 25 A, 30 mA).

4. SEADME JUHTPROGRAMM, SELLE OSAD JA STRUKTUUR

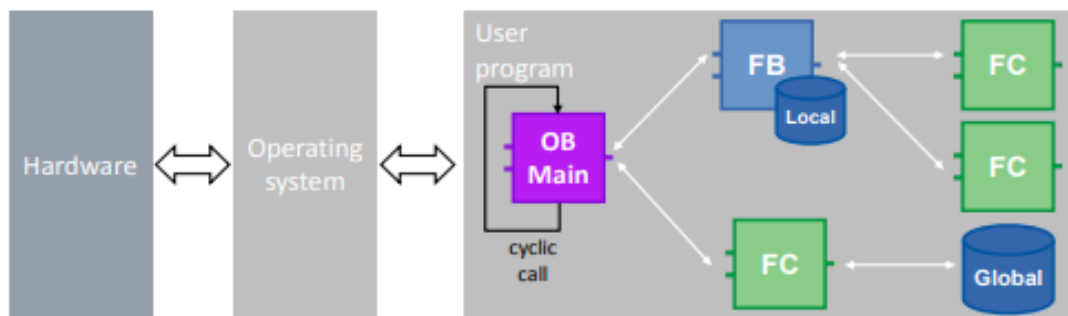
Kui kogu seadme mehaanika-, automaatika- ja elektrisüsteem on koostatud, alustatakse juhtprogrammi loomisega. Juhtprogrammi loomist alustatakse programmi osade tutvustamise ja põhiosa struktuuri kirjeldamisega. Seejärel luuakse kogu süsteemi tööloogikat kirjeldavad voodiagrammid, mille alusel kirjutatakse kõiki protsesse teostav juhtprogramm. Samuti kirjeldatakse antud peatükis lühidalt ka Festo mootorite juhtprogrammide loomist Festo tarkvarades.

4.1 Programmi kõrgema taseme- ja põhiosa struktuur

Seadme juhtprogrammi loomisel lähtutakse standardist EVS-EN 61131-3:2013. Antud standardi kohaselt kutsutakse plokkide, millest programm luuakse, programmi korralduslikeks plokkideks (POU). Siemens TIA Portali tarkvaras jaotatakse POUd järgmiselt [15]:

- funktsioon (FC) – POU, millel saab olla omastatud parameetreid aga millel puuduvad staatilised muutujad (puudub mälu). Kui sisendparameetrid ei muutu, ei muutu ka väljundi väärtus [15];
- funktsiooniplokk (FB) – funktsiooniplokile on omistatud sisemine mäluala – *instance data block* (DB). Funktsiooniploki väljund sõltub sisemistest ja välimistest muutujatest, mida salvestatakse programmi põhiprogrammi tsüklite käigus [15];
- organisatoorne plokk (OB) – tsükliliselt tööstuskontrolleri poolt jooksutatav põhiprogramm, mis on liides kasutaja poolt loodud programmi ja tööstuskontrolli operatsioonisüsteemi vahel [15].

Ülaltoodud plokkide kasutades luuakse programmeerija poolt seadme juhtprogramm. Seadme juhtprogrammi ülesandeks on loodud plokkide abil teostada soovitud ülesanne. Kasutaja poolt loodud programmi jooksutatakse alati tsükliliselt. Põhiline osa programmist kirjutatakse organisatoorse ploki (OB) sisse. Seejärel kutsutakse OBs esile erinevaid funktsioone ja funktsiooni plokkide, millel on igaühel kindlalt programmeeritud ülesanne, mida tuleb teostada. OB ülesandeks on edastada kogu programmi ühe tsükli käigus kogutud info tööstuskontrolleri operatsioonisüsteemile, mis seejärel lülitab vajalikke väljundeid ja vahetab andmeid võrgus olevate teiste seadmetega. Täpsemalt annab ülevaate tööpõhimõttest SIMATIC kontrollerite programmi kõrgema taseme struktuuri kirjeldav joonis (joonis 4.1) [16].



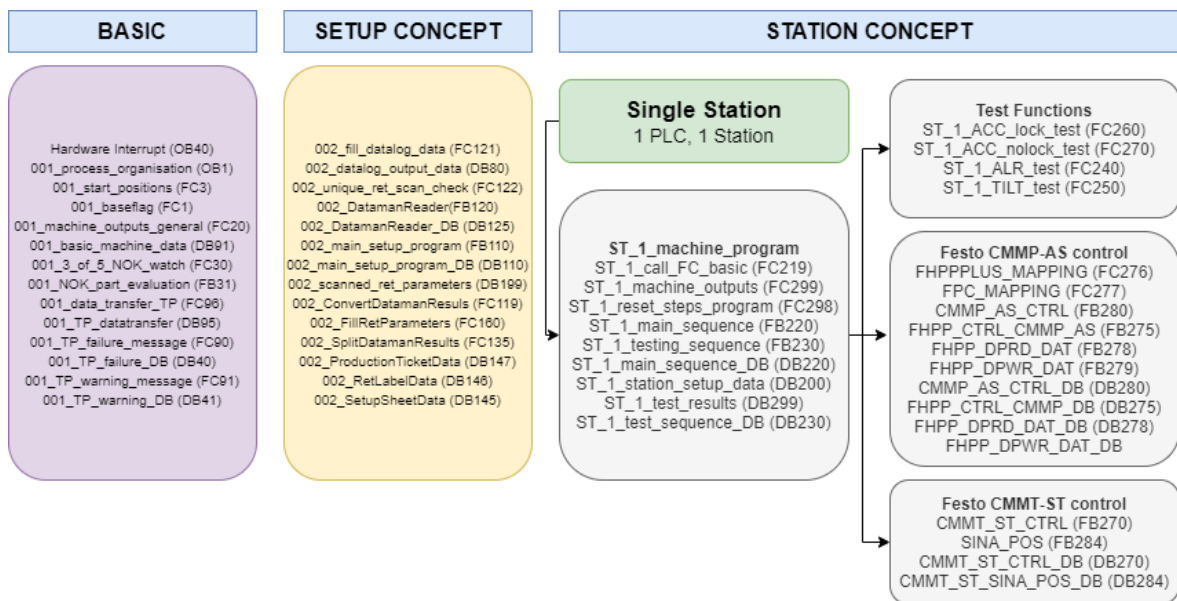
Joonis 4.1 SIMATIC kontrollrite kõrgema taseme struktuuri põhimõtteskeem [16]

Lisaks põhilisele, programmi tsükliliselt jooksvavale Oble, kasutatakse antud süsteemis ka *Hardware Interrupt* tüüpi OBd. Tegemist on organisatoorse plokiga, mis kutsutakse esile, kui konkreetses, selleks ettenähtud sisendis, tekib positiivne signaal mõnest andurist. Antud juhul, nagu ka eelnevalt mainitud, on selle OB ülesandeks kiirendust teostava mootori peatamine, kui buffersilinder nihkub kinnisest asendist välja. *Hardware Interrupt* tüüpi OB on kontrolleri operatsioonisüsteemis kõrgemal tasemel, ehk kohe, kui käivitub antud operatsioon, jäetakse programmi põhiosa tsükliline jooksumine pooleli ja liigutakse teostama *Hardware Interrupt* käsklust [16].

PLC programmi põhiosa struktuur luuakse vastavalt ettevõttesisesele programmeerimise standardile. Antud standardi alusel jaotatakse programm järgnevateks osadeks:

- jaama baasfunktsioonide tööprogrammid (start / stop tingimused, algpositsiooni sammude alustamine, hädastopp signaali töötlemine, peaõhuklapi lülitus, masina baasparameetrite seadistus, kontrolleri ja kasutajaliidese vaheline andmeside jne);
- seadme seadistusfunktsioonide programmid (Cognex Dataman skänneri juhtprogramm, seadistuslehe-, rulli- ja partii etiketi skanneerimine, logimisandmete töötlemine);
- liini tööjaamades toimuvate funktsioonide programmid.

Parema selgituse põhiosa struktuuri ülesehitusest annab ettevõtte standardis välja toodud struktuurskeem. Selle alusel koostatakse ohutusrihma testjaama põhiosa struktuuri skeem (Joonis 4.2).



Joonis 4.2 Ohutusrihma testjaama juhtsüsteemi põhiosa struktuurskeem

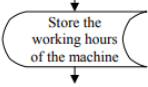
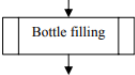
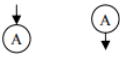
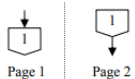
4.2 Loodavat juhtsüsteemi kirjeldavad voodiagrammid

Üheks väga oluliseks sammuks enne juhtsüsteemi programmi kirjutamise alustamist on luua kogu juhtsüsteemi kirjeldav voodiagramm. Voodiagrammi ülesandeks on luua visuaalne kirjeldus toimuvatest protsessidest. Tabel 4.1 kirjeldab sümboleid, mida voodiagrammi loomisel kasutatakse [15].

Tabel 4.1 Põhilised voodiagrammis kasutatavad sümbrid [15]

Sümболи nimetus	Sümbol	Kirjeldus / tähendus
Algus- või lõpppunkt		Kasutatakse voodiagrammi alustamisel ja lõpetamisel. „START“ alustab ja „END“ lõpetab protsessi.
Protsess		Kirjeldab elemendi sisse kirjutatud protsessi.
Otsus		Selle ploki sees tuuakse välja tingimus, mille täitumisel protsess liigub edasi järgmisesse sammu.
Paus		Ooteaeg, enne kui liigutakse järgmisesse protsessi sammu.
Andmed		Kirjeldab andmete sisestamist / väljutamist protsessivoost.

Tabel 4.1 järg Põhilised voodiagrammis kasutatavad sümbolid [15]

Sümboli nimetus	Sümbol	Kirjeldus / tähendus
Andmete salvestamine		Kirjeldab protsessi käigus tekkivate andmete salvestamist.
Eeldefineeritud protsess		Kirjeldab teise voodiagrammi osana kirjeldatud protsessi
Ühenduslülid		Kirjeldab voodiagrammis samal lehel ühest asukohast teise liikumist. Üldiselt tähistatakse tähtedega (A, B, C jne).
Viide teisele lehele		Antud plokke kasutatakse ühet lehelt teise liikumiseks. Tavaliselt markeeritud numbritega.

Antud lõputöö raames kirjeldatakse voodiagrammi näol olulisemate protsesside töövoogusid:

- testimise põhiprogramm;
- ALR funktsiooni testimine;
- 0,8 G, 1 G ja 2 G lukustuse / mitte-lukustuse testimine;
- kallutustesti teostamine;

Kõik koostatud voodiagrammid on välja toodud LISAS 5.

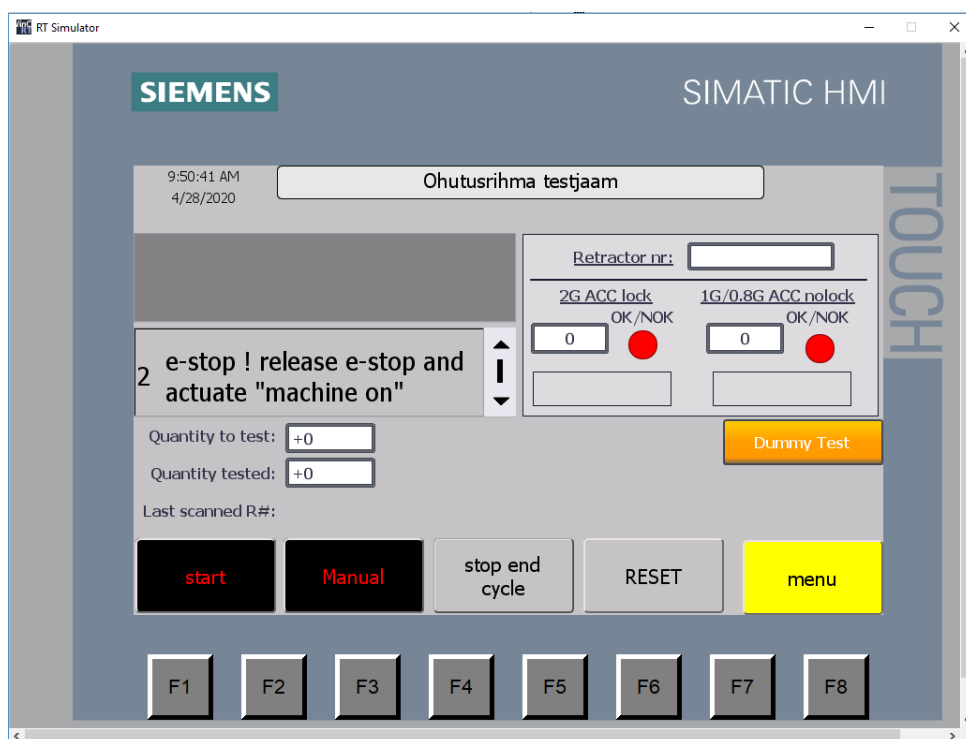
Skanneerimise, logimise ja Festo mootorite juhtimiseks mõeldud funktsioonide voodiagramme ei looda, kuna tegemist on suures osas andmetöötlusega, mitte samm-sammulise loogikavooga. Koostatud voodiagrammide alusel luuakse seadme käivitamiseks vajalik juhtsüsteem kasutades TIA Portal programmeerimistarkvara.

4.3 Kasutajaliidese ülesehitus

Üheks tingimuseks ettevõtte poolt oli, et seadme kasutajaliidese näol võetaks kasutusele Siemens HMI KTP 700 Basic puutepaneel. Puutepaneeli ülesandeks soovis tootmisüksus erinevate veateadete kuvamist, testimise alustamise / peatamise võimaldamist, manuaalselt erinevate väljundite manipuleerimist, lähtestusprogrammi käivitamist ja testitulemuste kuvamist (OK / NOK ja olulisemad testitulemused). Lähtudes ülaltoodud nõudmistele, loodi kasutajaliidesele järgnevad ekraanid:

peaekraan, mille ülesandeks on seadme olekuinfo- ja testitulemuste kuvamine ja millel on start, stop, auto/manuaal valik, reset ja menüü nupud (Joonis 4.3);

- peamenüü, kust on võimalik suunduda edasi statistika, väljundite kontrolli ja seadme parameetrite muutmiste lehtedele;
- statistika leht, kust on võimalik näha kogu partiis testitud rihmade arvu ja testitud rihmade numbreid ja OK / NOK statistikat (kogus, NOK protsent, NOK tüüp);
- väljundite kontrolli leht, mis on ligipääsetav vaid mehaanikutele / inseneridele ja kust on võimalik käsitsi manipuleerida erinevaid väljundeid ja liigutada servo- ja samm-mootorit.



Joonis 4.3 Ohutusrihma testjaama kasutajaliidese põhiekraani vaade

4.4 Festo mootorite konfiguratsioon

Festo mootorite konfiguratsiooni ja juhtprogrammide loomiseks on Festo välja töötanud eraldi tarkvarad. Antud juhul on vajalik kasutada kahte tarkvara: Festo Configuration Tool servomootori konfigureerimiseks ja Festo Automation Suite sammajami konfigureerimiseks. Mõlemas nendes programmides pannakse paika kogu ajamikomplekti struktuur koos liigutatavate mehhanismide kirjeldusega, mille alusel tarkvarad genereerivad liikumiste läbi viimiseks sobilikud mootori

parameetrid. Sisuliselt on mõlema programmi näol tegemist sarnaste tarkvaradega. Erinev on kasutajaliides ja mõningane funktsionaalsus.

4.4.1 Servoajami konfiguratsioon tarkvaras Festo Configuration Tool

Servomootori konfiguratsioon luuakse tarkvaras Festo Configuration Tool. Sobiva konfiguratsiooni loomise võib jagada sisuliselt kolmeks.

- 1) Tuleb kirjeldada süsteemi, kuhu ajamikomplekt paigaldatakse (liigutatav mass, mootori juhtimise viis, töörežiimid, veateadete soov, määratakse kontrolleri IP aadress jne).
- 2) Määratakse mootori ja telje limiidid (maksimaalne kiirus, kodupositsiooni asukoht, lõpupositsiooni andurite tüüp jne).
- 3) Määratakse mootori suletud ahela parameetreid (voolu, kiiruse ja positsiooni parameetrid), ehk sisuliselt PID regulaatori parameetrid, sobivate liikumisprofiilide saavutamiseks.

Kõige olulisem ongi just kolmandas punktis välja toodud parameetrite määramine. Festo Configuration Tool suudab ka ise arvutatada vastavalt aplikatsiooni parameetritele sobivad suletud ahela parameetrid, kuid tihti tuleb neid parameetreid käsitsi muuta, et saavutada parimaid tulemusi ja tagada mootori sujuv töö.

Kui kõik parameetrid on paigas, luuakse tarkvara sees liikumiste profiilid erinevate vajalike liikumiste teostamiseks (Joonis 4.4). Antud seadme puhul on vaja defineerida kolm erinevat liikumise profiili: 0,8 G, 1 G ja 2 G kiirenduse profiilid. Hiljem kutsutakse tööstuskontrolleri poolt vastavalt profiili numbrile neid liikumisi esile.

No.	Mode	Position [mm]	Vel. [mm/s]	Accel. [m/s ²]	Decel. [m/s ²]	Smooth [%]	Startcond.	Rem. Dist. [mm]	TFF [%]	Torque Limit. Mode	Max. Torque [%]	Start D. [ms]	
1	RA	150,00	5000,00	18,500	30,000	14	Ignore	0,00	0	Standard	0	0	2G kiirendus
2	RA	150,00	3000,00	9,100	25,000	2	Ignore	0,00	0	Standard	0	0	1G kiirendus
3	RA	150,00	4000,00	7,500	30,000	1	Ignore	0,00	0	Standard	0	0	0,8 G kiirendus

Joonis 4.4 Servomootori poolt teostatavate liikumiste parameetrid

Esialgsed väärtused määrati tunnetuslikult. Liikumise ulatuse määramisel lähtuti buffersilindri maksimaalsest käigust. Hiljem viidi läbi kiirenduste kontrollmõõtmised lõplike parameetrite leidmiseks katsetamise teel. Sellest kirjutatakse lähemalt peatükis 5.

4.4.2 Samm-ajami konfiguratsioon tarkvaras Festo Automation Suite

Sammajami konfiguratsiooni luuakse tarkvaras Festo Automation Suite. Selle loomine on sarnane servoajami konfiguratsiooni loomisele. Esmalt kirjeldatakse aplikatsiooni, siis määratakse limiidid ja seejärel määratakse mootori suletud ahela parameetrid. Kui kõik ajamisüsteemi parameetrid on määratud, luuakse liikumise profiilid vastavalt süsteemile. Samm-mootori ülesanne on teostada ohutusrihmade kallutamist lukustus- ja mittelukustus nurkadeni ja tagasi algpositsiooni. Algpositsioon antakse ette PLC poolt. Kallutusnurgad on alati samad, seega defineeritakse need Festo Automation Suite tarkvaras (joonis 4.5). Nurrkade väärtused, mille juurde samm-mootor peab liikuma, sisestati peatükis 1.2 välja toodud nõuete järgi.

1	0 positsioon	Record type Position (5)	Type Positioning absolute (0)	Target position 0,00 °	Profile velocity 240,00 °/s	Acceleration 400,00 °/s ²	Deceleration 400,00 °/s ²	Jerk 54000,00 °/s ³	End velocity 0,00 °/s
2	Lock pos RH	Record type Position (5)	Type Positioning relative to current setpoint position (2)	Target position 15,00 °	Profile velocity 240,00 °/s	Acceleration 500,00 °/s ²	Deceleration 500,00 °/s ²	Jerk 54000,00 °/s ³	End velocity 0,00 °/s
3	NoLock pos RH 4	Record type Position (5)	Type Positioning relative to current setpoint position (2)	Target position 12,00 °	Profile velocity 240,00 °/s	Acceleration 500,00 °/s ²	Deceleration 500,00 °/s ²	Jerk 54000,00 °/s ³	End velocity 0,00 °/s
4	Lock pos LH	Record type Position (5)	Type Positioning relative to current setpoint position (2)	Target position -15,00 °	Profile velocity 240,00 °/s	Acceleration 500,00 °/s ²	Deceleration 500,00 °/s ²	Jerk 54000,00 °/s ³	End velocity 0,00 °/s
5	Lock pos RH 4	Record type Position (5)	Type Positioning relative to current setpoint position (2)	Target position -12,00 °	Profile velocity 240,00 °/s	Acceleration 500,00 °/s ²	Deceleration 500,00 °/s ²	Jerk 54000,00 °/s ³	End velocity 0,00 °/s
6	NoLock pos RH 4N	Record type Position (5)	Type Positioning relative to current setpoint position (2)	Target position 25,00 °	Profile velocity 240,00 °/s	Acceleration 500,00 °/s ²	Deceleration 500,00 °/s ²	Jerk 54000,00 °/s ³	End velocity 0,00 °/s
7	NoLock pos LH 4N	Record type Position (5)	Type Positioning relative to current setpoint position (2)	Target position 25,00 °	Profile velocity 240,00 °/s	Acceleration 500,00 °/s ²	Deceleration 18000,00 °/s ²	Jerk 54000,00 °/s ³	End velocity 0,00 °/s

Joonis 4.5 Samm-mootori liikumisprofiilide kirjeldus

5. LIIKUMIST TEOSTAVATE AJAMITE KALIBREERIMINE JA VERIFITSEERIMINE

Üheks oluliseks sammuks seadme kasutuselevõtul on kogu liikumist teostavate sõlmede kalibreerimine ja verifitseerimine. On oluline veenduda, et kõik ohutusrihma kontrollile esitatud nõuded nii rahvusvahelistest kui ka ettevõtte sisemistest standarditest saavad seadme poolt korrektselt täidetud. Kalibreerimise eesmärk on kirjeldada sobivate parameetrite valikut just elektrimootoritele, et saavutada vajalikud nõuded. Kui parameetrid on paigas, viiakse läbi seadme vastavuse kontroll alapeatükis 1.2.2 välja toodud nõuetele. Selleks teostatakse erinevate liikumiste kontrollmõõtmised ning koostatakse kalibreerimisprotokoll saadud tulemuste alusel. Kalibreerimisprotokoll on aluseks seadme heakskiiduks tootmises.

5.1 Kalibreerimise metoodika ja kalibreerimisele esitatud nõudmised

Järgnevalt defineeritakse meetod kirjeldatud ohutusrihma testjaama kalibreerimiseks. Kalibreerimise alusandmetena kasutatakse peatükis 1.2 nimetatud standarditest välja toodud väärtuseid ja piiranguid. Kalibreerimise käigus viiakse läbi:

- 1) Stendi kiirenduse, kiirenduse saavutamise ja kiirenduse tõusu vastavushindamine.
- 2) Stendi kalibreerimine lindipikkuse mõõtmise teostamiseks.
- 3) Stendi kallutusmehhanismi kalibreerimine.

Vastavuse kriteeriumid tulenevad peatükis 1.2 välja toodud rahvusvahelistest- ja ettevõttesisestest standarditest ja määrustest (Tabel 5.1).

Tabel 5.1 Ohutusrihma testjaama vastavuse kriteeriumid

Kalibreeritav parameeter	Lubatud hälve	Laiendmõõtemääramatus U (MAX)
Kontrollstendi kiirendus, g	+0,1 / -0,2	±0,1 g
Stendi kiirenduse tõus, g/s	(25...150) - U	±5 g/s
Stendi nihe, mm	±3,0 - U	±1,5 mm
Stendi kallutusnurgad, °	±0,5	±0,5 °
Kiirenduse saavutamise distants, mm	< 5 - U	±1,0 mm

Ühe hinnatava parameetrina on mõõtevahendi laiendmääramatus. Laiendmääramatus arvutatakse mõõtmiste liitstandardmääramatusest, korrutades selle katteteguriga (valem 5.1) [17].

$$U = k * u, \quad (5.1)$$

kus u – liitstandardmääramatus,

k – kattetegur, mille väärtus valitakse sõltuvalt konkreetsest tingimusest.

Soovitav on kasutada katteteguri väärtusena $k = 2$, mis normaaljaotuse korral vastab ligikaudu 95 % katvustõenäosusele [17].

Mõõtetulemuste liitstandardmääramatus u arvutatakse järgmise valemiga [17]:

$$u = \sqrt{u_{et}^2 + u_{lug}^2 + u_{kord}^2} \quad (5.2)$$

kus u_{et} – etaloni standardmääramatus ($u_{et} = U_{et} / 2$, kus U_{et} on etaloni enda laiendmääramatus),

u_{lug} – kalibreeritava seadme lugemi võtmisest tulenev standardmääramatus (digitaalnäituritel $u_{lug} = u_{lug} = d / \sqrt{3}$),

u_{kord} – kordusmõõtmistest tulenev standardmääramatus ($u_{kord} = \frac{\max tulemus - \min tulemus}{\sqrt{3}}$).

Kalibreerimisel tuleb arvestada ka parandit K (valem 5.3) [17].

$$K = E - L, \quad (5.3)$$

kus L – kalibreeritava mõõteseadme näit,

E – etaloni väärtus.

5.2 Samm-ajami kalibreerimine

Esimese sammuna alustati kallutust teostava ajami kalibreerimisega. Kallutusnurdade kalibreerimiseks viidi läbi kontrollmõõtmised kõikide peatükis 1.2.2 välja toodud nurkade juures (0°, 12°, 27°, 40°, -12°, -27°, -40°). Kontrollmõõtmiste teostamiseks anti samm-mootorile käsk liikuda etteantud nurgani. Seejärel mõõdeti etalonnurgamõõtjaga saavutatud tegelik nurk. Iga nurga juures teostati 3 kordusmõõtmist (tabel 5.2). Etalonnurgamõõtjana kasutati mõõtmiste teostamiseks nurgamõõtjat Mitutoyo Pro 360, mis on AS Metrosert poolt kalibreeritud 17.11.2017.

Tabel 5.2 Kallutust teostava ajami kalibreerimise mõõtetulemused

Etteantud nurk, °	Mõõdetud nurk nr. 1, °	Mõõdetud nurk nr. 2, °	Mõõdetud nurk nr. 3, °
40	40,1	40,2	40,2
27	27,2	27,2	27,2
12	12,2	12,1	12,2
0	0,2	0,2	0,1
-12	-12	-12	-12
-27	-27,1	-27,1	-27,1
-40	-40	-40,1	-40

Kui tulemused olid käes, alustati tulemuste analüüsi kallutusmehhanismi vastavuse hindamiseks. Selleks teostati erinevad arvutused laiendmõõtemääramatuse leidmiseks peatükile 5.1 tuginedes (tabel 5.3).

Tabel 5.3 Kallutusmehhanismi kalibreerimise mõõtmise laiendmõõtemääramatuse hindamine

Kalibreerimis-tulemus, °	Hälve, °	Parand, °	Max, °	Min, °	max-min, °	U _{et} , °	u _{et} , °	u _{lug} , °	u _{kord} , °	u, °	U (k=2), °
40,2	0,2	-0,2	40,2	40,1	0,1	0,1	0,05	0,029	0,058	0,082	0,163
27,2	0,2	-0,2	27,2	27,2	0,0	0,1	0,05	0,029	0,000	0,058	0,115
12,2	0,2	-0,2	12,2	12,1	0,1	0,1	0,05	0,029	0,058	0,082	0,163
0,2	0,2	-0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,05	0,029	0,058	0,082	0,163
-12,0	0,0	0,0	-12	-12	0,0	0,1	0,05	0,029	0,000	0,058	0,115
-27,1	-0,1	0,1	-27,1	-27,1	0,0	0,1	0,05	0,029	0,000	0,058	0,115
-40,0	0,0	0,0	-40	-40,1	0,1	0,2	0,10	0,029	0,058	0,119	0,238

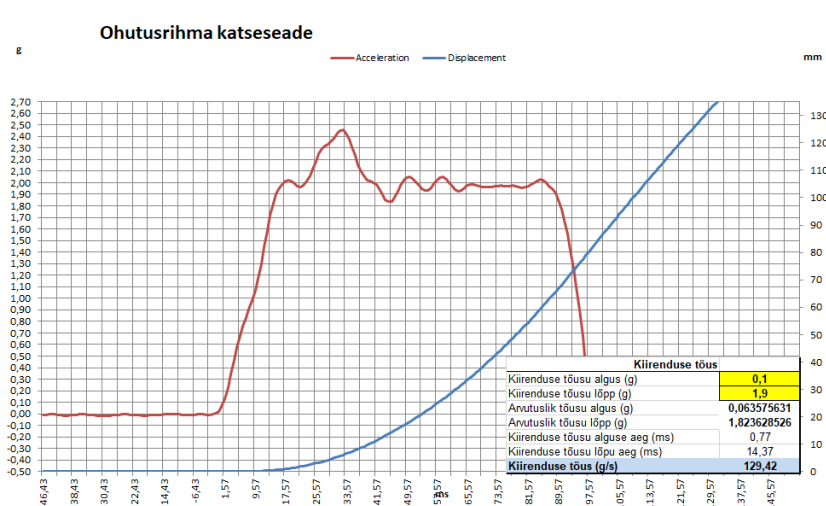
Ülaltoodud tabelist on näha, et arvutatud laiendmõõtemääramatused ja lubatud hälve erinevate kalibreerimistulemuste juures on väiksemad, kui vastavuskriteeriumites välja toodud $\pm 0,5$ °. Seega saab väita, et kallutusmehhanismi samm-ajam on sobilikult valitud ja dimensioneeritud.

5.3 Servoajami kalibreerimine

Kiirenduse kalibreerimisel võrreldakse kiirendusandurist ja skoopmeetrist saadud tulemusi kiirenduse vastavuse kriteeriumitega. Saadud kiirenduse graafikute ja arvutatud kiirenduse tõusu põhjal tehakse otsus kontrollstendi vastavusest esitatud nõuetele. Kiirenduse mõõtmiseks on ettevõttepoolne nõue kasutada etalon skoopmeetrit, mille laiendmääramatus ei ületa $\pm 0,15$ % kasutatud mõõtepiirkonnas ning mille mõõtesagedus on vähemalt 1 kHz. Kiirendusandurina peab kasutama etalon kiirendusandurit, mille laiendmääramatus ei ületa samuti $\pm 0,15$ % kasutatud mõõtepiirkonnas. Antud tingimustele vastavad seadmed on ettevõttel endal olemas. Kiirendusandurina kasutati mõõtmiste teostamiseks TE Connectivity Model 4610 kiirendusandurit. Kiirendusanduri poolt hinnatavat kiirendust monitooriti Fluke 124 skoopmeetriga.

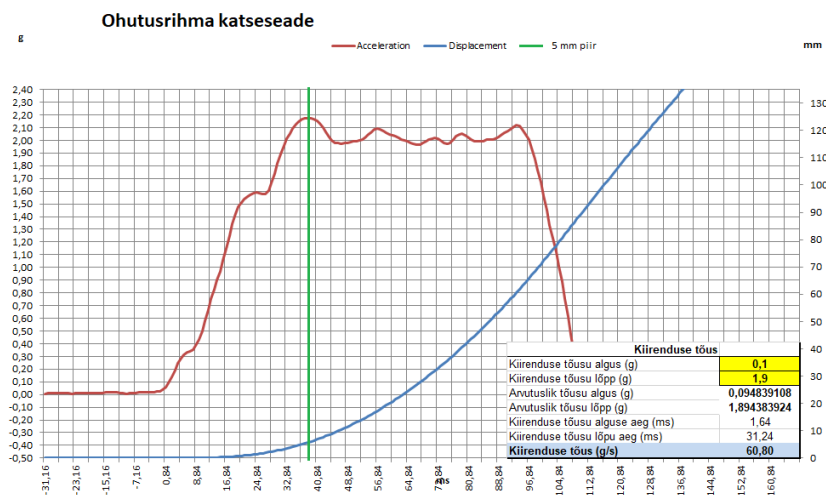
Kalibreerimiseks teostatakse igas kalibreeritavas punktis (0,8 g, 1 g ja 2 g) kolm seeriat mõõtmisi. Kõik tulemused monitooritakse ja salvestatakse skoopmeetriga Fluke 124.

Enne lõplike kontrollmõõtmiste teostamist analüüsiti, milline on kiirenduse graafikute olemus tunnetuslikult sisestatud Festo servoajami suletud ahela parameetritega. Selleks teostati esimene mõõtmine ilma parameetreid muutmata 2 g kiirenduse juures (joonis 5.1).



Joonis 5.1 Kiirenduse graafik ilma Festo servoajami suletud ahela parameetreid muutmata

Nagu graafikult näha, siis kiirenduse tõus on üle lubatud väärtuse (129 g/s). Samuti tekib kiirenduse saavutamise alguses kiirenduse ülereageering, mil kiirenduse väärtus on hetkeks üle 2,4 g. Selleks, et kiirenduse graafik vastavuse kriteeriumitele vastavusse viia, muudetakse Festo Configuration Tool tarkvaras ajami suletud ahela- ja positsiooni liikumise kiirenduse- ja aeglustuse parameetreid ning teostatakse korduskatseid, kuni graafikud vastavad nõuetele. Peale mitmete katsete läbi viimist leiti sobiv parameetrite kombinatsioon, millega saavutati sobivate väärtustega kiirendusgraafik (joonis 5.2).



Joonis 5.2 2 g kiirenduse graafik peale sobivate Festo servoajami suletud ahela parameetrite leidmist

Nagu jooniselt näha, saavutatakse kiirendus 2 g enne nõutud 5 mm läbimist. Kiirenduse tõus on samuti lubatud piirides (60,8 g/s). Sarnasel viisil teostati ka 0,8 g ja 1 g kiirenduse parameetrite leidmine. Ainuke erinevus seisnes selles, et enam suletud ahela parameetreid ei muudetud. Muudeti vaid kiirenduse, aeglustuse ja lõpliku kiirenduse väärtuseid.

Kui kõik kiirenduse graafikud olid paigas, alustati kontrollmõõtmiste teostamisega. Esmalt alustati kiirenduse vastavuse kontrollimisega. Selleks leiti kiirenduse väärtused (tabel 5.4).

Tabel 5.4 Kiirenduse mõõtmise tulemused 0,8 g, 1 g ja 2 g juures

Etteantud kiirendus, g	Katse nr.1, g	Katse nr.2, g	Katse nr.3, g	Kalibreerimis-tulemus, g	Hälve, g	Hälve, %	Max, g	Min, g	max.-min, g
0,80	0,856	0,810	0,809	0,83	0,03	3,7	0,856	0,809	0,047
1,00	0,998	0,967	0,992	0,99	-0,01	-1,0	0,998	0,967	0,031
2,00	2,016	2,020	1,979	2,01	0,01	0,5	2,020	1,979	0,041

Seejärel arvutati laiendmõõtemääramatus kiirenduse vastavuse kontrolliks (tabel 5.5).

Tabel 5.5 Laiendmõõtemääramatuse U arvutamine kiirenduse vastavuse kontrolliks

Etteantud kiirendus, g	u_{et} , g	u_{lug} , g	u_{kord} , g	u , g	$U (k=2)$, g
0,80	0,01225	0,009	0,027	0,03	0,06
1,00	0,01520	0,009	0,018	0,03	0,05
2,00	0,03010	0,009	0,024	0,04	0,08

Võrreldes ülaltoodud tabelites arvatud väärtuseid peatükis 5.1 välja toodud kiirenduse vastavuskriteeriumitega, saab väita, et kiirendus vastab etteantud nõuetele.

Kui kiirenduse saavutamine sai kontrollitud, leiti kiirenduse tõusu ja kiirenduse saavutamise hetke vastavus nõuetele. Esmalt hinnati mõõtetulemuste alusel kiirenduse tõusu (tabel 5.6).

Tabel 5.6 Kiirenduse tõusu mõõtmise tulemused 0,8 g, 1 g ja 2 g juures

Etteantud kiirendus, g	Katse nr.1, g/s	Katse nr.2, g/s	Katse nr.3, g/s	Kalibreerimis-tulemus, g/s	Max, g/s	Min, g/s	max-min, g/s
0,80	32,84	32,35	31,50	32,20	32,8	31,5	1,3
1,00	37,51	39,62	37,55	38,20	39,6	37,5	2,1
2,00	59,61	57,49	57,84	58,30	59,6	57,5	2,1

Mõõtmise hindamiseks arvutati kiirenduse tõusu laiendmõõtemääramatus (tabel 5.7) Laiendmõõtemääramatuse hindamisel arvestati, et tegemist on etalonvihiga. Etaloni standardmääramatuse (u_{ktet}) leidmisel arvestati nii raskuskiirenduse- kui ka etalonvihtide standardmääramatuse ja tundlikkusteguriga. Tabelis on u_{ktet} välja toodud arvutatud kujul.

Tabel 5.7 Laiendmõõtemääramatuse U arvutamine kiirenduse tõusu vastavuse kontrolliks

Etteantud kiirendus, g	$u_{\text{ktet}}, \text{g/s}$	$U_{\text{kord}}, \text{g/s}$	$u, \text{g/s}$	$U (k=2), \text{g/s}$
0,80	0,701	0,774	1,044	2,10
1,00	1,053	1,218	1,610	3,30
2,00	1,188	1,224	1,706	3,50

Võrreldes ülaltoodud tabelites 5.6 ja 5.7 arvatud väärtuseid peatükis 5.1 välja toodud kiirenduse tõusu vastavuskriteeriumitega, saab väita, et kiirenduse tõus vastab nõuetele.

Viimaseks parameetriks kiirenduse juures on nõutud kiirenduse saavutamise hetk. UNECE regulatsioonist nr. 16 on teada, et kiirendus tuleb saavutada enne 5 mm saavutamist. Järgnevalt on välja toodud tulemused kiirenduse saavutamise mõõtmistest (tabel 5.8).

Tabel 5.8 Kiirenduse saavutamise hetke mõõtmise tulemused 0,8 g, 1 g ja 2 g juures

Kiirendus, g	Nõutud distant MAX, mm	Distant 1, mm	Distant 2, mm	Distant 3, mm	Kalibreerimistulemus, mm	Hälve, mm	Max, mm	Min, mm	Max-Min, mm
0,80	5,0	0,779	1,16	1,323	1,1	-3,9	1,323	0,779	0,5
1,00	5,0	4,755	4,818	4,805	4,8	-0,2	4,818	4,755	0,1
2,00	5,0	4,142	4,283	4,197	4,2	-0,8	4,283	4,142	0,1

Seejärel arvutati laiendmõõtemääramatus kiirenduse hetke saavutamise hindamiseks (tabel 5.9).

Tabel 5.9 Laiendmõõtemääramatuse U arvutamine kiirenduse saavutamise hetke vastavuse kontrolliks

Kiirendus, g	u_{et}, s	u_k, g	$u_{\text{kord}}, \text{mm}$	u, mm	$U (k=2), \text{mm}$
0,80	0,000092	0,03	0,314	0,32	0,63
1,00	0,000076	0,03	0,036	0,04	0,09
2,00	0,000134	0,04	0,081	0,09	0,18

Võrreldes ülaltoodud tabelites 5.8 ja 5.9 arvatud väärtuseid peatükis 5.1 välja toodud kiirenduse tõusu saavutamise hetke vastavuskriteeriumitega, saab väita, et kiirenduse saavutamine vastab etteantud nõuetele.

Stendi servoajami positsiooni kalibreerimisel lindipikkuse tuvastamiseks võrreldi kontrollstendi poolt teostatud lindi tagastumise nihkumist etaloni väärtusega. Etalonidena olid kasutusel klass II kuuluvad pikkuselemendid mõõtudega 100 mm ja 400 mm. Lisaks kasutati indikaatorkella, mille laiendmääramatus ei ületa $\pm 0,1$ mm. Nihe antakse ette PLC poolt. Lukustumise hetkest lahutatakse maha soovitud nihke väärtus ja saadetakse see servoajamile. Nihke väärtuse paika saamine toimus katsetamise teel. Kui tulemused olid sobivas vahemikus, teostati mõõtmised ning registreeriti kolm tulemust (tabel 5.10).

Tabel 5.10 Kelgu nihke kalibreerimise mõõtmistulemused

Kelgu nihe, mm	Nihe nr.1, mm	Nihe nr.2, mm	Nihe nr.3, mm	Kalibreerimis- tulemus, mm	Hälve, mm	Parand, mm	Max , mm	Min, mm	Max-min, mm
300	300,621	300,201	299,759	300,2	0,2	-0,2	300,621	299,76	0,9

Seejärel arvutati laiendmõõtemääramatus nihke mõõtmise täpsuse hindamiseks (Tabel 5.11).

Tabel 5.11 Kelgu nihke mõõtmise laiendmõõtemääramatuse U arvutamine

U_{et} , mm	d , mm	u_{et} , mm	u_{lug} , mm	u_{kord} , mm	u , mm	$U (k=2)$, mm
0,0008	0,001	0,0004	0,0003	0,498	0,498	0,995

Võrreldes ülaltoodud tabelites 5.10 ja 5.11 arvutatud väärtuseid peatükis 5.1 välja toodud nihke saavutamise vastavuskriteeriumitega, saab väita, et servoajami poolt lindile tagastatud lindi pikkus on nõutud vahemikus.

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli projekteerida ja koostada elektri- ja automaatikasüsteem, valida sobivad elektriajamid ja luua juhtsüsteem ohutusseadme kontrolljaamale ettevõttes AS Norma. Ohutusrihma kontrollseadme eesmärgiks on kontrollida ettevõtte poolt toodetatavte ohutusrihmade funktsionaalsust koosteliini lõpus enne kliendile lähetamist.

Töö esimese sammuna loodi kogu seadme tööd kirjeldav tehniline ülesanne. Tehnilise ülesande loomisel lähtuti eelkõige Euroopa UNECE määrusest nr. 16, mis sätestab nõuded ohutusrihmade funktsionaalsusele. Lisaks rahvusvahelisele määrusele keskenduti ka ettevõtte sisemistele standarditele.

Peale tehnilise ülesande loomist alustati sobivate elektriajamite leidmisega soovitud katsete teostamiseks. Selleks teostati seadme mehaanikalisi omadusi silmas pidades hulk arvutusi nii kiirenduse- kui ka kallutuse mehhanismi liigutavate ajamite dimensioneerimiseks. Arvutuste tulemusena valiti välja sobivad ajamid nii kiirendust- kui ka kallutust teostavatesse mehhanismidesse. Ajamid valiti Festo tootevalikust.

Järgmise sammuna projekteeriti kogu seadme elektri- ja automaatikasüsteem. Automaatikasüsteemi osana valiti kõik vajalikud komponendid ning elektrisüsteemi osana projekteeriti kõik vajalikud nõrk- ja tugevvoolu ahelaid kirjeldavad elektriskeemid. Valitud komponente kasutades ja tuginedes loodud skeemidele, koostati kogu seadme elektri- ja automaatikaosa.

Peale seadme koostamist pandi seade ka liikuma. Selleks loodi seadme jaoks kõiki liikumisi teostav juhtsüsteem. Juhtsüsteemi loomist alustati voodiagrammide loomisega ning seejärel kirjutati voodiagrammide alusel programm tööstuskontrollerisse. Programm kirjutati ka seadme kasutajaliidesele.

Viimase sammuna viidi läbi kogu seadme kalibreerimine, et hinnata seadme vastavust tehnilise ülesande raames paika pandud nõuetele. Selleks teostati nii kiirendust teostava servoajami kui ka kallutust teostava samm-ajami kalibreerimine. Kalibreerimise käigus hinnati kiirenduse parameetreid, lindi mõõtmise nihet ning kallutamise ajami võimekust. Kalibreerimise tulemusena selgus, et seade vastab kõikidele ette antud nõuetele.

Kogu lõputöö raames teostatud tööde ja analüüsi tulemusena sai ettevõtte võtta kasutusele uue, kõikidele nõuetele vastava ohutusrihma testimist teostava seadme.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] ÜRO Euroopa Majanduskomisjon, „UNECE,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.unece.org/trans/main/wp29/introduction.html>. [Kasutatud 18 03 2019].
- [2] United Nations Economic Commission for Europe, „Regulation No 16 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UN/ECE) — Uniform provisions concerning the approval of: I. safety-belts, restraint systems, child restraint systems and Isofix child restraint systems for occupants of power-dr,“ 2007.
- [3] T. Lehtla, „Elektriamid. Üldkursus,“ TTÜ elektriamite ja jõuelektronika instituut, Tallinn, 2005.
- [4] R. Kask, „Elektriamid, Õppevahend Tallinna Polütehnikumi energeetika õppesuuna õpilastele,“ Tallinna Polütehnikum, Tallinn, 2009.
- [5] B. Sisler, „Control Engineering - How to select a motor for an industrial application,“ 8 February 2017. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.controleng.com/articles/how-to-select-a-motor-for-an-industrial-application/>. [Kasutatud 31 03 2020].
- [6] „Orientalmotor - Motor Sizing Calculations,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.orientalmotor.com/technology/motor-sizing-calculations.html>. [Kasutatud 07 04 2020].
- [7] D. Collins, „Linear Motion Tips - A Design World Resource,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.linearmotiontips.com/how-to-calculate-motor-drive-torque-for-belt-and-pulley-systems/>. [Kasutatud 12 04 2020].
- [8] V. Väinaste, „TARTU ÜLIKOOL, Teaduskool,“ 2009. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.teaduskool.ut.ee/sites/default/files/teaduskool/oppetoo/fys_kehade_poordliikumine.pdf. [Kasutatud 07 04 2020].
- [9] D. Collins, „Linear Motion Tips; A Design World Resource,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.linearmotiontips.com/how-to-calculate-velocity>. [Kasutatud 13 04 2020].
- [10] „PLC Manual - PLC selection criteria,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.plcmanual.com/plc-selection-criteria>. [Kasutatud 13 04 2020].

- [11] SIEMENS, „SIMATIC S7-1200 - System Overview,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/s7-1200.html>. [Kasutatud 22 04 2020].
- [12] MASINATE OHUTUS, Hädaseiskamisfunktsioon, Kavandamise põhimõtted (EVS-EN ISO 13850:2015), EESTI STANDARDIKESKUS.
- [13] Masinaohutus. Ohutuskaitsevahendite asukoha määramine inimese kehaosade lähenemiskiirusest lähtudes (EVS-EN ISO 13855:2010), EESTI STANDARDIKESKUS.
- [14] MASINATE OHUTUS, Masinate elektriseadmed, Osa 1: Üldnõuded (EVS-EN 60204-1:2018), EESTI STANDARDIKESKUS.
- [15] E. P. U. L. Margus Müür, Application of PLC in Industrial Automation, Tallinn: ISBN, 2011.
- [16] SIEMENS, „Programming Guideline for S7-1200/1500 (TIA Portal),“ 2018. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/90885040/81318674_Programming_guideline_DOC_v16_en.pdf?download=true. [Kasutatud 26 04 2020].
- [17] O. M. R. Laaneots, Mõõtmise alused, 2002.

LISAD

Belt Assembly Tilt Lock / Webbing Sense / ALR Function Check– MPS NL 012

3

3.1 Process flow

The check of the TL and WS and ALR function has to be performed with webbing in the retractor either the belt components and anchor plate are assembled or not. Following operations have to be executed:

Tilt Lock-Test

1. The retractor has to be fixed in the retractor specific jig in the range of vehicle mounting position +/- no lock angle (angle at which retractor CS system may not lock).
2. The retractor has to be moved to the no lock position
3. Check of the TL no lock function (retractor movement does not need to be stopped during check):
The spindle has to be turned by pulling the webbing. Acceleration of webbing must not exceed the minimum WS system locking acceleration.
The retractor must not lock.
4. The retractor has to be moved to the angular locking position.
5. Check of the TL function
Spindle has to be turned by pulling the webbing. Retractor has to lock between no lock and locking position.
➔ Ensure that webbing is not fully extracted when locking occurs
6. The retractor has to be moved to the no lock position.
7. Retract webbing to the spindle to unlock the retractor.
8. Check of TL function release
Spindle has to be turned by pulling the webbing. The retractor must not lock.
Test results have to be verified automatically.

Webbing Sense Test

1. The retractor has to be fixed in the retractor specific jig out of TL locking position
2. Webbing has to be introduced into the extraction unit
3. Extract / Retract webbing to defined lengths on the spindle
4. Check of the WS lock function:
The spindle has to be turned by pulling the webbing by locking acceleration. The retractor must lock below a specific locking distance.
5. Retract webbing to the spindle to unlock the retractor.
6. Extract / Retract webbing to defined lengths on the spindle
7. Check of the WS no lock function:
The spindle has to be turned by pulling the webbing by no locking acceleration. The retractor must not lock in the locking distance.
Test results have to be verified automatically.
8. Release retractor and webbing

Belt Assembly Tilt Lock / Webbing Sense / ALR Function Check– MPS NL 012

ALR Test

The retractor has to be fixed in the retractor specific jig out of TL locking position

1. Webbing has to be introduced into the extraction unit
2. Extract all webbing to change to ALR mode (ALR on)
3. Retract webbing to switch position less tolerance ALR → ELR (ALR off)
→ switch point must be always calculated for webbing quantity on the spindle
4. Check of ALR mode (ALR lock function):
The spindle has to be turned by pulling the webbing. The retractor must be locked.
5. Retract webbing to switch position plus tolerance ALR → ELR (ALR off)
→ switch point must be always calculated for webbing quantity on the spindle
6. Check of ELR mode (ALR no lock function):
The spindle has to be turned by pulling the webbing. The retractor must be not locked.
7. Verification of test results
8. Release retractor and webbing

3.2 Machine and tooling specification

The design of the retractor jig has to fulfil the following requirements:

- no movement of the retractor in the fixture
- ensure machine is levelled in order to provide correct base for angular adjustments

The retractor jig has to ensure the car mounting position for the retractor. If there is more than one moveable machine axis it has to be ensured that they do not influence each other.

Webbing extraction

The webbing extraction system has to ensure no damage on the webbing during the contact and webbing extraction during locking.

For system which extract the webbing by friction it must be ensured that there is no slippage between the driving system and the webbing.

Belt Assembly Tilt Lock / Webbing Sense / ALR Function Check– MPS NL 012

3.3 Process parameters – Input

TL test

Lock angle	min	}	acc. To legal and customer requirements
	max		
No lock angle	min		
	max		
Unlock angle:	min	}	
	max		

0. Dynamic testing (Tilt while extracting webbing until retractor locks)

Tilt speed:	min	3°/ sec
	max	12°/ sec
Tilt acceleration	min	30°/sec ²
	max	50°/sec ²
Webbing speed:	min	200mm/sec
	max	700mm/sec
Webbing acceleration	min	1000mm/sec ²
	max	6000mm/sec ²

B) A: Static testing (Tilt to minimum angle and check for free then tilt to maximum angle and check for lock)

Tilt speed:	min	None
	max	30°/ sec – 0.5 sec delay required prior to performing lock check if speed exceeds 12°/ sec
Tilt acceleration	min	None
	max	90°/sec ²
Webbing speed:	min	200 mm/sec
	max	700 mm/sec
Webbing acceleration	min	1000 mm/sec ²
	max	6000 mm/sec ²

WS test

Retractor position	out of locking position
Lock distance	min 10 mm
	max LR (legal requirements)
Unlock distance	min 10 mm
	max 100 mm
Lock acceleration:	min LR
	max LR
Lock ramp up	min LR
	max LR
No lock acceleration:	min LR

Belt Assembly Tilt Lock / Webbing Sense / ALR Function Check– MPS NL 012

No lock ramp up	max	LR
	min	LR
	max	LR
Webbing quantity on spindle for testing	min	LR
	max	LR

ALR test

Retractor position	out of TL locking position
Webbing acceleration:	min 1000mm/sec ²
	Max 6000mm/sec ²
Webbing acceleration ramp up	min 200mm/sec
	Max 700mm/sec
Locking distance	min 10 mm
	Max 50 mm

3.4 Process parameters – Output

Test of TL, WS and ALR function according to the final assembly drawing

3.5 Other

TL, WS, ALR

The checks must be verified automatically without any operator influence

4 *References and Appendices*

- Checklist See Appendix A

Appendix A: Checklist

Pls Observe - Auditing the process the MPS Checklist shall be accompanied by the General MPS 0-2 Checklist added as a 2nd page					
MPS NL 012 Compliance Audit Checklist					
Item	Requirement	Standard Reference	Result		Comment/Observation
1	All tests: Are the checks performed with webbing in the retractor?	3.1	☐ Yes	☐ No	
2	All tests: Is spindle turned by pulling the webbing?	3.1	☐ Yes	☐ No	
3	Tilt Lock Test: Is the retractor fixed in range of the vehicle mounting / out of tilt locking position?	3.1	☐ Yes	☐ No	
4	Tilt Lock Test: Is the retractor moved to the angular no lock position?	3.1	☐ Yes	☐ No	
5	Tilt Lock Test: Does the acceleration of the webbing not exceed the minimum WS locking acceleration as per legal requirements while checking no lock function?	3.1/3.3	☐ Yes	☐ No	
6	Tilt Lock Test: Is the retractor moved to the angular locking position?	3.1	☐ Yes	☐ No	
7	Tilt Lock Test: Does the acceleration of the webbing not exceed the minimum WS locking acceleration as per legal requirements while checking locking function?	3.1/3.3	☐ Yes	☐ No	
8	Tilt Lock Test: Does the testing procedure make sure that webbing is not fully extracted when locking occurs?	3.1	☐ Yes	☐ No	
9	Tilt Lock Test: Is the retractor moved to the angular no lock position before checking release of TL function?	3.1	☐ Yes	☐ No	
10	Tilt Lock Test: Does the retractor retract some webbing in order to unlock before checking release of TL function?	3.1	☐ Yes	☐ No	
11	Question is valid for markets where Legal Regulations require WS sensor. Webbing Sense Test: Is the retractor fixed in range of the vehicle mounting / out of tilt locking position?	3.1	☐ Yes	☐ No	
12	Question is valid for markets where Legal Regulations require WS sensor. Webbing Sense Test: Is the webbing extracted and retracted to required length on the spindle?	3.1/3.3	☐ Yes	☐ No	
13	Question is valid for markets where Legal Regulations require WS sensor. Webbing Sense Test: Is the webbing extracted at required locking acceleration while checking the WS lock function?	3.1/3.3	☐ Yes	☐ No	
14	Question is valid for markets where Legal Regulations require WS sensor. Webbing Sense Test: Does the machine detect if locking occurs in the correct locking distance?	3.1/3.3	☐ Yes	☐ No	
15	Question is valid for markets where Legal Regulations require WS sensor. Webbing Sense Test: Does the retractor retract some webbing in order to unlock?	3.1	☐ Yes	☐ No	
16	Question is valid for markets where Legal Regulations require WS sensor. Webbing Sense Test: Is the webbing length on spindle adjusted (by either extracting or retracting) to the defined amount before starting WS no lock function?	3.1/3.3	☐ Yes	☐ No	
17	Question is valid for markets where Legal Regulations require WS sensor. Webbing Sense Test: Is the webbing extracted at required no locking acceleration while checking the WS no lock function?	3.1/3.3	☐ Yes	☐ No	
18	ALR Test: Is the retractor fixed in range of the vehicle mounting / out of tilt locking position?	3.1	☐ Yes	☐ No	
19	ALR Test: Is all webbing extracted from the spindle in order to switch into ALR mode?	3.1	☐ Yes	☐ No	
20	ALR Test: Is the webbing retracted to switch off point of the ALR mode less tolerance before checking the ALR function?	3.1	☐ Yes	☐ No	
21	ALR Test: Is the webbing retracted to switch off point of the ALR mode plus tolerance before checking the ALR off function?	3.1	☐ Yes	☐ No	
22	Does the testing jig ensure that the retractor does not move inside the retractor fixture?	3.2	☐ Yes	☐ No	
23	Is the machine base level so that angular adjustments show correct value?	3.2	☐ Yes	☐ No	
24	All tests: Are test results verified automatically?	3.5	☐ Yes	☐ No	

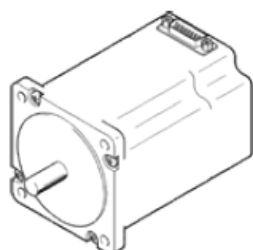
stepper motor EMMS-ST-87-M-S-G2

Part number: 1370486

☆ Core product range

Without gearing, without brake.

FESTO



Data sheet

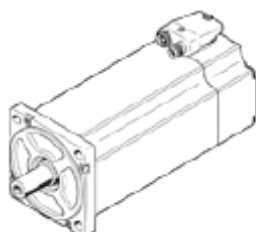
Feature	Value
Ambient temperature	-10 ... 50 °C
Storage temperature	-20 ... 70 °C
Relative air humidity	0 - 85 %
Conforms to standard	IEC 60034
Insulation protection class	B
Thermal class according to EN 60034-1	B
Rating class according to EN 60034-1	S1
Protection class	IP54
Electrical connector system	Plug
Materials note	Conforms to RoHS
Corrosion resistance classification CRC	1 - Low corrosion stress
Authorisation	RCM Mark c UL us - Recognized (OL)
CE mark (see declaration of conformity)	to EU directive for EMC
Nominal operating voltage DC	48 V
Motor holding torque	5.9 Nm
Max. speed	550 1/min
Stepper angle at full step	1.8 deg
Stepper angle tolerance	±5 %
Nominal motor current	9.5 A
Voltage constant, phase	68.6 mVmin
Winding resistance phase	0.23 Ohm
Winding inductance phase	2.6 mH
Mass moment of inertia of rotor	1.9 kgcm ²
Overall mass moment of inertia at power take-off	1.9 kgcm ²
Product weight	3,050 g
Permissible axial shaft load	65 N
Permissible radial shaft load	200 N
Brake holding torque	2 Nm

servo motor EMME-AS-100-M-HS-AS

Part number: 2103499

FESTO

Without gearing, without brake.



Data sheet

Feature	Value
Ambient temperature	-10 ... 40 °C
Storage temperature	-20 ... 70 °C
Relative air humidity	0 - 90 %
Conforms to standard	IEC 60034
Insulation protection class	F
Rating class according to EN 60034-1	S1
Protection class	IP21
Electrical connector system	Plug
Materials note	Contains PWIS substances Conforms to RoHS
Corrosion resistance classification CRC	0 - No corrosion stress
Authorisation	RCM Mark c UL us - Recognized (OL)
CE mark (see declaration of conformity)	to EU directive for EMC to EU directive low-voltage devices
Nominal operating voltage DC	565 V
Nominal voltage DC	565 V
Type of winding switch	Star inside
Number of pole pairs	3
Standstill torque	7.5 Nm
Nominal torque	6.4 Nm
Peak torque	30 Nm
Nominal rotary speed	3,000 1/min
Max. speed	3,941 1/min
Nominal motor power	2,000 W
Continuous open-circuit current	4.6 A
Nominal motor current	4.1 A
Peak current	18.4 A
Motor constant	1.561 Nm/A
Voltage constant, phase-to-phase	101.4 mV/min
Phase-phase winding resistance	3.2 Ohm
Phase-phase winding inductance	12 mH
Overall mass moment of inertia at power take-off	6.41 kgcm ²
Product weight	7,550 g
Permissible axial shaft load	136 N
Permissible radial shaft load	680 N
Rotor position sensor	Absolute single turn encoder
Rotary position encoder interface	HIPERFACE®
Rotary position encoder measuring principle	Capacitive
Rotor position encoder, sinusoidal/cosinusoidal periods per revolution	16
Rotor position encoder, typical resolution	12 Bit
Rotor position encoder, typical angular accuracy	20 arcmin
MTTFd, subcomponent	340 years, rotary position encoder

Ohutusrihma Testjaam

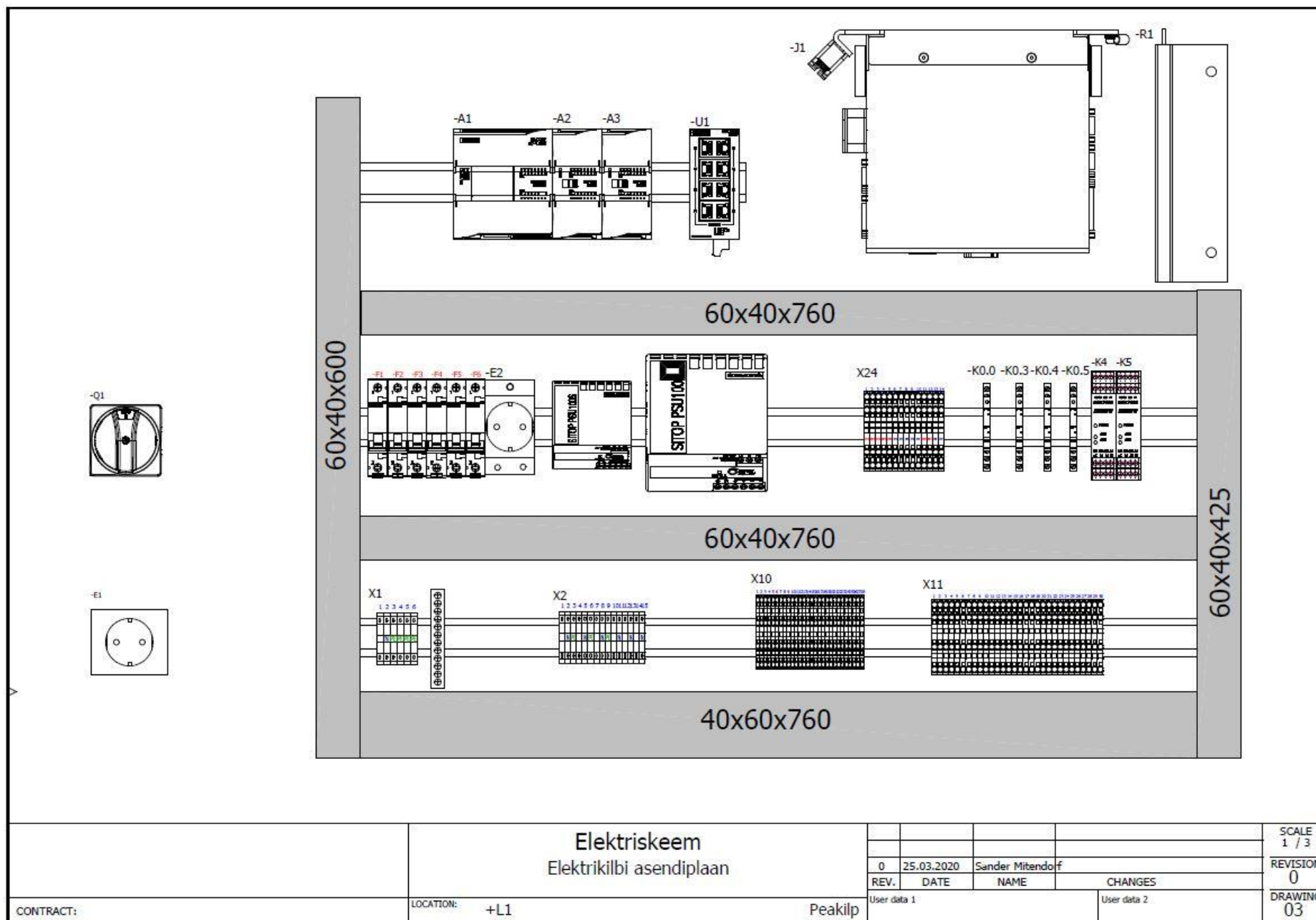
Elektriskeem

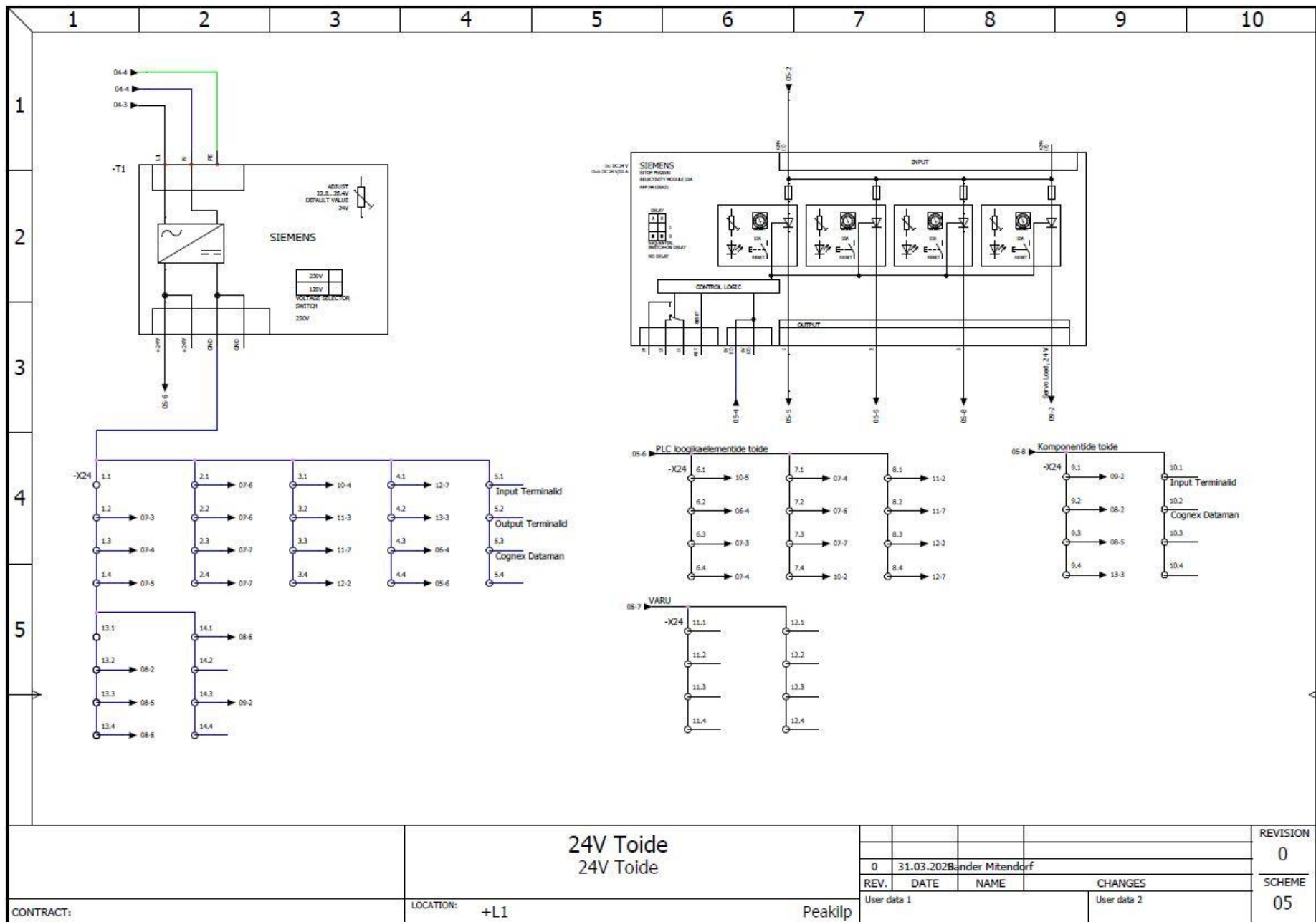
0	8.01.2018	Sander Mändorff	
Norma AS			0
			User data 1
			User data 2
			01

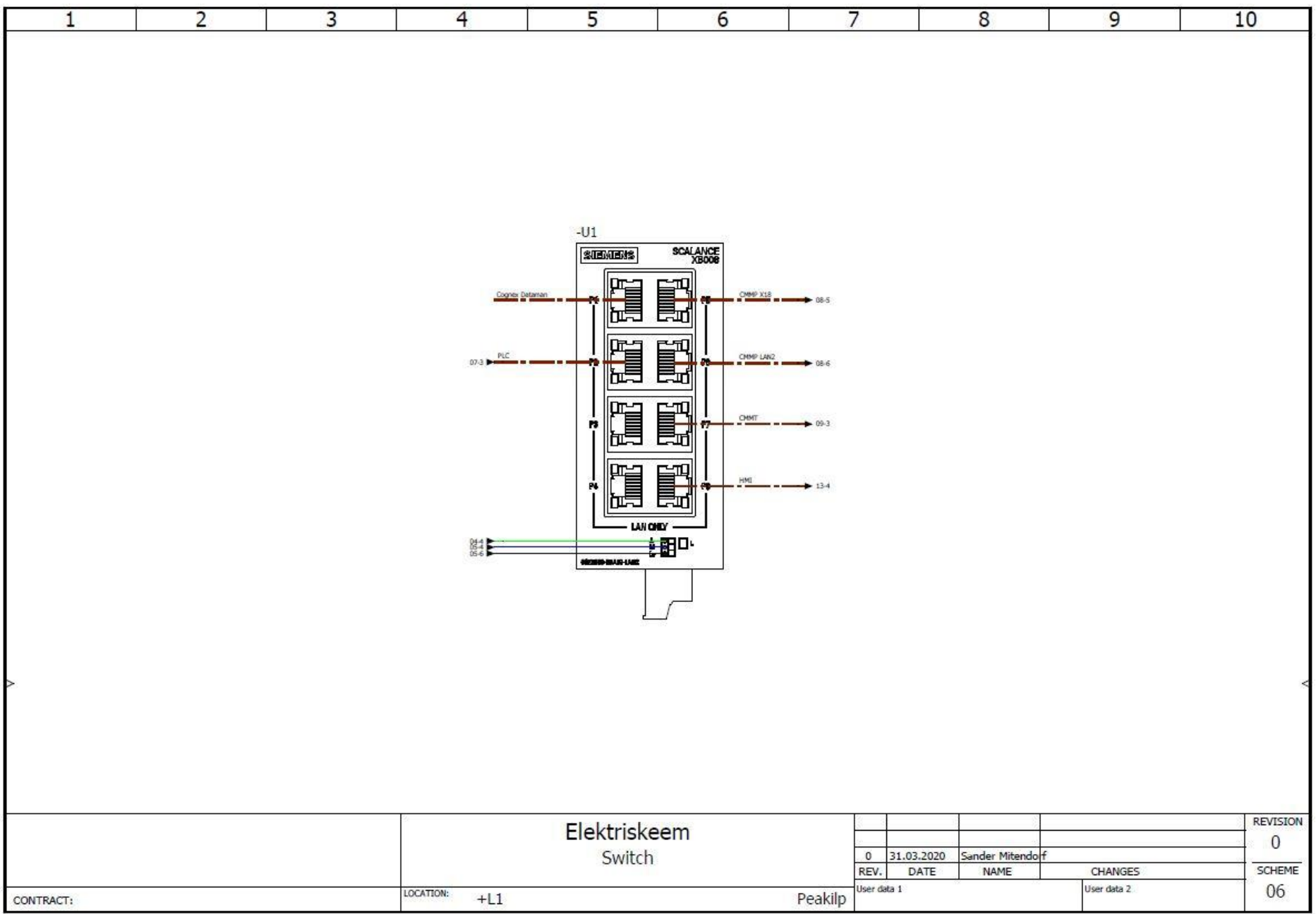
1-Ohutusrihma Testjaam

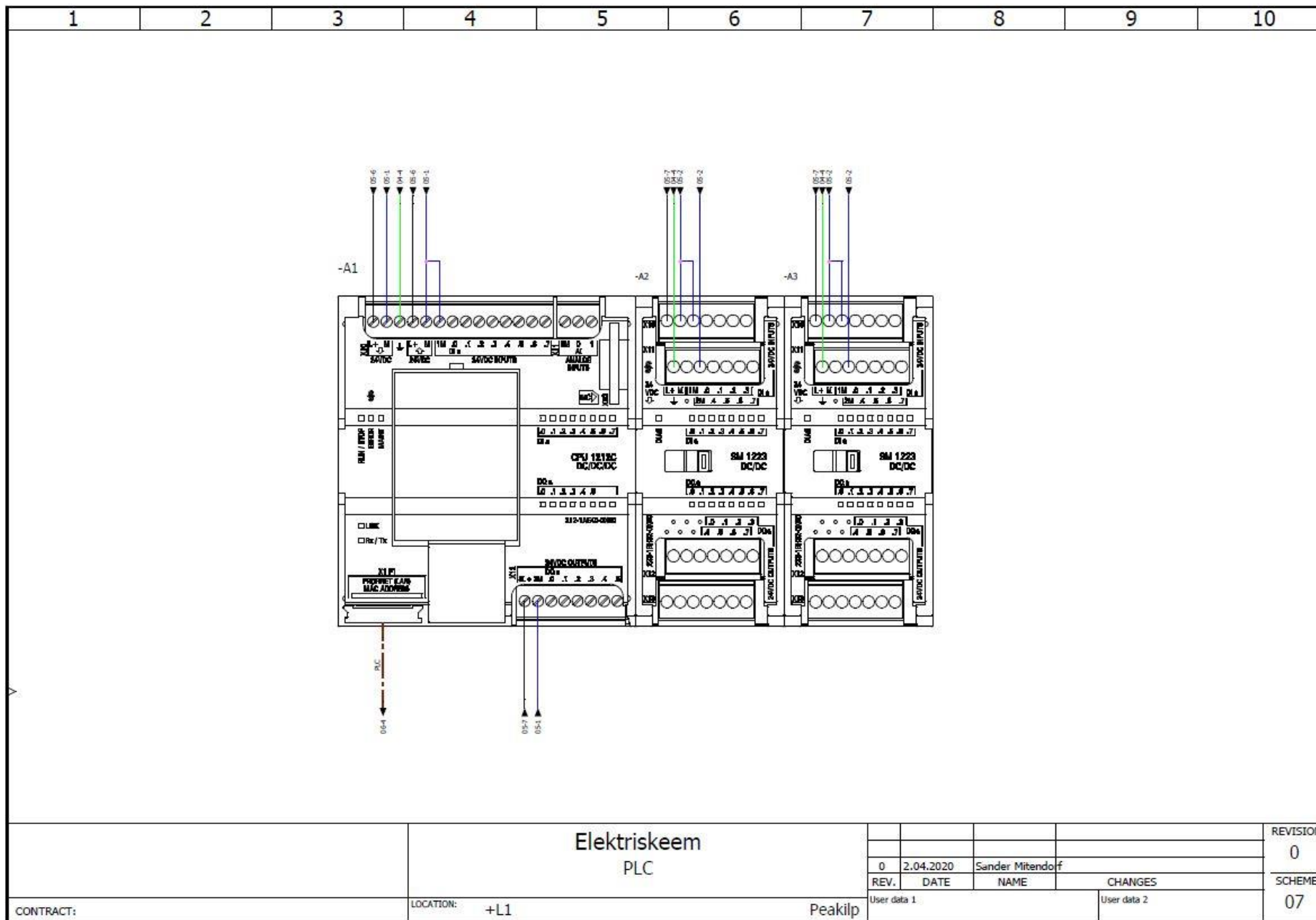
Drawing	Function	Location	Revision	Date	Created by	Description	Folder designation
01	F1	L1	0	16.03.2020	Sander Mitendorf	PEALEHT	
02	F1	L1	0	4.05.2020	Sander Mitendorf	Drawing list	
03	F1	L1	0	25.03.2020	Sander Mitendorf	Elektrikilp	
04	F1	L1	0	1.04.2020	Sander Mitendorf	230V Toide	
05	F1	L1	0	31.03.2020	Sander Mitendorf	24V Toide	
06	F1	L1	0	31.03.2020	Sander Mitendorf	Switch	
07	F1	L1	0	2.04.2020	Sander Mitendorf	PLC	
08	F1	L1	0	2.04.2020	Sander Mitendorf	Lineaarlikumine	
09	F1	L1	0	2.04.2020	Sander Mitendorf	Pöördlikumine	
10	F1	L1	0	31.03.2020	Sander Mitendorf	EM stop	
11	F1	L1	0	3.04.2020	Sander Mitendorf	Turvakardinad	
12	F1	L1	0	31.03.2020	Sander Mitendorf	Õhuklapid	
13	F1	L1	0	31.03.2020	Sander Mitendorf	HMI	
14	F1	L1	0	4.05.2020	sander.mitendorf	BOM	
15	F1	L1	0	4.05.2020	sander.mitendorf	BOM	

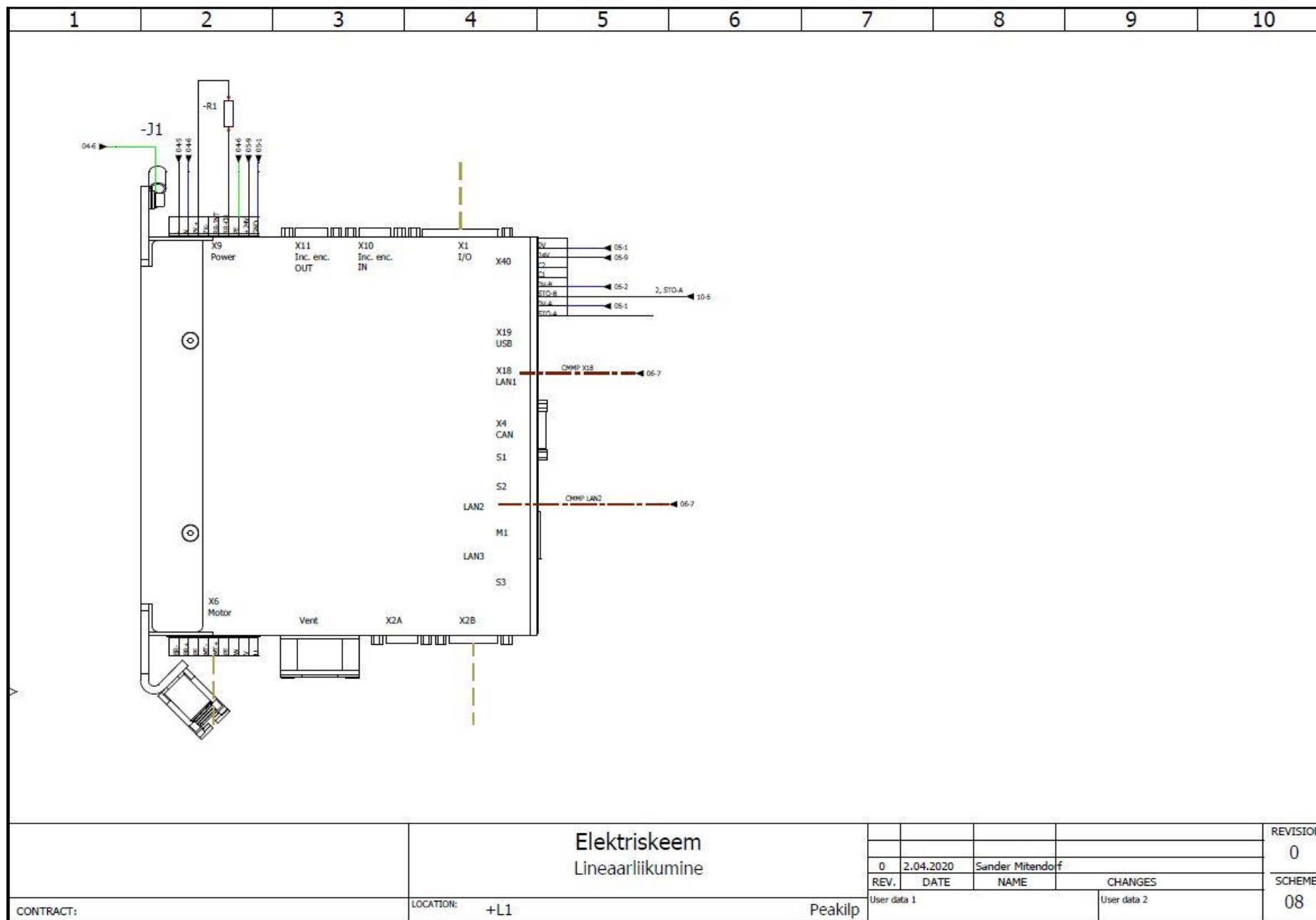
CONTRACT:	LOCATION: +L1	Elektriskeem	Peakilp	User data 1	User data 2	REVISION
						0
						SCHEME
						02

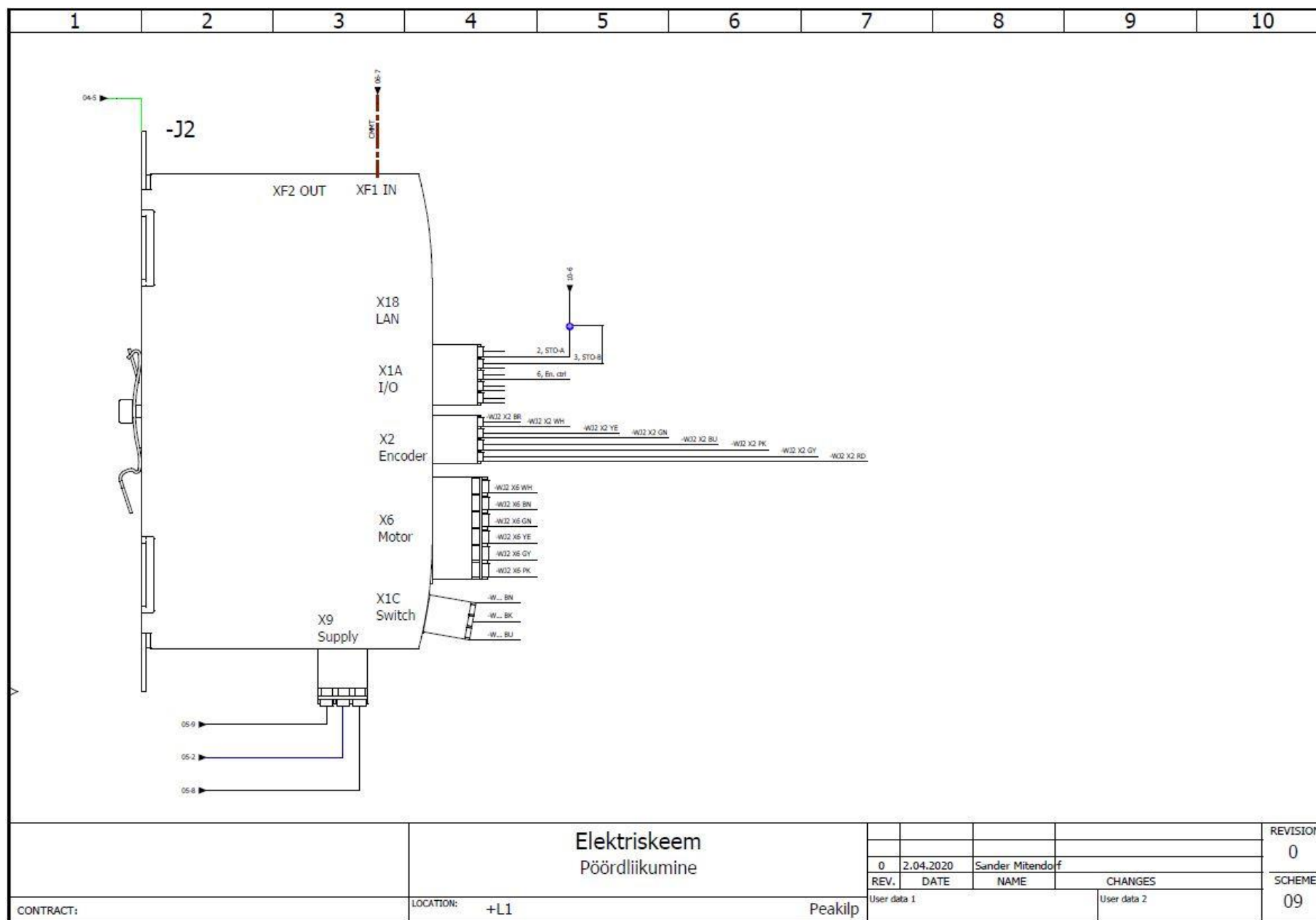




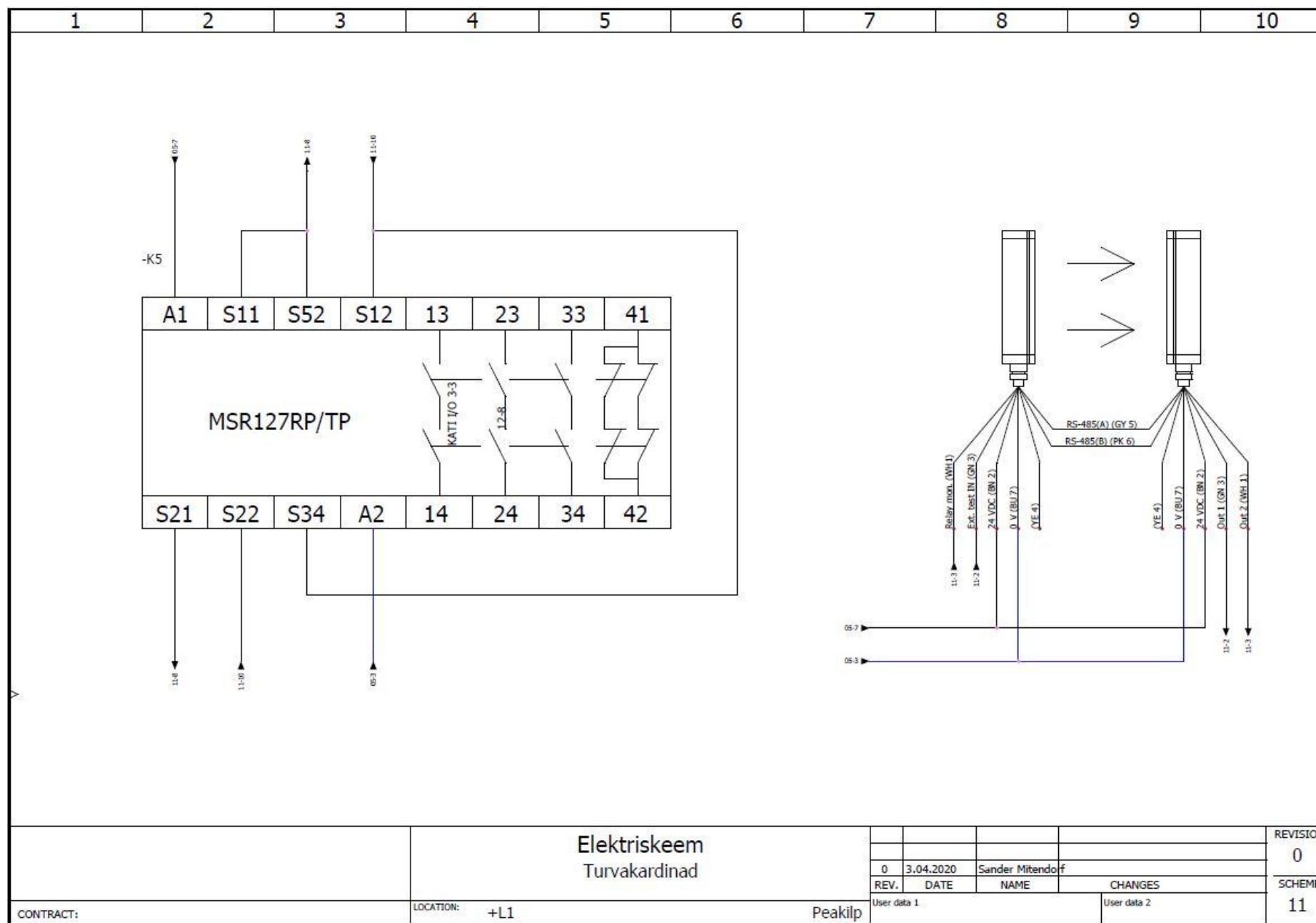


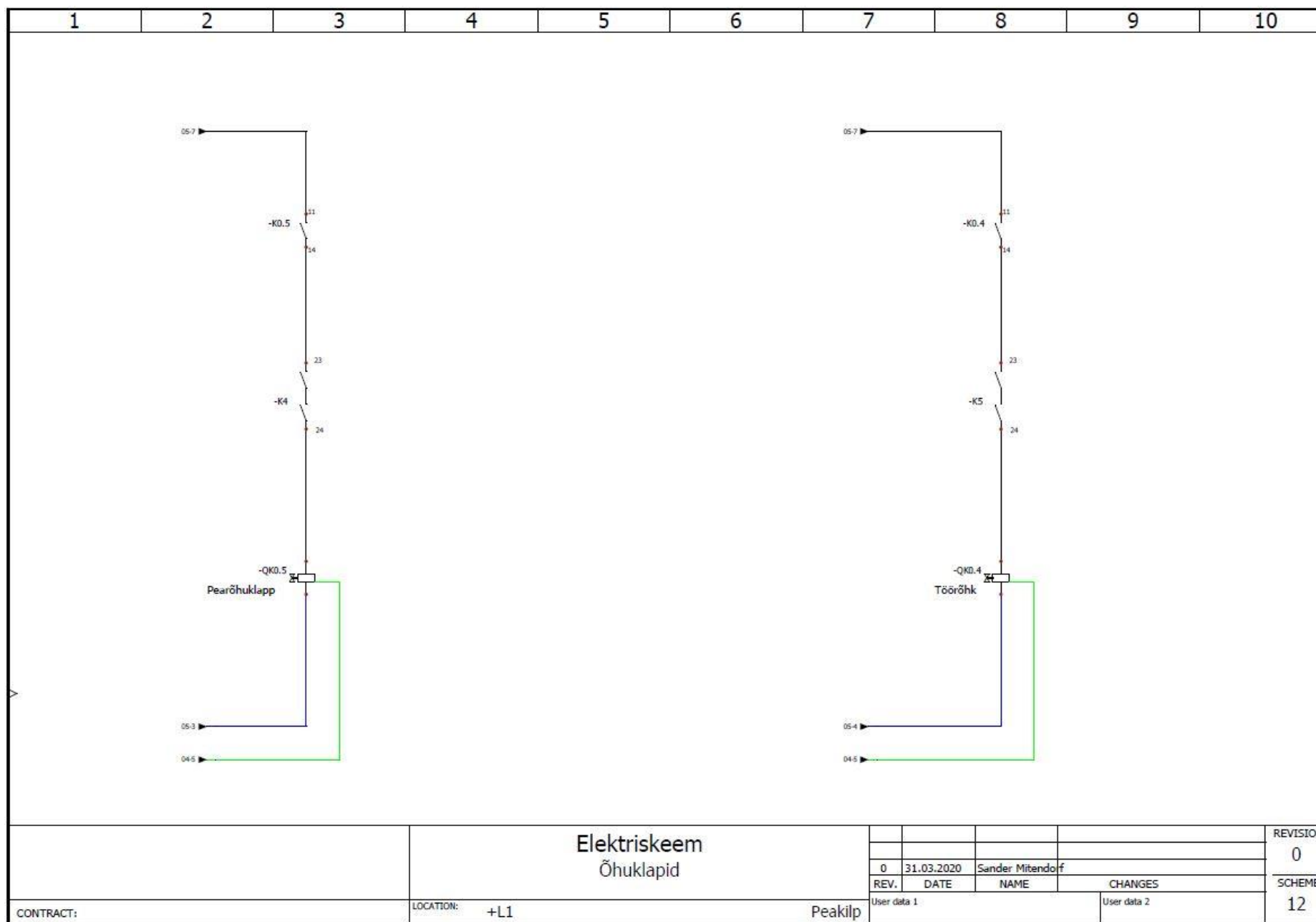


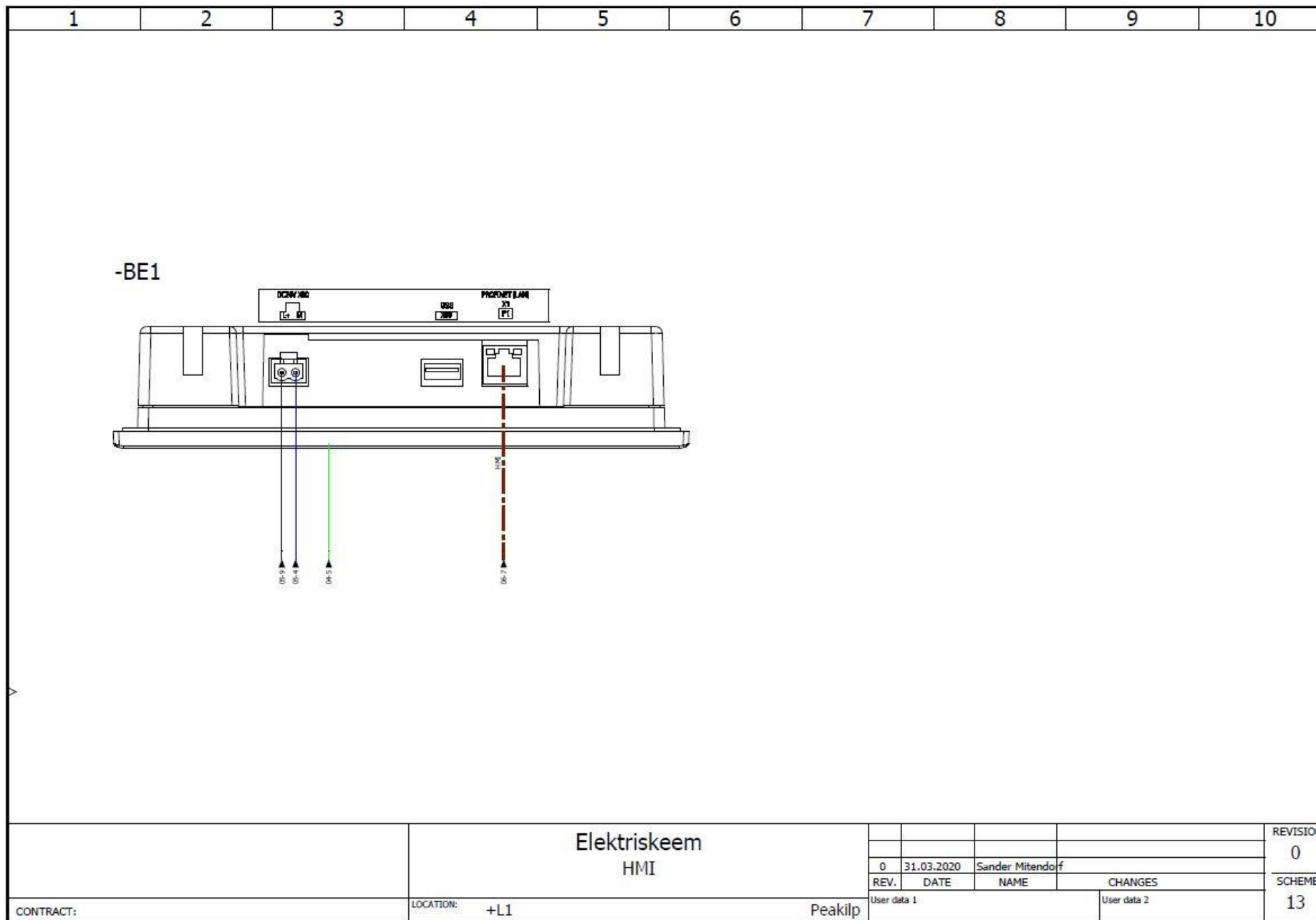












Allen-Bradley

Reference	Mark	Description	Quantity	Manufacturer
440R-N23132	K4 , K5	SAFETY RELAY MSR127RP/TP #440R-N23132	2	Allen-Bradley

Festo

Reference	Mark	Description	Quantity	Manufacturer
CACR-LE2-72-W500	R1	Resistor for CMMP	1	Festo
CMMP-AS-C5-3A-M3	J1	Motor drive CMMP	1	Festo
CMMT-ST-C8-1C-PN-S0	J2	Festo drive CMMT	1	Festo

GE

Reference	Mark	Description	Quantity	Manufacturer
230V socket	E2	DIN rail socket	1	GE

Laost salme

Reference	Mark	Description	Quantity	Manufacturer
KATI eri	L1	KATI metallikilp 755x1000x210 IP66 mont. plaadiga	1	Laost salme

Lovato

Reference	Mark	Description	Quantity	Manufacturer
GA016C	Q1	Koormuslõõb 16A uksele (lisada GAX61)	1	Lovato

OBO Bettermann

Reference	Mark	Description	Quantity	Manufacturer
LK4/N 40x60x2000mm	L1	Kilbikarbik, lai	1	OBO Bettermann
LK4/N 60x40x2000mm	L1	Kilbikarbik	5	OBO Bettermann

Phoenix Contact

Reference	Mark	Description	Quantity	Manufacturer
0801377	L1	DIN rail 35x7,5	3	Phoenix Contact
PLC-BPT- 24DC/21 - 2900445	K0.0 , K0.3 , K0.4 , K0.5	24V relay, NO	4	Phoenix Contact
PT 2,5 QUATTRO	X24-1 , X24-2 , X24-3 , X24-4 , X24-5 , X24-11 , X24-12	24V terminalid	7	Phoenix Contact
PT 2,5 QUATTRO BU	X24-6 , X24-7 , X24-8 , X24-9 , X24-10 , X24-13 , X24-14	24V terminalid, 0V	7	Phoenix Contact

	Elektriskeem				REVISION
		0	4.05.2020	sander.mitendorf	0
		REV.	DATE	NAME	CHANGES
		User data 1			User data 2
CONTRACT:	LOCATION: +L1	Peakilp	SCHEME		
			14		

-> Phoenix Contact

Reference	Mark	Description	Quantity	Manufacturer
PTIO 1,5/5/3	X10-1 , X10-2 , X10-3 , X10-4 , X10-5 , X10-6 , X10-7 , X10-8 , X10-9 , X10-10 , X10-11 , X10-12 , X10-13 , X10-14 , X10-15 , X10-16 , X10-17 , X10-18 , X10-19 , X10-20 , X10-21 , X10-22 , X10-23 , X10-24 , X10-25 , X10-26 , X10-27 , X10-28	I/O terminal, push-in	28	Phoenix Contact
PTTB 2,5	X11-1 , X11-2 , X11-3 , X11-4 , X11-5 , X11-6 , X11-7 , X11-8 , X11-9 , X11-10 , X11-11 , X11-12 , X11-13 , X11-14 , X11-15 , X11-16 , X11-17 , X11-18 , X11-19 , X11-20 , X11-21 , X11-22 , X11-23 , X11-24 , X11-25 , X11-26 , X11-27 , X11-28 , X11-29 , X11-30	2L terminal, push-in	30	Phoenix Contact
UT 2.5	X2-1 , X2-4 , X2-7 , X2-10 , X2-12 , X2-14		6	Phoenix Contact
UT 2.5 BU	X2-2 , X2-5 , X2-8 , X2-11 , X2-13 , X2-15		6	Phoenix Contact
UT 2.5 PE	X2-3 , X2-6 , X2-9		3	Phoenix Contact
UT4	X1-1	Feed-Through Terminal UT4 Gray	1	Phoenix Contact
UT4-PE	X1-3 , X1-4 , X1-5 , X1-6 , X1-7 , X1-8 , X1-9 , X1-10 , X1-11 , X1-12 , X1-13 , X1-14 , X1-15	Feed-Through Terminal UT4 Yellow/Green	13	Phoenix Contact
UT4BU	X1-2	Feed-Through Terminal UT4 Blue	1	Phoenix Contact

Siemens

Reference	Mark	Description	Quantity	Manufacturer
5SJ4101-7HG40	F2 , F3	Miniature circuit breaker 240 V 14kA, 1-pole, C, 10 A	2	Siemens
5SJ4103-7HG40	F5 , F6	Miniature circuit breaker 240 V 14kA, 1-pole, C, 3 A	2	Siemens
5SJ4106-7HG40	F4	Miniature circuit breaker 240 V 14kA, 1-pole, C, 6 A	1	Siemens
5SJ41167HG40	F1	Miniature Circuit Breaker 240V 14kA 1-pole C 16A	1	Siemens
5SV3312-6	Q2 , Q3	Residual Current Operated Circuit Breaker, 2-pole, type A, 25A, 30mA	2	Siemens
6EP1336-1LB00	T1	SITOP PSU100L 24VDC 20A	1	Siemens
6EP1961-2BA21	Q4	SITOP PSE200U SELECTIVITY MODULE 10A	1	Siemens
6ES7 223-1BH32-0XB0	A2 , A3	S7-1200 8DI/8DO	2	Siemens
6ES7212-1AE40-0XB0	A1	CPU 1212C DC/DC/DC	1	Siemens
6GKS008-0BA10-1AB2	U1	SCALANCE XB008	1	Siemens

USER

Reference	Mark	Description	Quantity	Manufacturer
240V Outlet	E1	Väline EU Pistik	1	USER

CONTRACT:	LOCATION: +L1	Elektriskeem	Peakilp					REVISION
				0	4.05.2020	sander.mitendorf		0
				REV.	DATE	NAME	CHANGES	SCHEME
				User data 1			User data 2	15

Ohutusrihma Testjaam I/O

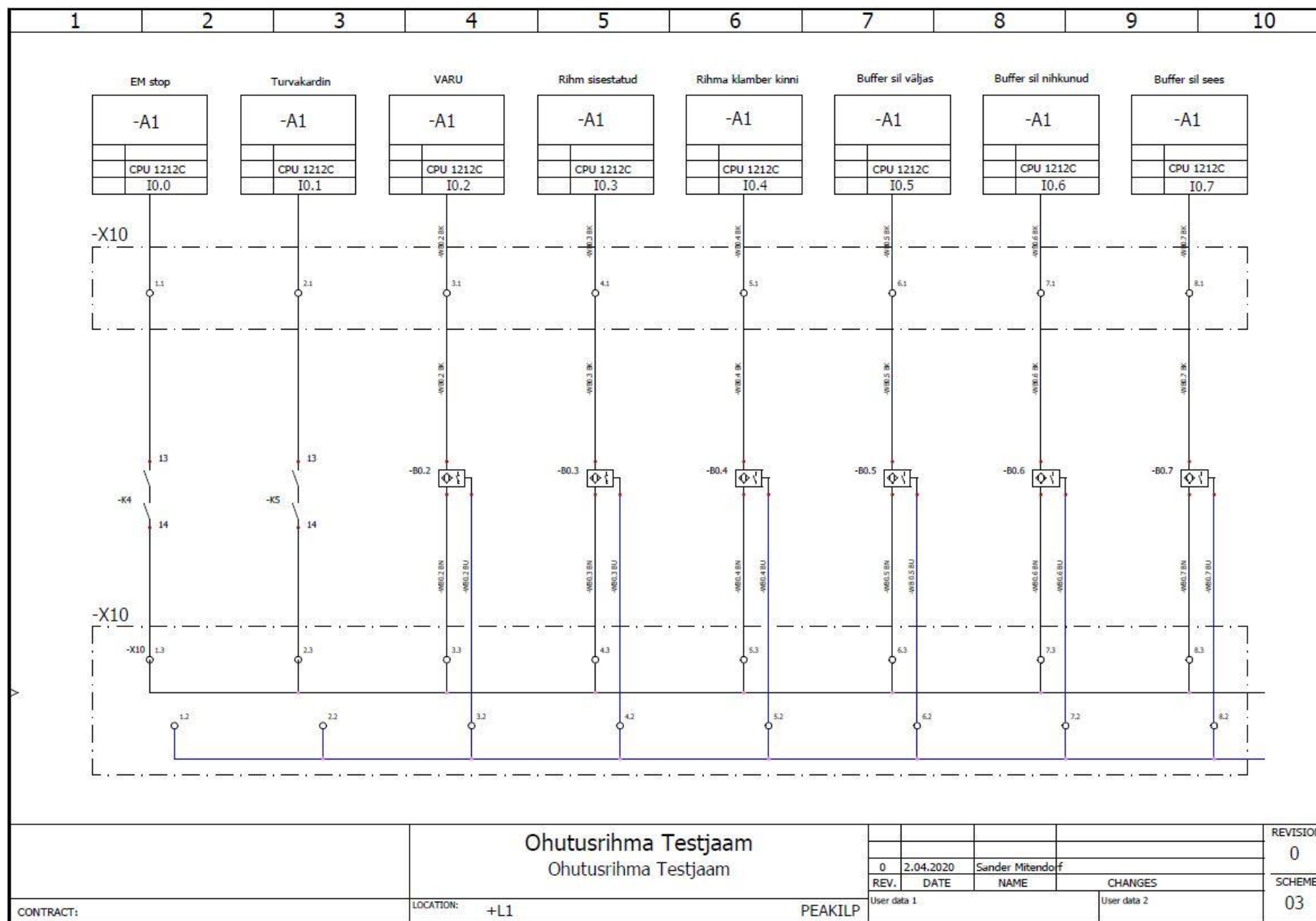
Ohutusrihma Testjaam

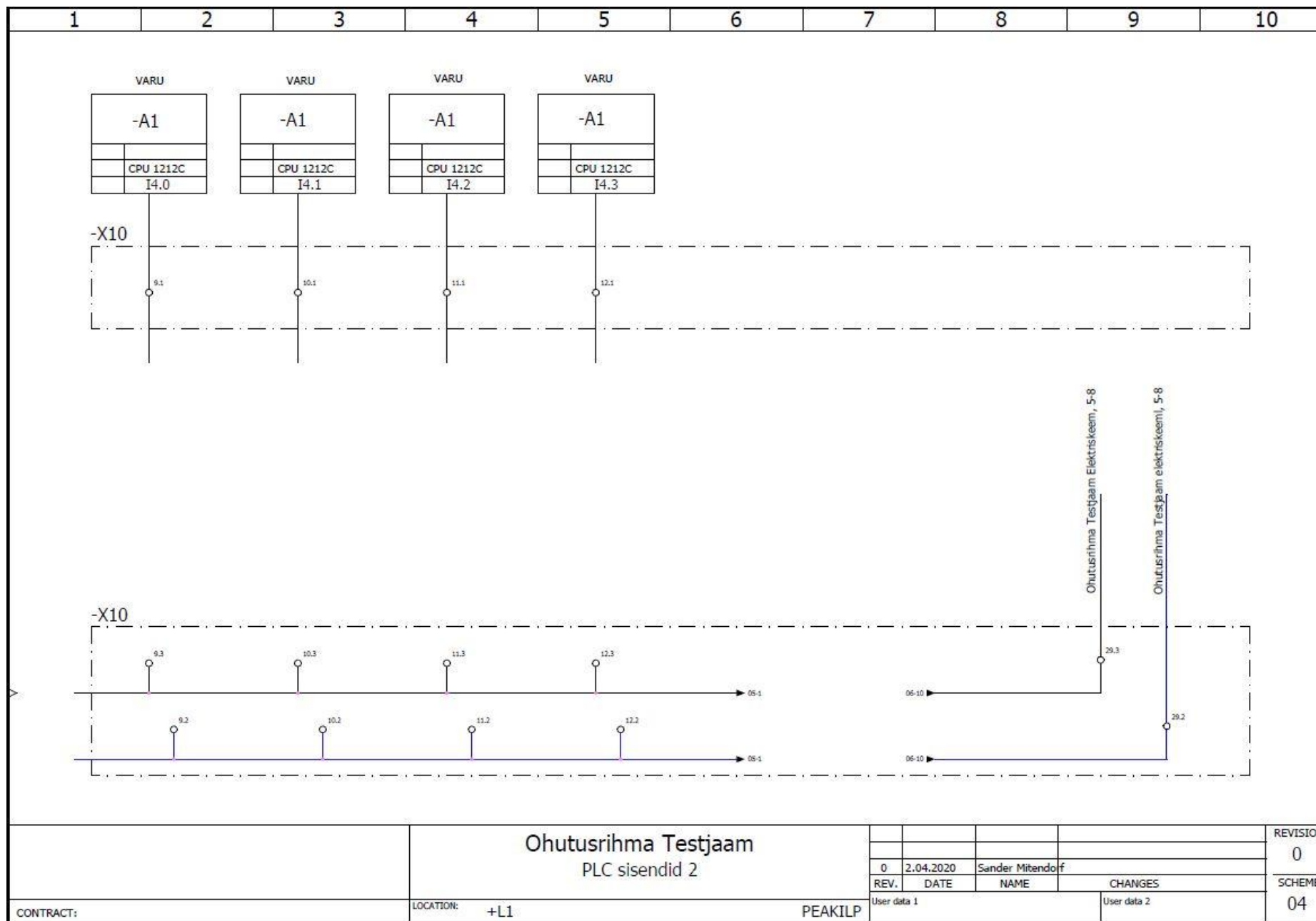
0	2.04.2020	Sander Mlendorf	
REV.	DATE	NAME	CHANGES
Norma AS			REVISION 0
			CONTRACT : User data 1 User data 2 SCHEME 01

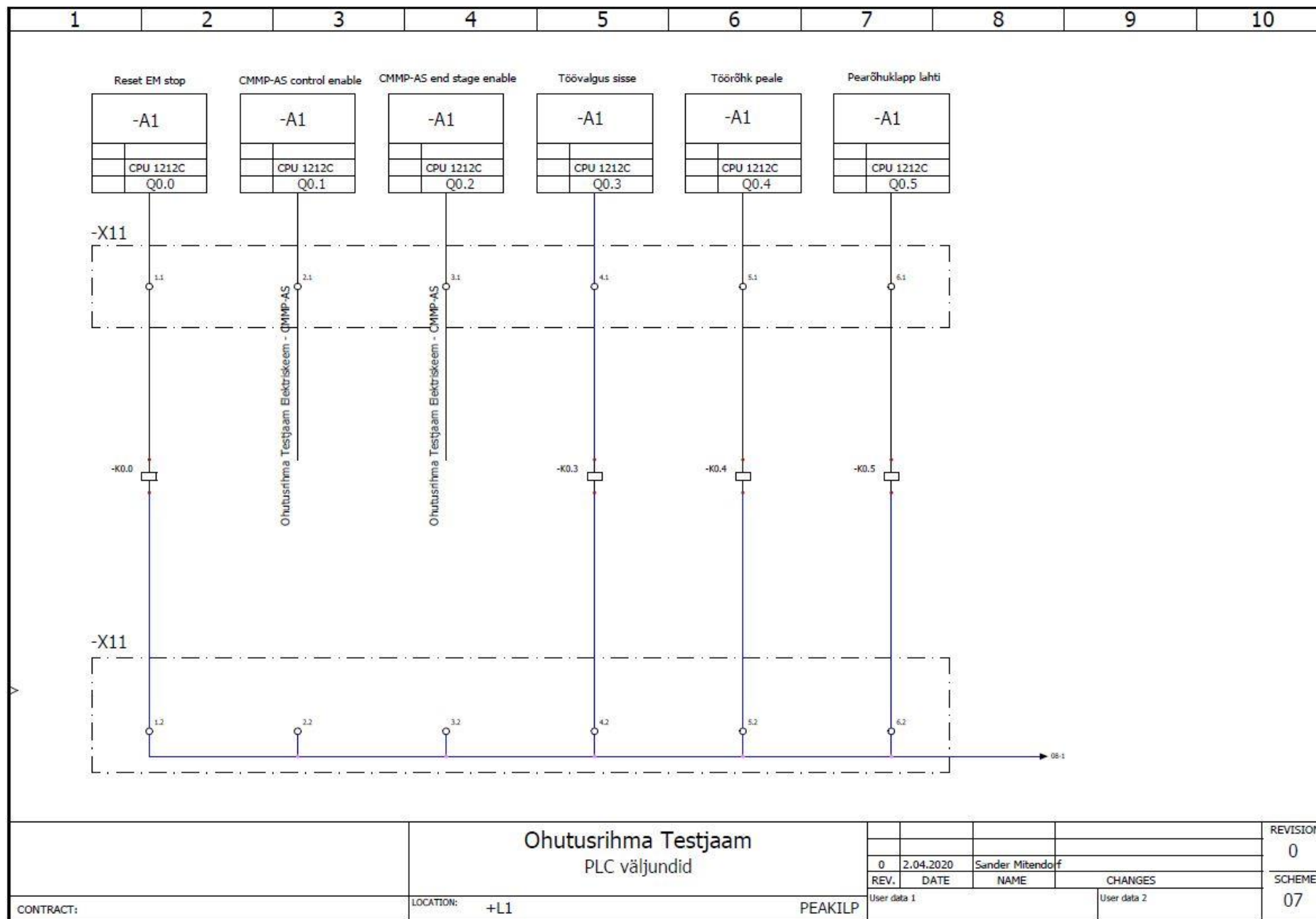
1-Ohutusrihma Testjaam I/O

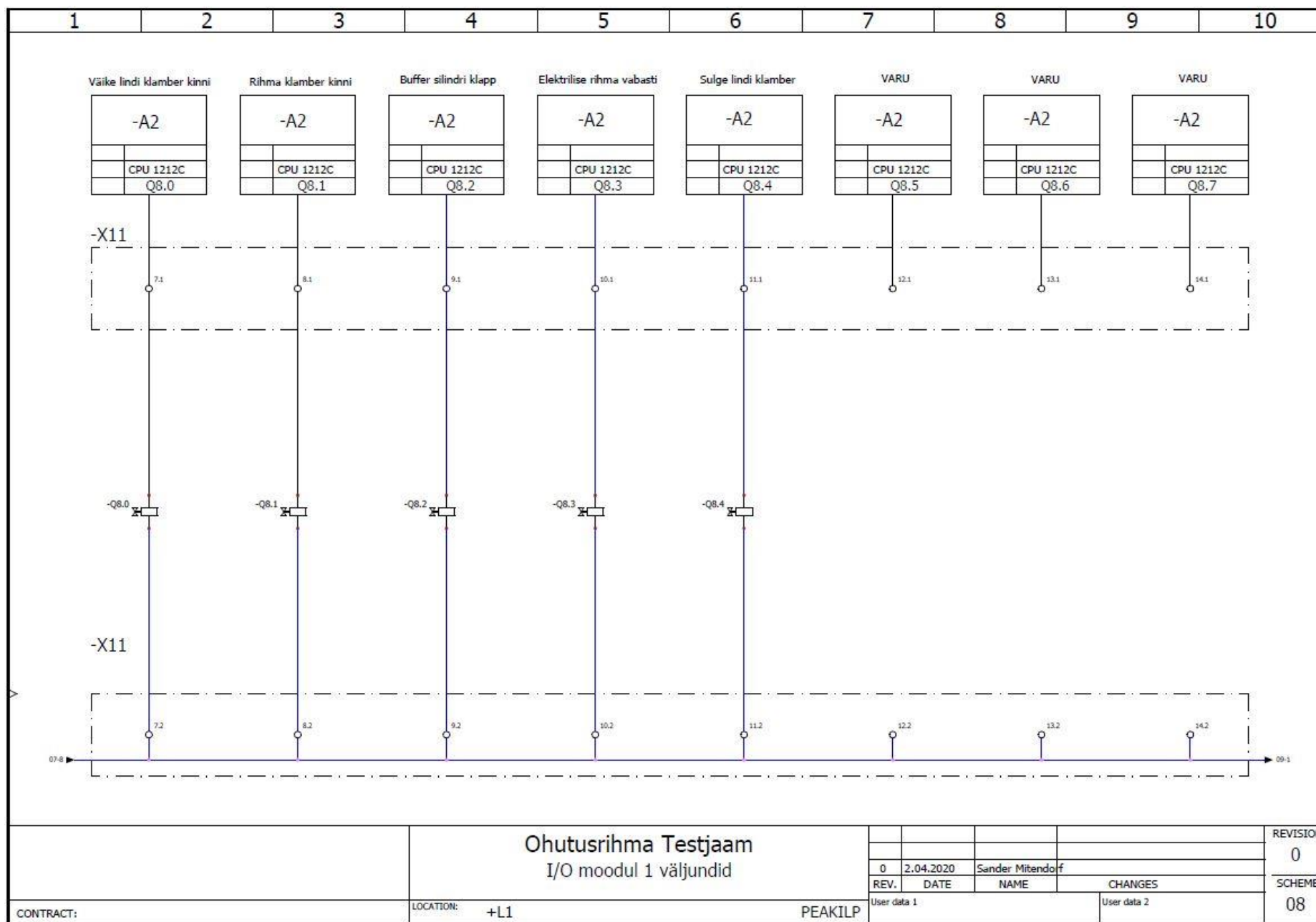
Drawing	Function	Location	Revision	Date	Created by	Description	Folder designation
01	F1	L1	0	2.04.2020	Sander Mitendorf	Cover page	
02	F1	L1	0	2.04.2020	Sander Mitendorf	Drawing list	
03	F1	L1	0	2.04.2020	Sander Mitendorf	PLC inputs 1	
04	F1	L1	0	2.04.2020	Sander Mitendorf	PLC inputs 2	
05	F1	L1	0	2.04.2020	Sander Mitendorf	I/O module 1 inputs	
06	F1	L1	0	2.04.2020	Sander Mitendorf	I/O module 2 inputs	
07	F1	L1	0	2.04.2020	Sander Mitendorf	PLC outputs	
08	F1	L1	0	2.04.2020	Sander Mitendorf	I/O module 1 outputs	
09	F1	L1	0	2.04.2020	Sander Mitendorf	I/O module 2 outputs	

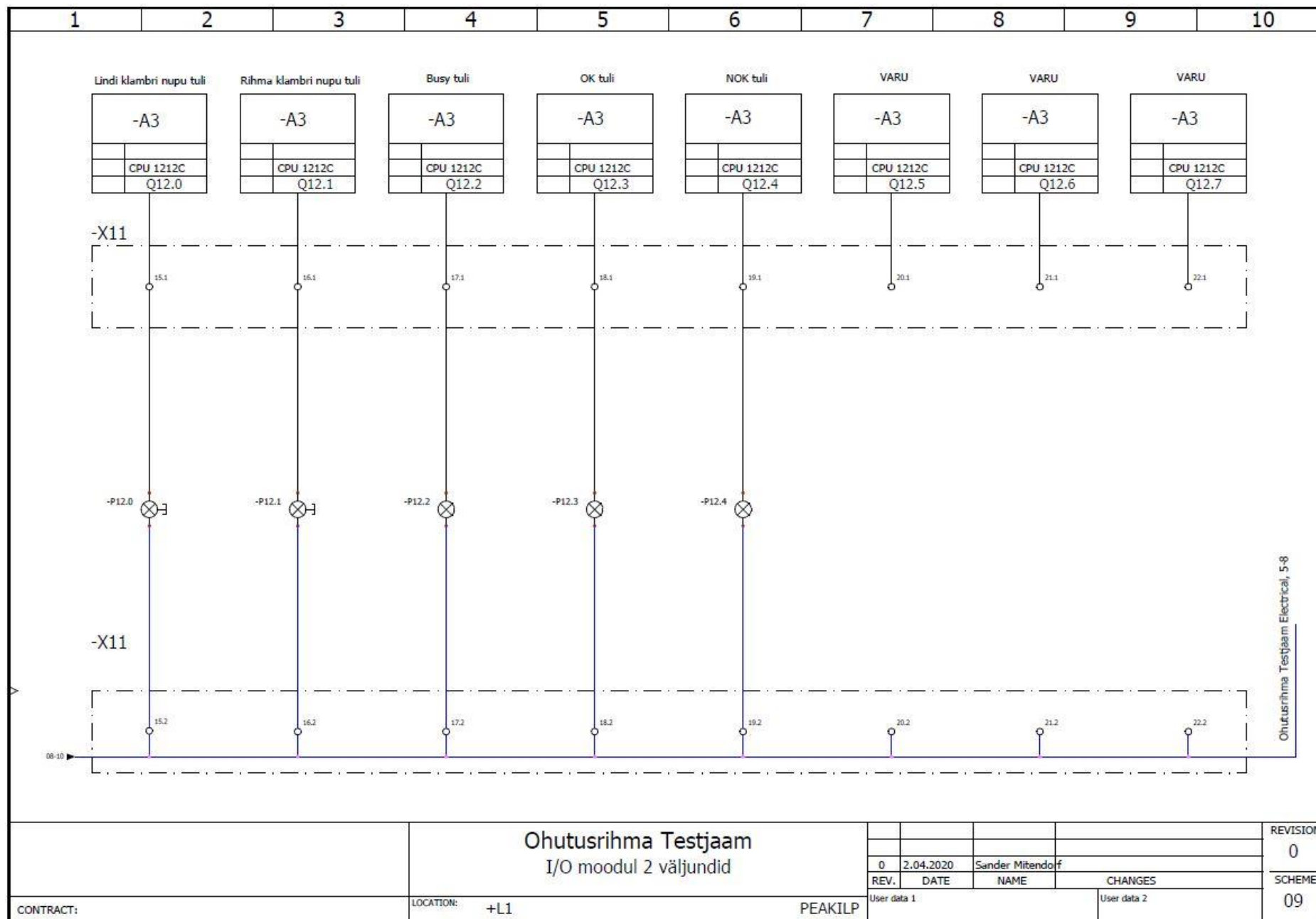
	Ohutusrihma Testjaam				REVISION
		0	2.04.2020	Sander Mitendorf	0
		REV.	DATE	NAME	CHANGES
		User data 1			User data 2
CONTRACT:	LOCATION: +L1	PEAKILP	SCHEME 02		











Festo

Reference	Mark	Description	Quantity	Manufacturer
SIES-8M-PO-24V-K-0,3-M 8D	B0.3 , B0.4 , B0.5 , B0.6 , B0.7 , B8.2 , B12.4 , B12.5 , B12.6	Proximity Sensor SIES-8M for T-Slot	9	Festo

Lovato

Reference	Mark	Description	Quantity	Manufacturer
LED Monoblock Pilot Lights (Green)	P12.3		1	Lovato
LED Monoblock Pilot Lights (Red)	P12.4		1	Lovato
LED Monoblock Pilot Lights (Yellow)	P12.2		1	Lovato
Lovato Mushroom Green Push Button Head - Spring Return, 8LM2T Series, 22mm Cutout	S1 , S2	Mushroom Button, Green	2	Lovato

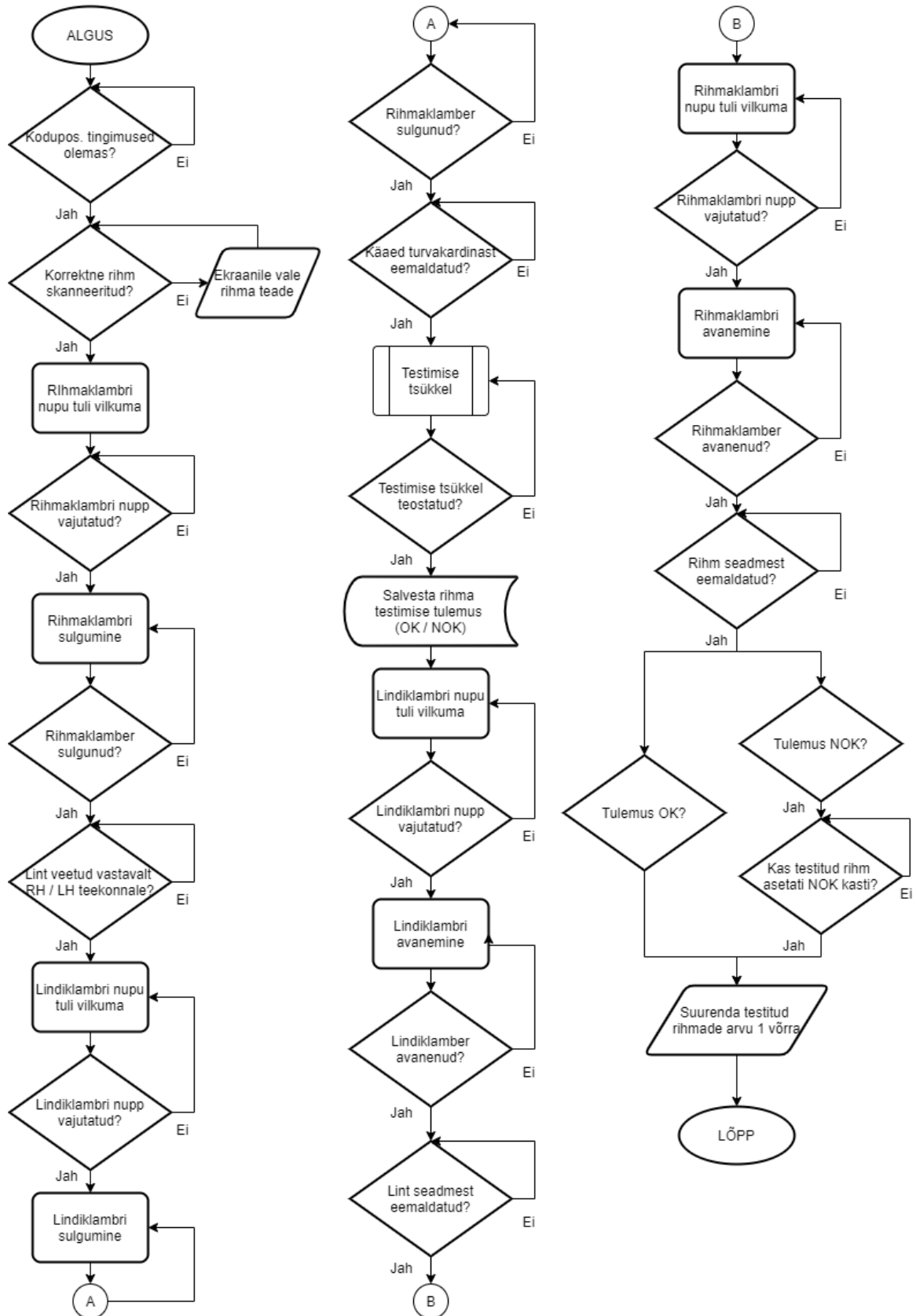
SICK

Reference	Mark	Description	Quantity	Manufacturer
WL11-2P2430	B8.3 , B8.7	Retro-Reflective Optical Sensor 150mm 10m PNP, Sick	2	SICK

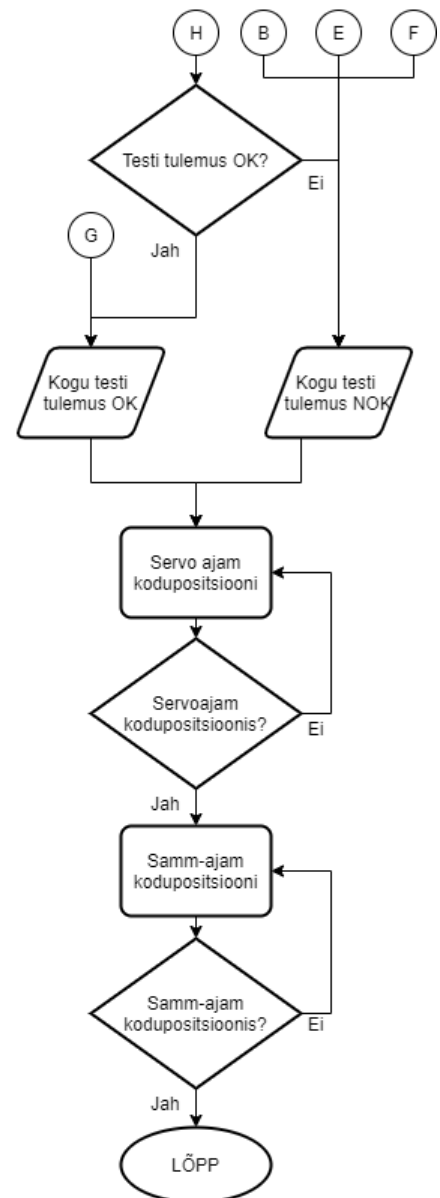
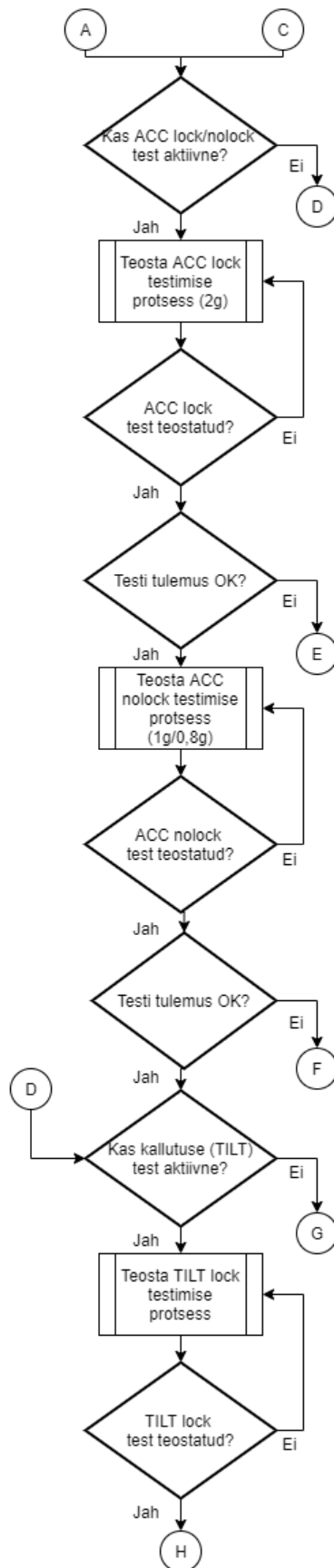
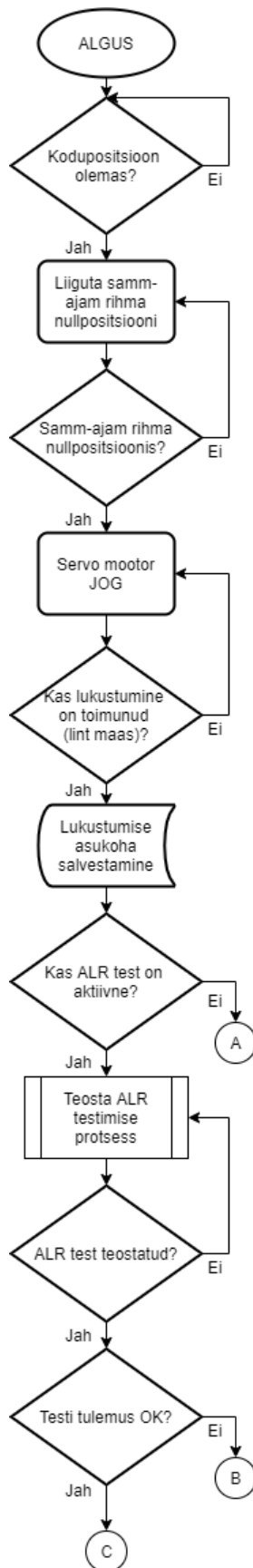
	Ohutusrihma Testjaam					REVISION
						0
		0	4.05.2020	sander.mitendorf		
		REV.	DATE	NAME	CHANGES	SCHEME
CONTRACT:	LOCATION: +L1	PEAKILP		User data 1		User data 2
						10

LISA 5 – Testjaama olulisimate tööprotsesside voodiagrammid

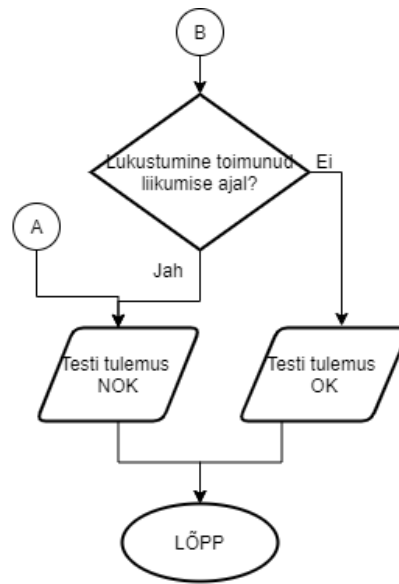
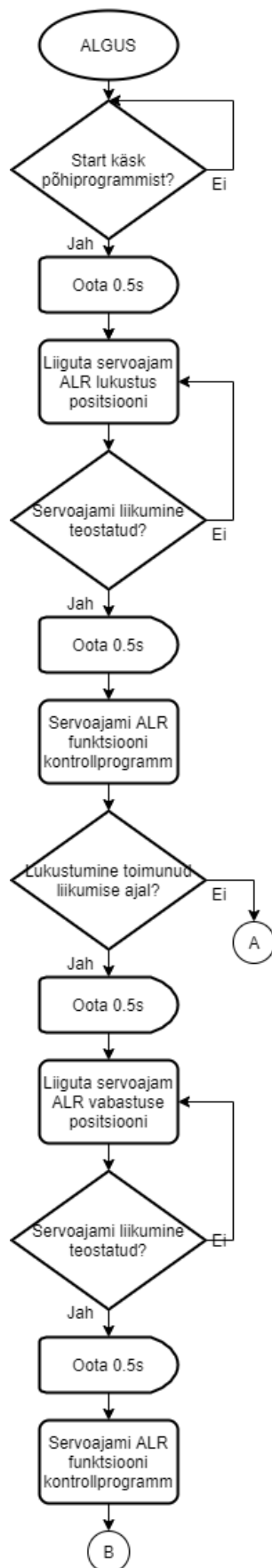
Põhiprogramm:



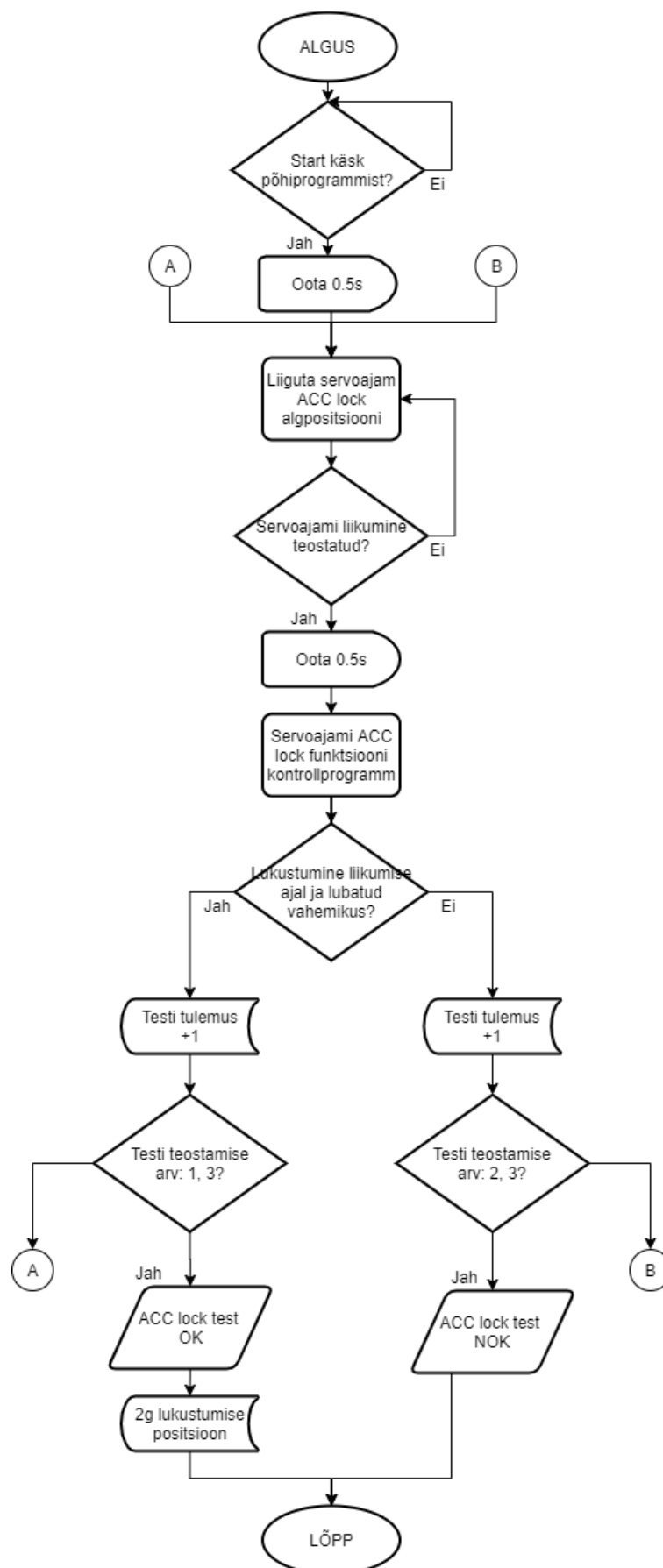
Testimise tsükkel:



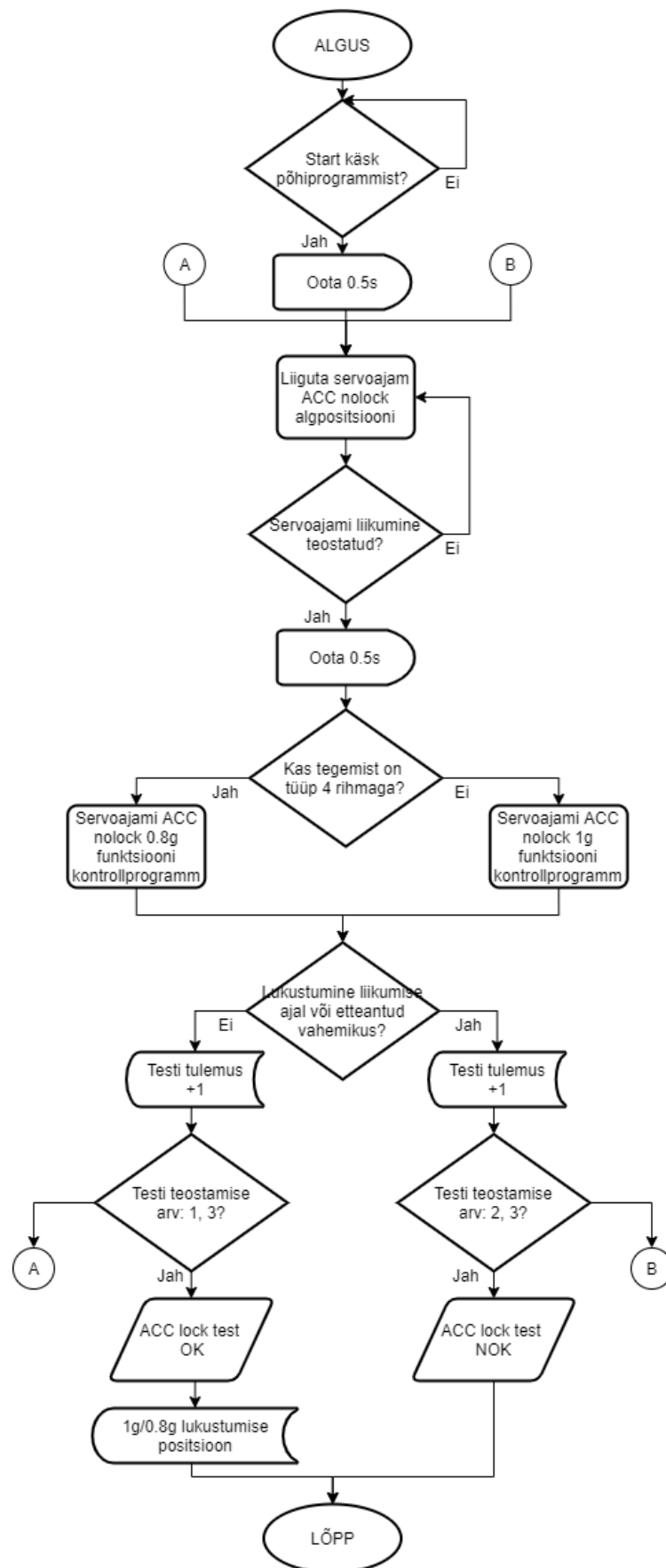
Rihma ALR funktsiooni test:



Rihma 2 g lukustumise test:



Rihma mitte-lukustuse test (1 g või 0.8 g juures):



Kallutuse test:

