



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

# **INTERNETI PROTOKOLLIL PÕHINEV TÖÖSTUSLIK LOGISTIKA LAHENDUS**

## **IP-BASED INDUSTRIAL LOGISTIC SOLUTION BAKALAUREUSETÖÖ**

Üliõpilane: Daniil Bragin

Üliõpilaskood: 205898EAAB

Juhendaja: Martin Jaanus, vanemlektor

Tallinn 2023

(Tiitellehe pöördel)

## **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.

"....." ..... 20.....

Autor: .....

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." ..... 20.....

Juhendaja: .....

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....." .....20.....

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina \_\_\_\_\_ (autori nimi)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

\_\_\_\_\_  
(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja on \_\_\_\_\_,

(juhendaja nimi)

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

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

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

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

\_\_\_\_\_ (kuupäev)

---

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

## LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

*Autor:* Daniil Bragin

*Lõputöö liik:* Bakalaureusetöö

*Töö pealkiri:* Interneti protokollil põhinev tööstuslik logistika lahendus

*Kuupäev:*  
16.05.2023

64 lk (*lõputöö lehekülgede arv koos lisadega*)

*Ülikool:* Tallinna Tehnikaülikool

*Teaduskond:* Inseneriteaduskond

*Instituut:* Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

*Töö juhendaja(d):* vanemlektor Martin Jaanus

*Töö konsultant (konsultandid):* vanemlektor Lauri Kütt

*Sisu kirjeldus:*

Töö eesmärgiks on interneti protokollil põhineva tööstusliku logistika lahenduse prototüübi loomine. Antud lõputöö põhiosas kirjeldati nii lõputöö kontseptiga seotud probleemi tausta, alamsüsteemide projekteerimist, kui ka prototüübi loomist ja kontsepti majanduslikku osa.

Töö põhimeetodite hulka kuuluvad: olemasolevate andmete analüüs, süsteemide projekteerimine, modelleerimine ja programmeerimine. Töö tulemuseks sai süsteemi prototüüp konkreetsete funktsioonidega.

*Märksõnad:* tööstus, IoT, sardsüsteemid, tööstus 4.0, tark tootmine, digitaliseerimine

## ABSTRACT

<i>Author:</i> Daniil Bragin <i>Title:</i> IP-based industrial logistic solution	<i>Type of the work:</i> Bachelor Thesis
<i>Date:</i> 16.05.2023	<i>64 pages (the number of thesis pages including appendices)</i>
<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> Senior Lecturer Martin Jaanus <i>Consultant(s):</i> Senior Lecturer Lauri Kütt	
<i>Abstract:</i> <p>The goal of this work is to create a prototype of the IP-based industrial logistic solution. In the main part of the thesis author described concept-related problem background, subsystem design, physical prototype creation, and the business side of concept.</p> <p>The main methods used in the work are existig data analysis, system design, modelling, and programming. The result of work is a system prototype with a certain set of functions.</p>	
<i>Keywords:</i> industry, IoT, embedded systems, <i>Industry 4.0</i> , smart manufacturing, digitalisation	

# LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema: **Interneti protokollil põhinev tööstuslik logistika lahendus**

Lõputöö teema inglise keeles: **IP-based industrial logistic solution**

Üliõpilane: **Daniil Bragin, 205898EAAB**

Eriala: **Mehhatroonika**

Lõputöö liik: **bakalaureusetöö**

Lõputöö juhendaja: **Martin Jaanus**

Lõputöö kaasjuhendaja:  
(ettevõtte, amet ja kontakt)

Lõputöö ülesande  
kehtivusaeg: **kehtivusaja annab juhendaja**  
2022/2023 2022/2023 Kevad

Lõputöö esitamise tähtaeg: **18.05.23**

---

Üliõpilane (allkiri)

---

Juhendaja (allkiri)

---

Õppekava juht (allkiri)

---

Kaasjuhendaja (allkiri)

## **1. Teema põhjendus**

Kaasaegsed tööstused nõuavad vastavust üldistele standarditele ning lokaalsetele reeglitele. See on kriitiline selleks, et olla konkurentsivõimeline kiiresti muutuv tehnoloogilises maailmas ja samas olla paindlik ning valmis osalema globaalsetes digitaliseerimisprotsessides. Vaatamata tööstustel olemasolevatele direktiividele ning spetsiifilistele dokumentidele, tihti arvestamatuks jääb üks kriitiline aspekt – inimfaktor.

Inimfaktoriga seotud probleemid võivad ilmuda kõige madalamal tasemel. Nii on näiteks suurtes tootearendusega tegelevates tehastes või vabrikutes, kui tegemist on osakonnavahelise (sh inseneride vahel oleva) kommunikatsiooniga informatsiooni või muu jagamise eesmärkidel. Protsessides ilmuvad inimeste mikro-vead ja ebaoptimaalsed otsused, viides ebavajalikele ajakuludele, mis lõppkokkuvõttes summeeruvad ning märkimisväärselt mõjutavad teatud etapile määratud rahalist eelarvet.

## **2. Töö eesmärk**

Töö eesmärgiks on luua interneti protokolil põhinevat kompleksüsteemi, mille ülesandeks on optimeerida tööstuslikus oludes olevat lokaalset osakonnavahelist logistikat ja kommunikatsiooni.

## **3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:**

1. Koguda sardsüsteemi projekteerimiseks vajalikku informatsiooni
2. Luua lõppsüsteemi kasutamise kontseptsiooni
3. Defineerida selged nõuded lõppseadmele
4. Projekteerida kõik alamsüsteemid

## **4. Lähteandmed**

Püstitatud eesmärgi saavutamiseks plaanitakse kasutama avalike uuringute tulemusi ning andmeid, mis põhinevad isiklikul kogemusel ja teadmistel, kui ka juhendaja või konsultantide käest saadud informatsiooni.

## 5. Uurimismeetodid

Töö tulemusteni jõudmiseks kasutatakse antud töös kõigepealt modelleerimist, maketeerimist, mõõtmiste ja katsete läbiviimist. Tähtsaimate andmete analüüsimise vahendite hulgas on: Exceli tabelarvutused ja elektriskeemi simulatsioonid.

## 6. Graafiline osa

1. Alam-mooduli elektriskeem
2. Süsteemi kasutamise voodiagramm
3. Alam-mooduli kapi mehhaaniline joonis
4. Peamooduli esipaneeli mehhaaniline joonis
5. Modulaarse ühenduse mehhaaniline joonis (pesa)
6. Modulaarse ühenduse mehhaaniline joonis (pistik)

## 7. Töö struktuur

1. Süsteemi loomise vajadus
  - 1.1. IoT kontseptsioonil põhineva süsteemi kirjeldus
    - 1.1.1. Üldine süsteemi kirjeldus ja kasutusvaldkonnad
    - 1.1.2. Lõppsüsteemi alamosade kirjeldused
      - 1.1.2.1. Seadme füüsiline struktuur
      - 1.1.2.2. Tarkvaraline keskkond
    - 1.1.3. Inimese ja süsteemi interaktsioon
  - 1.2. Turul olevad sarnased lahendused ning lähenemised
    - 1.2.1. Teiste süsteemide ja pakutava lahenduse sarnasused/erinevused
  - 1.3. Süsteemi poolt lahendatav probleem
    - 1.3.1. Tööstuslikes oludes komponentide ja toodete liikumine
    - 1.3.2. Toodete informatsiooni tsentraliseerimine
2. Lõppsüsteemi projekteerimine
  - 2.1. Süsteemi tükkeldamine alamsüsteemideks
    - 2.1.1. Elektroonika alamsüsteemid
    - 2.1.2. Mehaanilised alamsüsteemid
    - 2.1.3. Tarkvaralised alamsüsteemid
      - 2.1.3.1. Keskjuhtimisseadme tarkvara
      - 2.1.3.2. Perifeeriliste kappide tarkvara
  - 2.2. Elektroonika projekteerimine
    - 2.2.1. Komponentide valik
    - 2.2.2. Peamooduli süsteemi projekteerimine
    - 2.2.3. Alam-mooduli trükkplaadi projekteerimine
  - 2.3. Mehaanika projekteerimine



- 2.3.1. Füüsilise korpuse projekteerimine
  - 2.3.1.1. Alam-mooduli kapi projekteerimine
  - 2.3.1.2. Peamooduli kapi projekteerimine
- 2.4. Sardüsteemi tarkvara arendus
  - 2.4.1. Kasutatavad programmeerimiskeeled ja lähenemisviisid
  - 2.4.2. Kasutajaliidese loomine
- 3. Lõppsüsteemi füüsilise prototüübi loomine
  - 3.1. Sardüsteemi elektroonika ühendamine
  - 3.2. Korpuse prototüübi loomine
- 4. Lõppsüsteemi majanduslik osa
  - 4.1. Valmis seadme omahinna moodustamine
    - 4.1.1. Kasutatavate komponentide hinnad
    - 4.1.2. Tootmis- ja tarnekulu
  - 4.2. Süsteemi turundusmudel

## **8. Kasutatud kirjanduse allikad**

1. [https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P\\_Datasheet.pdf](https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf)
2. <https://developer.microsoft.com/en-us/windows/iot/>
3. <https://www.forbes.com/advisor/business/project-management-triangle/>
4. The official Raspberry Pi beginner's guide : how to use your new computer / by Gareth Halfacree, Gareth Halfacree
5. [https://www.sixsigma-institute.org/What\\_Is\\_Sigma\\_And\\_Why\\_Is\\_It\\_Six\\_Sigma.php](https://www.sixsigma-institute.org/What_Is_Sigma_And_Why_Is_It_Six_Sigma.php)

## **9. Lõputöö konsultandid**

1. Lauri Kütt, elektroonika osas tüüplahenduste valik

## **10. Töö etapid ja ajakava**

1. Üldise lahendatava probleemi defineerimine [06.11.22]
2. Üldise süsteemi kontseptsiooni loomine [20.11.22]
3. Süsteemi nõuete määramine [27.11.22]
4. Esimene peatükk valmis [11.12.22]
5. Elektrooniliste alamsüsteemide defineerimine [1.01.23]
6. Elektrooniliste alamsüsteemide nõuete määramine [1.01.23]
7. Elektrooniliste alamsüsteemide projekteerimine [15.01.23]
8. Korpuse nõuete määramine [22.01.23]
9. Korpuse projekteerimine [29.01.23]

10. Sardüsteemide tarkvara arendus [26.02.23]
11. Teine peatükk valmis [5.03.23]
12. Prototüübi loomine [19.03.23]
13. Süsteemi talitluse analüüs [26.03.23]
14. Kolmas peatükk valmis [30.03.23]
15. Majanduslike arvutuste läbiviimine [2.04.23]
16. Neljas peatükk on valmis [4.04.23]
17. Töö mustand on valmis [16.04.23]
18. Töö läheb juhendajale läbilugemiseks [16.04.23]
19. Paranduste sisseviimine [19.04.23]
20. Töö lõplik version valmis [30.04.23]

# SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE .....	4
ABSTRACT .....	5
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE .....	6
EESSÕNA .....	10
Lühendite ja tähiste loetelu .....	11
SISSEJUHATUS .....	14
1 SÜSTEEMI LOOMISE VAJADUS.....	16
1.1 <i>IoT</i> kontseptsioonil põhineva süsteemi kirjeldus .....	16
1.1.1 Üldine süsteemi kirjeldus ja kasutusvaldkonnad .....	16
1.1.2 Lõppsüsteemi alamosade kirjeldused .....	17
1.1.3 Inimese ja süsteemi interaktsioon .....	18
1.2 Turul olevad sarnased lahendused ning lähenemised .....	19
1.2.1 Teiste süsteemide ja pakutava lahenduse sarnasused/erinevused .....	19
1.3 Süsteemi poolt lahendatav probleem .....	21
1.3.1 Tööstuslikes oludes komponentide ja toodete liikumine .....	21
1.3.2 Toodete informatsiooni tsentraliseerimine .....	22
2 LÕPPSÜSTEEMI PROJEKTEERIMINE .....	23
2.1 Süsteemi tükkeldamine alamsüsteemideks .....	23
2.1.1 Elektroonika alamsüsteemid .....	24
2.1.2 Mehhaanilised alamsüsteemid .....	25
2.1.3 Tarkvaralised alamsüsteemid .....	26
2.2 Elektroonika projekteerimine .....	26
2.2.1 Komponentide valik .....	26
2.2.2 Peamooduli süsteemi projekteerimine .....	29
2.2.3 Alam-mooduli trükkplaadi projekteerimine .....	31
2.3 Mehaanika projekteerimine .....	33
2.3.1 Füüsilise korpuse projekteerimine .....	33
2.4 Sardüsteemi tarkvara arendus .....	40
2.4.1 Kasutatavad programmeerimiskeeled ja lähenemisviisid.....	40
2.4.2 Kasutajaliidese loomine.....	41
3 LÕPPSÜSTEEMI FÜÜSILISE PROTOTÜÜBI LOOMINE.....	42
3.1 Sardüsteemi elektroonika ühendamine .....	42
3.2 Korpuse prototüübi loomine.....	42
4 LÕPPSÜSTEEMI MAJANDUSLIK OSA .....	44

4.1 Valmis seadme omahinna moodustamine .....	44
4.1.1 Kasutatavate komponentide hinnad .....	44
4.1.2 Tootmis- ja tarnekulu .....	47
4.2 Süsteemi turundusmudel .....	50
KOKKUVÕTE .....	51
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	53
LISAD .....	55

## **EESSÕNA**

Antud bakalaureusetöö oli valitud vanemlektor Martin Jaanuse soovitusel, kes omal lahkel loal oli nõus antud tööd juhendama. Töö sisu põhjaks said autori isiklud tööstuslikud kogemused, valdkonna spetsialistide poolt saadud tagasiside ning ka vastavad interneti allikad.

Töö autor soovib avaldada tänu töö juhendajale – vanemlektor Martin Jaanusele, väärtuslike nõuannete eest, lisaks sellele ka vanemlektor Lauri Kütile elektroonika osas abi eest ning nooremteadur Viktor Rjabtšikovile prototüübi mehhaaniliste aspektide kohta tagasiside andmise eest.

## **Lühendite ja tähiste loetelu**

IoT – Internet of Things

NPI – New Product Introduction

UWP – Universal Windows Program

UI – User's Interface

XAML - Extensible Application Markup Language

VB – Visual Basic (programmeerimiskeel)

HTML – Hyper-Text Markup Language

LSL – Lower Specification Limit

USL – Upper Specification Limit

DPMO – Defects Per Million Opportunities

I2C – Inter-Integrated Circuit

SDA – Serial Data

SCL – Serial Clock

GND – Ground

ADC – Analogue-Digital Converter

GPIO – General Purpose Input/Output

OS – Operating System

XAML - Extensible Application Markup Language

ICSP – In-Circuit Serial Programming

UART – Universal Asynchronous Receiver/Transmitter

SBC – Single-Board Computer

SMD – Surface-Mount Device

MCU – Microcontroller Unit

RAM – Random-Access Memory

PCBA – Printed Circuit Board Assembly

BOM – Bill Of Materials

CPL – Component Placement List

USB – Universal Serial Bus

HDMI - High-Definition Multimedia Interface

RFID – Radio Frequency Identification

TX – Transmitter

RX – Receiver

SS – Slave Select

MOSI – Master Output Slave Input

MISO – Master Input Slave Output

RST – Reset

VCC – Supply Voltage

IRQ – Interrupt Request

5S – Sort, Set in Order, Shine, Standardize, Sustain

RTLS – Real-Time Locating System

PMMA – Polymethyl Methacrylate

B2B – Business To Business

HTTP – The Hypertext Transfer Protocol

URL – Uniform Resource Locator





## SISSEJUHATUS

Kaasaegses tehnoloogilises maailmas, kus konkurents ning turu nõudmised järjest tõusevad, rolli mängivad peamised kolm projekti juhtimise aspekti: turule jõudmise aeg, projekti maksumus ja lõpptoote kvaliteet. Ühes nendest kolmest osast tasakaalu kaotamise tulemuseks võib olla turuosa kaotamine, klientide rahulolematuse jms. Tasakaalu säilitamiseks erinevates valdkondades kasutatakse protsesside standardiseerimist ja ka täpseid ametlikke protseduure. Antud meetodid tõstavad protsesside kontrollitavust ja jälgitavust ning vähendavad võimalikke deviatsioone. Tähelepanu nõudvad protsessi vead ja deviatsioonid tihti tekkivad seoses loomuliku inimfaktoriga.

Antud töö peamine eesmärk on luua inimfaktori mõju tööstuslikes oludes minimeerivat lahendust koos tegeliku süsteemi prototüübiga. Probleem, mida lahendab töös kirjeldatud kontsept, on seotud tööstusliku vajadusega lühiajaliselt hoiustada valmisraamitud toodet. Nimelt, raskendub tihti üksikute toodete positsioneerimine sõltuvalt tootmise suurusest ning ka toodetud ühikute kogusest.

Lõputöö koosneb neljast peatükist. Esimese kirjeldatakse teoreetilise probleemi tausta, räägitakse idee tähtsusest ja samas ka üldistatakse kontsepti peamisi osi.

Teises peatükis kirjeldatakse kõikide alamsüsteemide projekteerimist, sh elektroonikaskeemi arendamist, trükkplaadi arendamist, sardsüsteemi tarkvara loomist (C ja C#), kasutajaliidese loomist ja mehhaaniliste osade modelleerimist.

Kolmandas peatükis kirjeldatakse prototüübile esitatavaid nõudeid, planeeritavaid funktsioone ja ka loomise protsessi iseennast.

Viimases peatükis on kirjeldatud süsteemi maksumust, sh elektrooniliste komponentide hindu, süsteemi tootmise kulusid, mehhaaniliste osade maksumust jne. Samal ajal kirjeldatakse ka üldist majanduslikku aspekti.

Töö lisadesse kuuluvad projekteerimise käigus on loodud skeemid ja joonised. Nende hulgas on alam-mooduli elektriskeem, süsteemi kasutamise voodiagramm, alam-mooduli kapi mehhaaniline joonis, peamooduli esipaneeli mehhaaniline joonis, modulaarse konnektori mehhaaniline joonis (pistik ja pesa).



# 1 SÜSTEEMI LOOMISE VAJADUS

## 1.1 *IoT* kontseptsioonil põhineva süsteemi kirjeldus

Antud töös pakutud lahendus põhineb eelkõige *IoT* kontseptsioonil, mis on omakorda saanud mitmete tööstuslike lähenemiste aluseks.

### 1.1.1 Üldine süsteemi kirjeldus ja kasutusvaldkonnad

Antud töös kirjeldatud süsteem on kinnine *IoT* lahendus, mille peamiseks eesmärgiks on tööstuslikes oludes inimfaktori minimeerimine ning mitmete osakondade vahel oleva kommunikatsiooni efektiivsuse parandamine.

Süsteem koosneb iseseisvatest kappidest, mida kasutatakse erinevat sorti toodete lühiajaliseks hoiustamiseks. Lisaks füüsilisele osale, sisaldab süsteem ka tarkvaralist alamlahendust, mis aitab koguda, töödelda ja edastada serverile infot kappides olevate toodete kohta. Antud kontekstis on kaks tüüpi isikuid/töötajaid (kelle roll ei ole staatiline). Esimesed on need, kes toovad ja hoiustavad konkreetset füüsilist eset konkreetsetes kapis. Need inimesed annavad süsteemile hulk sisendandmeid toote kohta (nt tootesildi peal oleva ribakoodi või QR-koodi skaneerimisel) ning lisaks määravad ka teistele isikutele antud kapi kasutamise õigusi. Teised isikud on need, kellele ongi kapis olev toode teiste manipulatsioonide teostamiseks määratud. Nendel isikutel võib olla liigipääs mitmele kapile.

Järgnev lahendus on eelkõige mõeldud kasutamiseks suurtes tootmis- ja tarnetööstustes ning tehastes, kus lisaks tootmisele, on olulisel kohal *NPI*, ehk uute toodete verifikatsioon, inseneride poolt läbi viidavad funktsionaalsed/kontseptuaalsed uuringud ja laboratoorsed katsed. Süsteem loob paremaid võimalusi suurtes tootmiskeskustes eelkõige tootmise ning insenerlike üksuste vaheliseks koöperatsiooniks, juhul kui tootmise käigus ilmub teatud hulk tooteid, mis nõuavad ülalmainitud lisaoperatsioonide teostamist. Probleemiks on antud juhul see fakt, et tööstuslikes oludes on raske määrata iga eraldi võetud toote asukohta, mis võib olla kriitiliselt tähtis konkreetse funktsionaalse rike või ebastabiilse talitluse uurimiseks. See probleem on otse-proportsionaalses sõltuvuses toodetavate toodete mahust ning ka personali üldisest kogusest. Kui suurem on toodetavate asjade hulk või töötajate arv, seda suurema tõenäosusega üksik toode kaob sellele ette nähtud kohast, mis põhjustab ajaresurssi ebaoptimaalset kasutamist ning ka viivitusi tööstuse sisestes protseduurites või protsessides.

Vastavalt projekti juhtimise kolmnurgale (vt Joonis 1.1) (*Project Management Triangle*) kvaliteeti panustavaid komponente on kolm: projekti maksumus (*Cost*), projekti ulatus (*Scope*) ja projekti realiseerimise aeg (*Time*) [1]. Lahendatav probleem mõjutab kõiki kolme kolmnurga külgi. Viivitused protsessides, märkimisväärsete tehniliste ebastabiilsuste uurimise võimatus ja pikk toodete asukoha määramine mõjutab nii üldist projekti maksumust, kui ka selle raskust (e ulatust) ning realiseerimise aega.

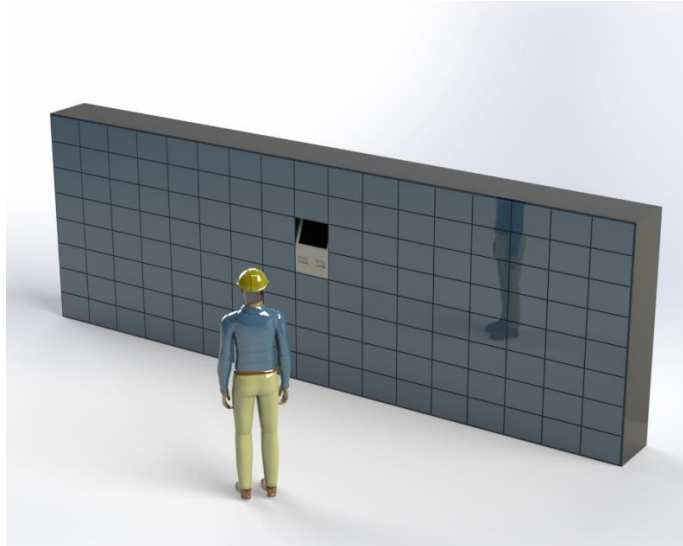


Joonis 1.1 Projekti juhtimise kolmnurk [1]

## 1.1.2 Lõppsüsteemi alamosade kirjeldused

### 1.1.2.1 Seadme füüsiline struktuur

Ülalmainitud süsteemi riistvara koosneb omavahel ühendatud modulaarsetest kappidest (vt Joonis 1.2), mis omakorda sisaldavad nende jaoks loodud elektroonilist lahendust. Iga eraldi võetud kapp on omaette sardsüsteem oma elektroonikaga, mis annab võimalusi teatud oludes vigase mooduli asendamiseks või vajaduse tekkimisel terve süsteemi ümberkorraldamiseks. Lisaks ülalmainitule, süsteemis on ka nn keskjuhtimisseade, mis juhib perifeerias olevaid kappe ja samal ajal sisaldab inimmasina liidest. Keskjuhtimiseadme koosseisu kuuluvad puutetundlik ekraan välja viidud *USB* pesadega, keskarvuti (milleks on antud juhul *Raspberry Pi 3*) ja üldine korpus. Olemasolevaid *USB* pesasid võib kasutada lisaseadmete ühendamiseks, nagu näiteks, klaviatuur, hiir või ribakoodi/*QR*-koodi skänner.



Joonis 1.2 Kinnise IoT süsteemi 3D mudel

### 1.1.2.2 Tarkvaraline keskkond

Keskjuhtimisseadme pardal on ka pidevalt jooksev tarkvaraline programm, mille abil teostatakse süsteemi ja inimese vaheline suhtlus ja toimub üldine süsteemi juhtimine ning serveris olevate andmete uuendamine.

Keskarvuti pardal jookseb operatsioonisüsteemina *Windows 10 IoT Core*, mille baasil on loodud *UWP (Universal Windows Platform)* rakendus. Antud rakendus koosneb mitmetest akentest, mille abil süsteemi kasutav töötaja sisestab sisendandmeid toote kohta, määrab vastavaid õigusi teistele töötajatele või haldab temal olevaid õigusi ja temale määratud tooteid.

### 1.1.3 Inimese ja süsteemi interaktsioon

Nagu oli ka eelnevalt mainitud, põhiline süsteemi ja inimese omavaheline interaktsioon toimub läbi keskjuhtimissüsteemi raames oleva puutetundliku ekraani. Lisaks sellele, sõltuvalt tööstuse spetsiifikast, kasutab eraldi võetud tehase/tootmise töötaja erinevaid lisaseadmeid.

Oletame konkreetset kasutamise stsenaariumi. Oletame, et on olemas tootmise järelvalvet teostav töötaja **A**, kelle konkreetseks tööülesandeks on anda insenerile **B** mingi konkreetne toode, mis oma ilmunud defektide tõttu ei vastanud temale esitatud nõuetele ning ei läbinud funktsionaalsust kontrollitavat testi. Inseneri **B** jaoks on kriitiliselt oluline saada just see toode oma laboratoorsete uuringute läbiviimiseks ning tootedisaini üksusele oma tulemustest raporteerimiseks. Vastav tootedisaini üksus võib sel juhul jõuda teatud järeldusteni inseneri **B** raporti põhjal. Kirjeldatud olukorra algoritm on pakutava süsteemi kasutamise juhul järgmine:

1. Töötaja **A** saab vastava teate sellest, et inseneri **B** katsete ning uuringute läbiviimiseks on vajalik toode **X** (näiteks konkreetse seerialnumbriga).
2. Töötaja **A** võtab toote ja toob seda lähima kappide jaamani.
3. Töötaja **A** aktiveerib ekraani ja skaneerib oma personalikaardi (pannes seda kaardilugeja vastu).
4. Süsteem tuvastab töötaja **A** ja küsib, et töötaja **A** valiks operatsiooni kahest võimalikust: *Get the product* või *Put on hold*. Juhul, kui töötaja **A** kavatseb üle anda temal olevat toodet insenerile **B**, siis ta valib teise operatsiooni.
5. Peale seda süsteem küsib töötajalt **A** seda, mis töötajal peab olema õigus kapi avamiseks.
6. Peale seda süsteem küsib toote seerialnumbrit (seerialnumbrit sisestatakse toote küljes oleva ribakoodi skaneerimisel, et vältida inimfaktoriga seonduvaid vigu). Kõik vajalikud andmed toote kohta võetakse sel juhul andmebaasist.
7. Vastavalt sisestatud andmetele, süsteem valib toote jaoks kapi suuruse.
8. Töötaja **A** paneb toote kappi ja sulgeb ukse.
9. Kui insener **B** tuleb kapi juurde, ta paneb kaardilugeja vastu oma kaardi ning valib *Get the product* operatsiooni.

## **1.2 Turul olevad sarnased lahendused ning lähenemised**

Olemasolevate avatud allikate uurimisel, tuli välja, et antud hetkel ei kasutata samasuguseid lahenduseid, vaid proovitakse lahendada sarnaseid probleeme teiste meetmetega. Teiste lähenemiste hulka kuuluvad: erinevate 5S süsteemi aspektide implementeerimine, spetsiaalsete riulite pühendamine, *RTLS* jne. Teised lahendused omavad pakutava süsteemiga nii teatud sarnasusi, kui ka märkimisväärseid erinevusi.

### **1.2.1 Teiste süsteemide ja pakutava lahenduse sarnasused/erinevused**

Kõigepealt peab mainima, et oma füüsilise, ehk mehhaanilise poole pealt on pakutav süsteem väga sarnane firma *Cleveron* [2] poolt pakutatava pakiautomaatide lahendusega (vt Joonis 1.3). *Cleveron*'i kappidel on samamoodi olemas keskjuhtimiskapp ekraaniga, mille peal jookseb kasutajaliides. *Cleveron*'i poolt

pakutava süsteemiga omab antud töös kirjeldatud süsteem märkimisväärseid erinevusi. Kõigepealt, peaks mainima, et vaatamata füüsilistele sarnasustele, süsteemid omavad koordinaalselt erinevat eesmärki ning ka süsteemide tarkvaralised alam-süsteemid on teistsugused. Teiseks, pakutav süsteem on oma lõppvariandis täiesti modulaarne, mis on kriitiline piiratud ruumiga tootmisalades.



Joonis 1.3 *Cleveron* pakiautomaat (üks versioonidest) [2]



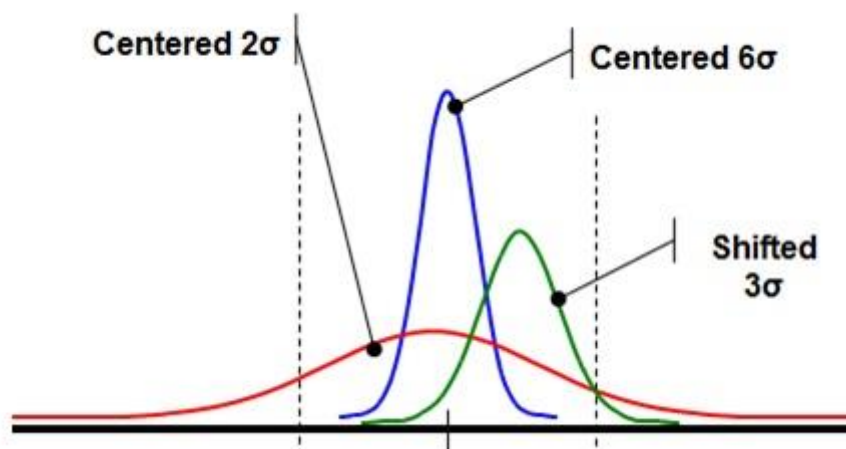
Joonis 1.4 Protsessi riulid [3]

Mingil määral on süsteem ka sarnane pühendatud riulite lähenemisega, nn protsessi riulitega (vt Joonis 1.4). Sellise lähenemise korral sarnaselt pakutava lahendusega toodete lühiajaline hoiustamine on tsentraliseeritud, kuid sel juhul puudub vastav tarkvara, mis võimaldab info analüüsi ning ka reaalaaja süsteemi haldamist, mis toetab süsteemi tööga kaasnevat analüütilisi protsesse, nt inventuuri jms.

## 1.3 Süsteemi poolt lahendatav probleem

### 1.3.1 Tööstuslikes oludes komponentide ja toodete liikumine

Tootmise protsessi käigus läbib toode erinevaid etappe ning ka töökeskuseid, mis tähendab, et toodete ja materjalide voog peab olema rangelt reglementeeritud ning käima konkreetsete reeglite järgi. Protsessis ilmuvad deviatsioonid põhjustavad protsessi ebaoptimaalset kulgemist ning üldine *DPMO* on sel juhul halvem. Antud materjalide ja toodete liikumist võib vaadelda konkreetse protsessina ning kirjeldada seda graafiliselt. Olukorra kitsendamiseks vaatleme ainult stsenaariumi, kus toode peab jõudma tootmisliinilt insenerini vastavate katsete läbiviimiseks. Piisava ajavahemiku analüüsimise korral, saame olukorda kirjeldavaid statistilisi andmeid, kust on näha sellele protsessile nõutud aja muutumise dünaamikat. Protsessi kirjeldamiseks ja ka edaspidiseks optimeerimiseks peame kindlaks määrama ka *LSL* ja *USL*, ehk minimaalne ja maksimaalne lubatud protsessi kulgemise aeg. Sel juhul tekkinud sagedustabeli põhjal on võimalik koostada graafikut, milleks on normaaljaotus (vt Joonis 1.5). X-telje väärtuseks on antud juhul protsessile (toote liikumine) nõutud aeg ning Y-teljel on ajaväärtuse ilmumise sagedus. Sõltuvalt protsessi stabiilsusest, protsessi korrutatavusest ning ka teistest parameetritest protsess saab olla nn 6-sigma protsess, mis tähendab, et ühe miljoni katsete puhul, väljaspool olevate väärtuste arv on 3.4. Meie näite puhul tähendab see, et materjalide/toote liikumine võtab aega rohkem, kui spetsifiatsioonis määratud 3.4 korda miljonist korrast. Matemaatiliselt tähendab 6-sigma protsess seda, et protsessi mood paikneb vähemalt kuus standardhälvet limiitidest. Antud töös kirjeldatud süsteemi statistiline eesmärk on suurendada standardhälvete arvu.



Joonis 1.5 Erinevate sigma-protsesside graafilised esitused [4]



### **1.3.2 Toodete informatsiooni tsentraliseerimine**

Lisaks ülalmainitule, teostab antud töös kirjeldatud süsteem ka toodete kohta andmete tsentraliseerimise funktsiooni. See tähendab, et kogu tootega seotud informatsioon võib olla salvestatud vastavasse andmebaasi, kust vastavalt päringutele liigub see informatsioon huvitatud osapoolte vahel. Antud informatsiooni hulka võivad sõltuvalt konkreetsest tootmisest kuuluda:

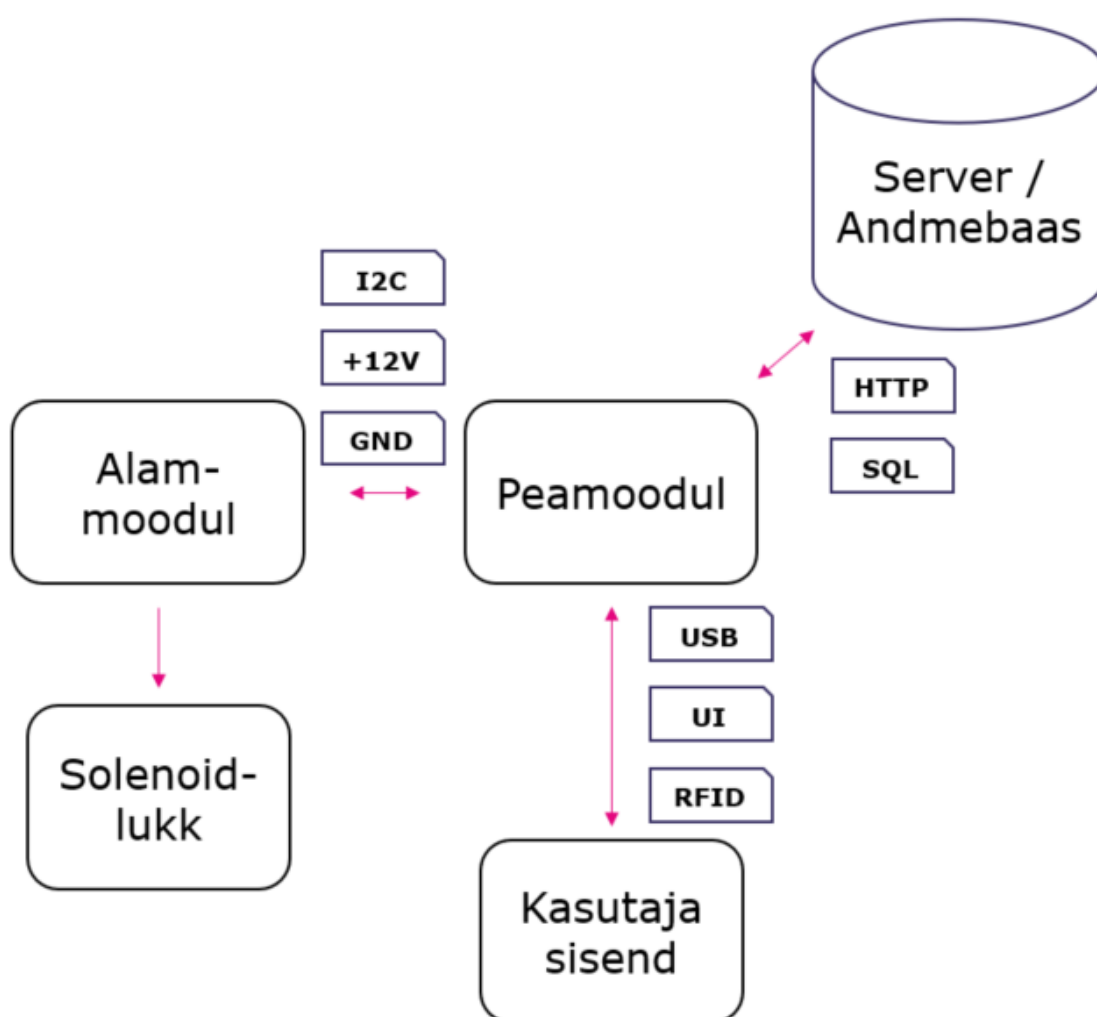
- Toote kood, ehk konkreetse mudeli või versiooniga seotud tehniline kodeering, mis viitab konkreetsele toote tüübile
- Toote revisioon
- Unikaalne seerianumber, mida saab iga toode oma eluetappi alguses ning mille järgi saab päringu alusel kõiki teisi temaga seotud andmeid kätte
- Valmistamise kuupäev
- Hetkeseis (valmistamisel/valmistatud/verifitseeritud/etalonina kasutatav/valmis väljasaatmisele jne)
- Vastavalt eelmisele punktile toote töökeskus (ehk, mis üksus või osakond vastutab selle toote hetkese eluetapi eest)

Nagu oli ka eelnevalt mainitud, lisaks pakutavale füüsilisele süsteemile, on olemas ka suur tarkvaraline keskkond, mille peamiseks eesmärgiks ongi andmete voo reguleerimine, kergendatud materjalide ja toodete liikumise jälgimine, toodete asukohtade määramise lihtsustamine, andmete tsentraliseerimine ning võimalike inimfaktori tõttu ilmuvate vigade vältimine. Antud tarkvaraline infosüsteem peaks oma põhimõtte alusel olema integreeritud olemasolevate andmebaaside või ressurssidega.

## 2 LÕPPSÜSTEEMI PROJEKTEERIMINE

### 2.1 Süsteemi tükkeldamine alamsüsteemideks

Süsteemi nõute määramiseks ja konkreetse eesmärgi püstitamiseks oli otsustatud jagada tervet lõppsüsteemi alamosadeks vastavalt teostatavatele tegevustele, ehk: elektroonika, mehaanika ja sardsüsteemi tarkvara seksioonid. Iga seksioon oli aga omakorda jagatud väikesteks alamseksioonideks täpsema visiooni tekkitamiseks süsteemi projekteerimisel. Samal ajal oli kogu süsteem samuti jagatud funktsionaalsete moodulite järgi (vt Joonis 2.1).



Joonis 2.1 Süsteemi tükkeldamine funktsionaalseteks alamsüsteemideks

### 2.1.1 Elektroonika alamsüsteemid

Elektroonika alamsüsteemide hulgas on perifeeriliste kappide sees olev elektroonika, keskjuhtimisseadme elektroonika ja süsteemi elektritoitemuundur.

Perifeeriliste kappide elektroonika, kontseptsiooni põhiselt, peab olema identne igas kapis, süsteemi modulaarsuse mõttes. Edasi nimetame perifeerias olevat elektroonikat lihtsuse mõttes alam-mooduliks. Alam-moodulil on oma teatud võimalused, ehk funktsioonid ning ka konkreetsed nõuded, millele ta peab vastama. Alam-mooduli peamine ülesanne on olla kappides olevate täiturite juhtimisseadmeks. Samal ajal, kuna iga kapp ei ole tervest süsteemist autonoomne, siis alam-moodul peab saama konkreetseid käsked keskjuhtimisseadmest. See viib momendini, kus kindlaks saab vajadus nende vahelise andmeside protokoli valikus. Andmeside protokolliks oli antud nõuete saavutamiseks valitud *I2C*. Selle protokolliga suurim eelis seisneb väheses juhtmete koguses, mis märkimisväärselt lihtsustab süsteemi mehhaanilist projekteerimist, eriti perifeeriliste kappide vaheliste pistikute projekteerimist. Samal ajal tõstab see süsteemi robustsust ning kokkupanemise lihtsust. Protokolliga põhimõtte alusel peab olema 3 põhilist juhet: *SDA*, *SCL*, *GND*. Teiselt poolt hakkab süsteem antud protokolliga puhul omama ka teatud hulka puudusi, nagu näiteks piiratud kappide arv seoses signaalis ilmuvate ebaühtlaste loogiliste tasemetega. See fakt võib tekitada informatsiooni kadumist ja ka süsteemi ebastabiilset talitlust. Lisaks suhtlemisele keskjuhtimisseadmega, peab alam-moodul ka juhtima kapis olevaid täiturseadmeid ja olema suuteline vajaduse tekkimisel lugema erinevate andurite väljundeid. Vastavalt mainitud nõuetele peab alam-moodulis lisaks mikrokontrolleri funktsionaalsusele olema ka transistorlülitusskeem, mis antud juhul hakkab juhtima kappi solenoid-lukku, ning kergesti kättesaadavad digitaalsed ning analoogsed (*ADC* sisendiga) *GPIO* pesad, mis on ühendatud vastavate mikrokontrolleri klemmidega ning võimaldavad lisafunktsionaalsuse loomist tuleviku perspektiivis. Lisaks on vajalik ka laiendatud ühendus maaga.

Keskjuhtimissüsteemi elektroonikat hakkame edaspidi nimetama peamooduliks. Peamooduli peamiseks ülesandeks on kogu eraldi võetud süsteemi andmete haldamine, käskude saatmine, serveriga andmevahetuse teostamine ja kasutajaliidese kuvamine. Antud funktsionaalsed nõuded viidavad sellele, et peamooduli rollis peab olema arvuti avatud *GPIO* portidega ning *I2C* liidese võimalusega, mille sees oleks juba sisseehitatud võrgumoodul ning mille protsessor võimaldaks täisväärtusliku *OS*'i käivitamist.

Elektritoitesüsteem peab võimaldama stabiilset 12 volti pinget ning muunduri võimsust peaks piisama selleks, et toita peamooduli arvutit (e 5V ja 15W) ning toita igas alam-

mooduli kappis olevaid solenoid-lukke (12-voldine impulss ühesekundilise kestvusega) ning ka tagada alam-mooduli enda 5-voldist toidet.

### 2.1.2 Mehhaanilised alamsüsteemid

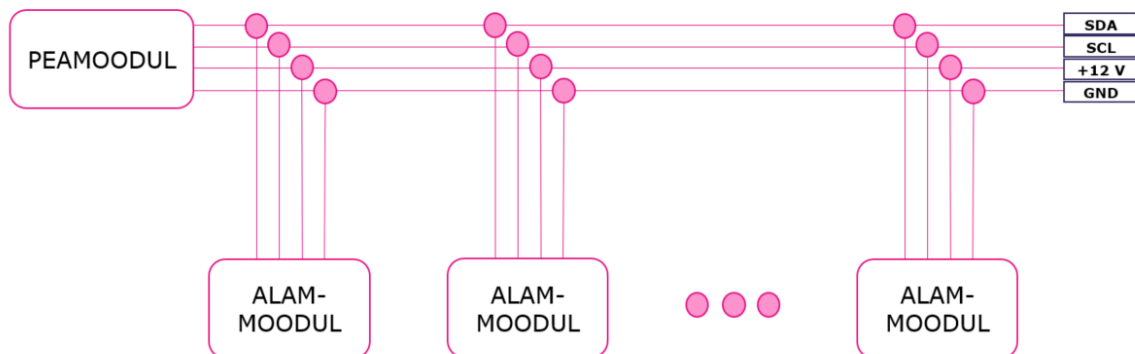
Mehhaaniliste alamsüsteemide hulka kuuluvad: alam-mooduli kapp, keskjuhitismiseadme kapp ning modulaarsed konnektorid.

Alam/mooduli kapp koosneb kahest elemendist: kapp ise ja uks. Kapi nõuete määramisel peab arvesse võtma teatud hulk nüansse. Esiteks, kapis peavad olema realiseeritud koht solenoid-lukku paigaldamiseks, koht trükkplaadi monteerimiseks ja ka mehhaaniliste elementide kinnituskohad. Alam-mooduli kapi suuruseks oli määratud 300x300 mm. Alam-mooduli uks omab ka nõudeid, mida peab lõppversioonis saavutama, näiteks, mehhaaniliste elementide kinnituskohad.

Keskjuhtimiskapi projekteerimisel peab arvestama sellega, et tootmise jooksul mõlemad kappide tüübid, nii keskjuhitiskapp, kui ka alam-moduli kapp peavad omama samasugust alusplokket. See omakorda vähendab tootmiskulu. Ehk kappide mõõtmed, süsteemi modulaarsuse mõttes, peavad samamoodi olema identsed.

Modulaarsete ühenduste peamine eesmärk on ühendada kappe omavahel (vt Joonis 2.). Pistiku/pesa koosseisus peavad olema järgmised kontaktid:

- I2C SDA
- I2C SCL
- +12 V
- GND



Joonis 2.2 Alam-moodulite ühendamine ühiste siinidega

## 2.1.3 Tarkvaralised alamsüsteemid

### 2.1.3.1 Keskjuhtimisseadme tarkvara

Süsteemile esitatud nõuete saavutamiseks oli valitud *Windows*'i põhine sardsüsteemi operatsiooni süsteem – *Windows 10 IoT Core*. Antud operatsiooni süsteem võimaldab kerget ning kiiret tarkvara arendust *Windows*'i universaalse platvormi baasil (*UWP – Universal Windows Platform*). Lisaks sellele antud platvorm võimaldab kasutajaliidese loomist olemasoleva raamistiku abil. Raamistiku põhiselt toimub kasutajaliidese loomine *XAML* keeles ning kogu süsteemi loogika on kirjutatav *C#*'is.

### 2.1.3.2 Perifeeriliste kappide tarkvara

Perifeeriliste alamsüsteemide tarkvara peamine eesmärk on juhtida kappides olevaid täitureid, milleks on antud juhul on solenoid-lukk. Lisaks peab ta töötleva käske, mis on saadud peamoodulist. Perifeeriliste kappide tarkvara oli kirjutataud *C* keeles, mis on antud juhul optimaalne lahendus valitud mikroprotsessori puhul.

## 2.2 Elektroonika projekteerimine

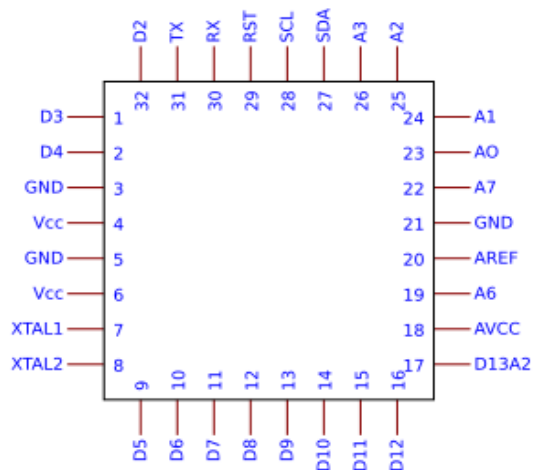
### 2.2.1 Komponentide valik

Antud kontekstis komponentide hulka kuuluvad alam-mooduli (trükkplaadi *SMD* komponendid koos aktuaatoritega) ja ka peamooduli (keskarvuti koos teiste abivahenditega) komponendid.

Alustades alam-moodulist, peaks kõigepealt mainima selle tähtsaimat komponenti – trükkplaadil paiknevat mikroprotsesorit. Antud juhul valituna osutus 8-bittine *AVR* mikroprotsessor firmast *Microchip* (vt Joonis 2.1 ja 2.2). Protsessori mudel on *Atmega328P* korpuses *AU*.

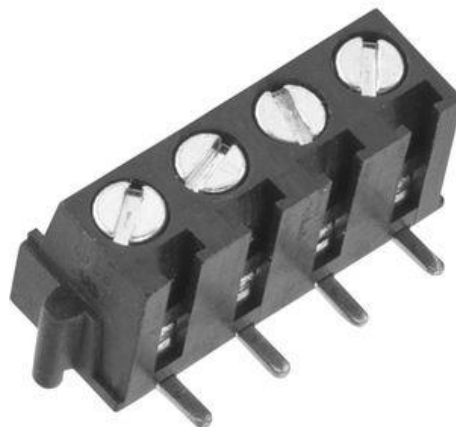


Joonis 2.3 Protsessor *ATmega328P-AU* [5]



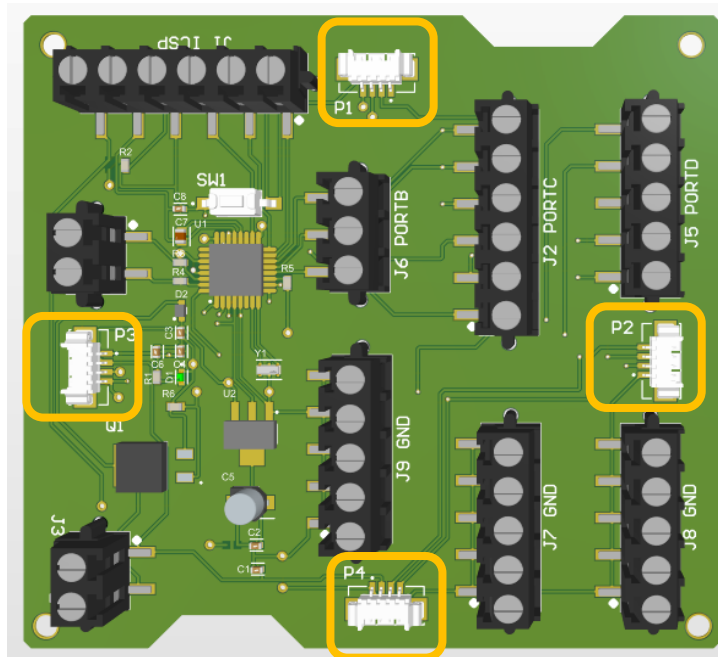
Joonis 2.4 Mikroskeemi *ATmega328P-AU* jalgade skeem [6]

Antud protsessoril on nii puudused, kui ka eelised. Esiteks, oma arhitektuuri lihtuse pärast ei võimalda antud protsessor ressursi nõudvaid ja mahukaid arvutuslikke protsesse, samal ajal seesama lihtsus tagab protsessori kättesaadavust ning komponenti odavust. Eelnevates peatükkides oli mainitud, et antud *MCU* peamiseks ülesanneteks on *I2C* siini *master*'ist käskude töötlemine, aktuaatorite juhtimine ja perspektiivis sensorite ja andurite lugemine. Antud protsessor lihtsasti võimaldab neid funktsioone, ehk osutub optimaalse lahendusena antud nõuete saavutamiseks, kui ka projekti finantsressursside säästmiseks.



Joonis 2.5 *Würth Elektronik* kruviklemm [7]

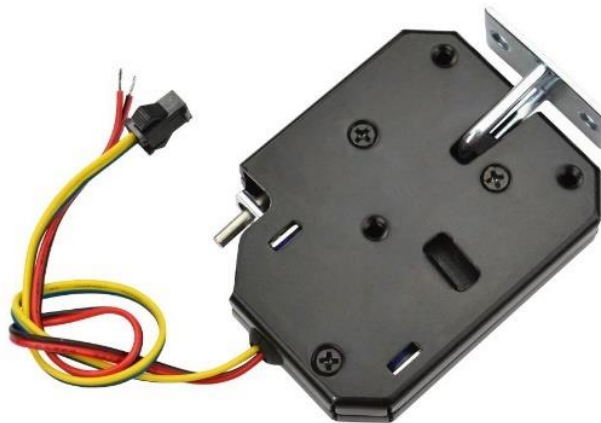
Järgmiseks tähtsaks valikuks olid klemmid, mida kavatakse kasutama sensorite, andurite ja aktuaatorite ühendamiseks. Antud juhul valiti *SMD* tüüpi kruviklemmid (vt Joonis 2.3), mis võimaldavad kiiret diagnostikat süsteemi esimeste iteratsioonide puhul ning mida saab tuleviku versioonides vahetada vedruklemmide vastu parema töökindluse mõttes. Antud süsteemi versioonis oli kasutusele võetud kruviklemmid firmast *Würth Elektronik* [7].



Joonis 2.6 *Molex* ühendused perifeeriliste kappide omavaheliseks ühendamiseks (oranži värvi)

Lisaks ülalmainitule pidi valima ühenduste tüübid, mis võimaldaksid perifeeriliste kappide omavahelist ühendust (vt Joonis 2.4). Valituna osutus ühenduse tüüp samast firmast *Molex*. Antud tüüpi ühendustel on kuus klemmi, millest neli on signaali või toite edastamiseks ning kaks on ühenduse fikseerimiseks trükkplaadi peal.

Antud süsteemi konfiguratsioonis alam-mooduli aktuaatori rollis on solenoid-lukk, mida ühendatakse läbi trükkplaadi peal oleva *Molex* kruviklemmi. Peamine aktuaatori aspekt seisneb selles, et see peab olema juhitud olemasoleva mikrokontroleriga, mille loogiline tase on +5V. Valiti solenoid-lukk firmast *DF-Robot* (vt Joonis 2.5)



Joonis 2.7 *DF-Robot* solenoid-lukk [8]

### 2.2.2 Peamooduli süsteemi projekteerimine

Peamooduli alamsüsteem peab olema võimalikult lihtne ja robustne kogu süsteemi hooldatavuse ja kokkupanemise lihtsuse mõttes.

Peamooduli peamise ülesande – süsteemi haldamise täitjaks oli valitud *SBC Raspberry Pi 3* (vt Joonis 2.6). Antud *SBC* võimaldab *Windows 10 IoT Core* operatsiooni süsteemi käivitamist, mis on omakorda kasulik *UWP* rakenduste porteerimiseks *SBC* platvormi peale. Valitud *SBC* nõuab 12.5W elektritoidet 5-voldise pingetasemega.

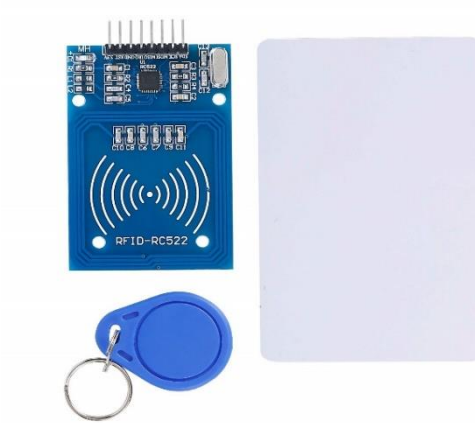


Joonis 2.8 *Raspberry Pi 3* [9]

*Raspberry Pi 3* on varustatud nelja *USB* pordiga, *RJ-45* võrgupesaga, 40 avatud *GPIO* klemmiga, kahe kaamera pistikuga (eraldi ostetav *Raspberry* seade), *HDMI* ja *Micro-USB* portidega.



Lisaks peamooduli paarvutile, peamooduli koosseisu peab lisama *RFID* mooduli kaartide skaneerimiseks (vt Joonis 2.7). See on vajalik baasilise funktsionaalsuse tagamiseks. Antud valmis moodul kasutab teatud hulka *SBC* avatud klemmidega. Nende hulgas on: *SDA/RX/SS*, *SCK*, *MOSI*, *SCL/TX/MISO*, *IRQ*, *GND*, *RST*, *VCC*.



Joonis 2.9 *RFID* moodul [10]

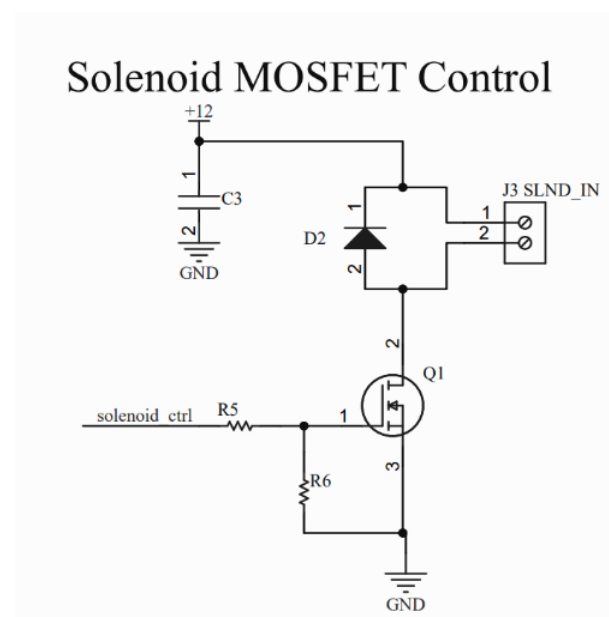
Peamooduli veel üks vajalik seade on kuvar (vt Joonis 2.8) [11], mis antud kontekstis võimaldab *HMI*'t, ehk annab inimisele võimalust süsteemi juhtida, andes talle vajalikke sisendeid. Valituna osustus kuvar firmast *HMTECH*, mille resolutsioon on 1024x600 pikslit ning ekraani diagonaal on 10.1 tolli. Ühendus toimub läbi *USB* ja *HDMI* portide. Esimine neist on vajalik puutetundlikuse funktsiooni võimaldamiseks, teine aga pildi edastamiseks.



Joonis 2.10 Puutetundlik kuvar [11]

### 2.2.3 Alam-mooduli trükkplaadi projekteerimine

Alam-mooduli osas projekteerimise eesmärgiks oli luua sellele elektrooniline sisu, milleks on antud juhul trükkplaat, mille peal on mikrokontroller, mis töötleb keskjuhimisseadmest saadud käsked ning saadab edasi käsked täituritele. Antud juhul täituri rollis on ukse sulgemiseks kasutatav solenoid-lukk. Oli otsustatud implementeerida solenoid-lukku transistorskeemi (vt Joonis 2.9) ülalmainitud trükkplaadile otse peale.

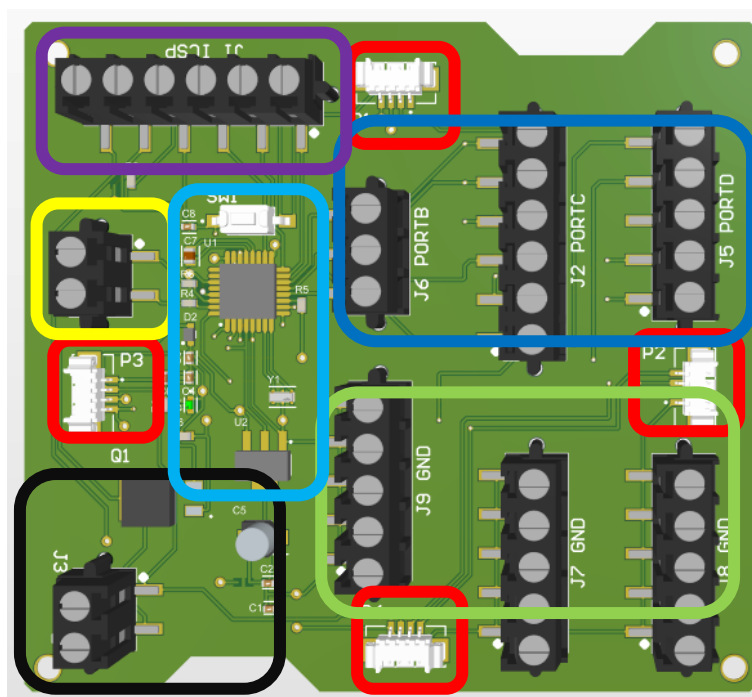


Joonis 2.11 Transistorlülituskeem

Antud peatükis kirjeldatav trükkplaat oli jagatud funktsionaalseteks tsoonideks (vt Joonis 2.10):

- Lilla tsoon – *ICSP* ühendus, mis võimaldab *AVR* mikroprotsessori programmeerimist
- Punane tsoon – *Molex* ühendid, mis tagavad süsteemi modulaarsust, ühendades alam-moduleid ühisele *I2C* siinile ja ka edastades vajalikku elektritoidet
- Helesinine – Protsessori ja protsessori liidestamise tsoon, kuhu kuuluvad protsessor ise, kvartsgeneraator (mis väljastab protsessorile vajalikku signaali sagedusega 16 MHz), 5 V pingeregulaator ja teised stabiliseerivad kondensaatorid.

- Tumesinine – Vabad digitaalsed ja analoogsed sisendpordid, mis on vajalikud süsteemi funktsionaalsuse laiendamiseks tuleviku perspektiivis. Võimaldavad andurite, sensorite või teiste alamsüsteemide ühendamist.
- Kollane – *UART* siin, mis võimaldab vajaduse tekkimisel andmete edastust.
- Roheline – Laiendatud maaga ühendus, mis täidab sarnast eesmärki nagu elemendid tumesinises tsoonis.
- Must – Transistorlülituskeem, mis juhib kappis olevat solenoid-lukku.



Joonis 2.12 Trükkplaadi funktsionaalsed tsoonid

Antud trükkplaat oli loodud olemasoleva printsiipiaalse elektriskeemi baasil (vt. Lisa 1).

Antud töös trükkplaadi arenduseks oli valitud tarkvaraline programm nimega *Altium*. Antud tarkvara võimaldab professionaalsel tasemel *PCB*'de disaini, andes liigipääsu kasulikele tööriistadele, mis kiirendavad arendusprotsessi ja vähendavad vigade ilmumise tõenäosust.

Komponentide paigutamine põhines ideele jagada kogu trükkplaat funktsionaalseteks tsoonideks (vt Joonis 2.10) selleks, et tuleviku süsteemi iteratsioonides oleks võimalik kasutada konkreetseid tsoone nn valmislahendustena. See tähendab seda, et kui järgmistes süsteemi revisioonides on vajalik mingi funktsioon, mis oli juba enim

implementeeritud, seda saab valmisplokkina kasutada. See kiirendab arendust ning märkimisväärselt panustab kahele projektijuhtimiskolmnurga (mis oli mainitud alampeatükis 1.1.1) segmendile: *Time to Market* ja *Project Cost*.

## 2.3 Mehaanika projekteerimine

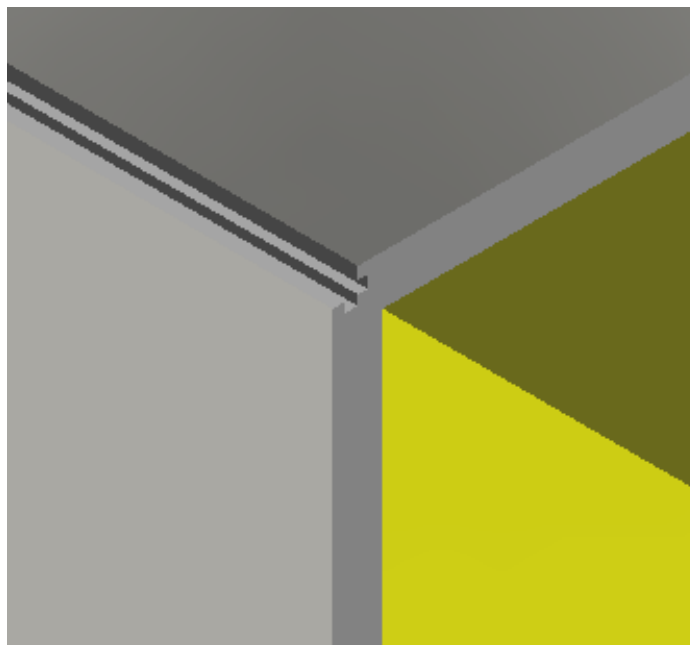
### 2.3.1 Füüsilise korpuse projekteerimine

#### 2.3.1.1 Alam-mooduli kapi projekteerimine

Alam-mooduli kapi projekteerimisel kasutati tarkvaralist programmi *Autodesk Inventor*. Projekti tüübiks valiti *solid body*, ehk eeldatakse, et toodet ei ole plaanis toota lehtmetailist vaid tahkest materjalist. Perifeerilise kappide mõõtmisteks on, nagu oli ka eelenvalt mainitud, 300x300x330 mm. See suurus ning mahtuvus tunduvad olevat optimaalseimad elektroonika tööstuse kontekstis, ehk kui süsteemi hakkatakse kasutama suurtes elektroonikaga seotud tootmiskeskustes.

Alam-mooduli kappi projekteerimisel olid enamasti rõhutatud järgmised aspektid:

1. Kappide omavaheline kinnitussüsteem (vt Joonis 2.11, Joonis 2.12, Joonis 2.13 ja Joonis 2.14)

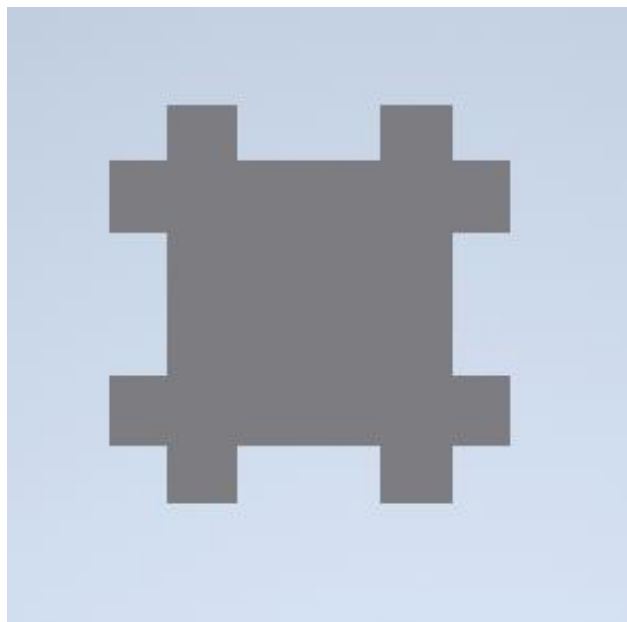


Joonis 2.13 Kinnituskoht, otsevaade

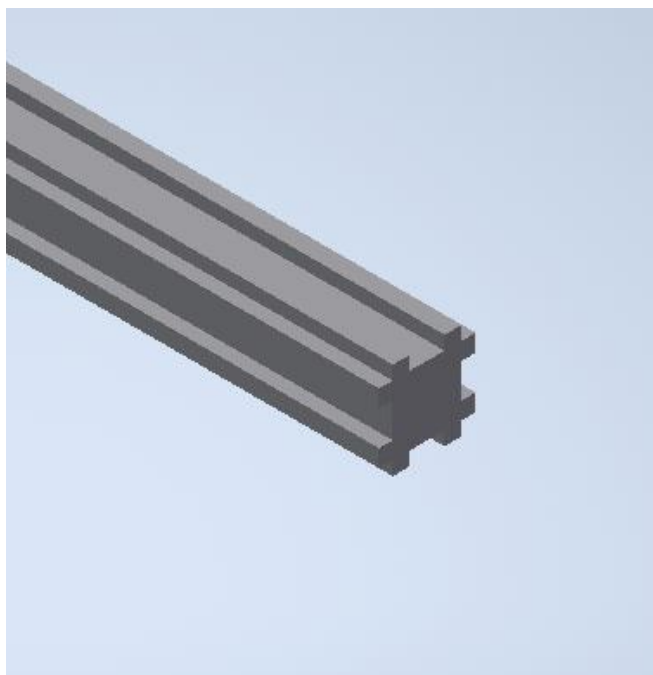


Joonis 2.14 Kinnituskoht, külgvaade

Antud süsteemi peamine eesmärk on hoida kogu kappide kogumit mehhaanilises mõttes stabiilsena. Samal ajal peab see kinnitussüsteem tagama kerge ning kiire lahtivõtmise ja kokkupanekut.

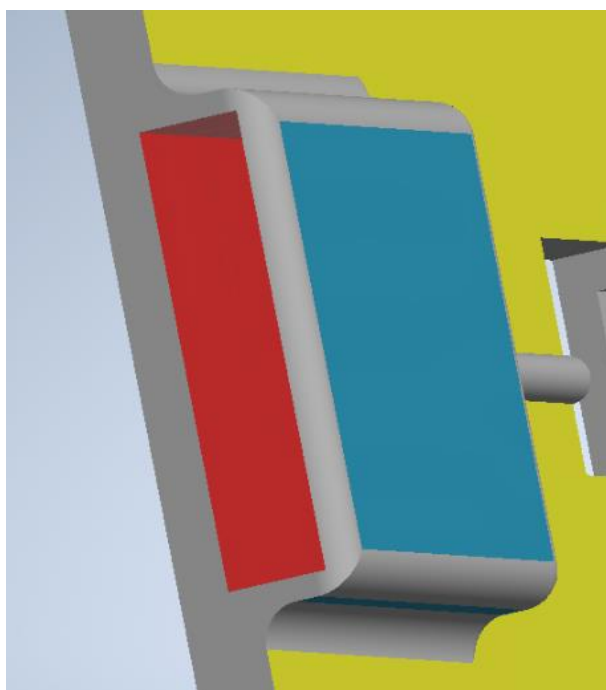


Joonis 2.15 Kinnitus, otsevaade

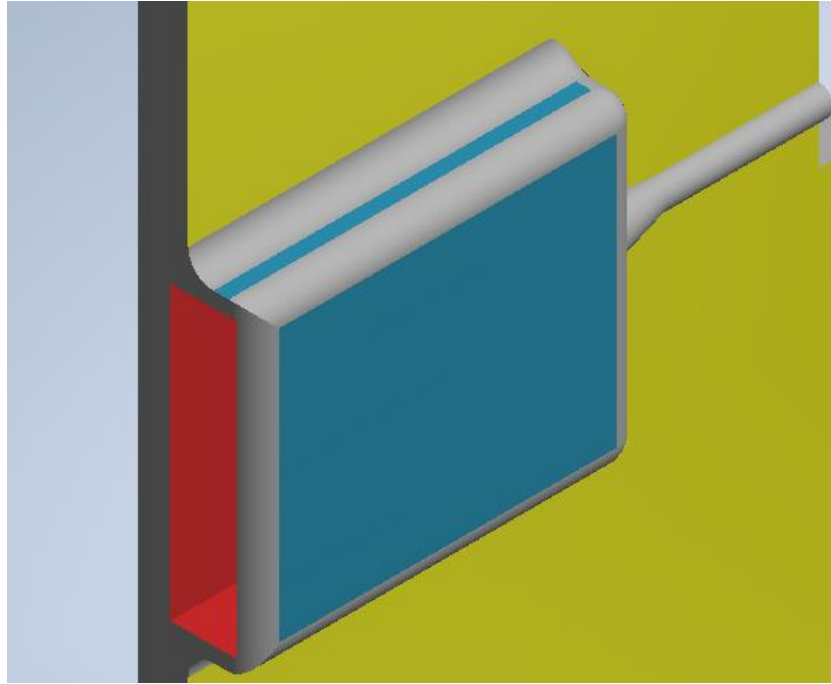


Joonis 2.16 Kinnitus, külgvaade

2. Solenoid-lukku paigaldamiskoht (vt Joonis 2.15 ja Joonis 2.16)



Joonis 2.17 Solenoid-lukku nišš, esimene vaade



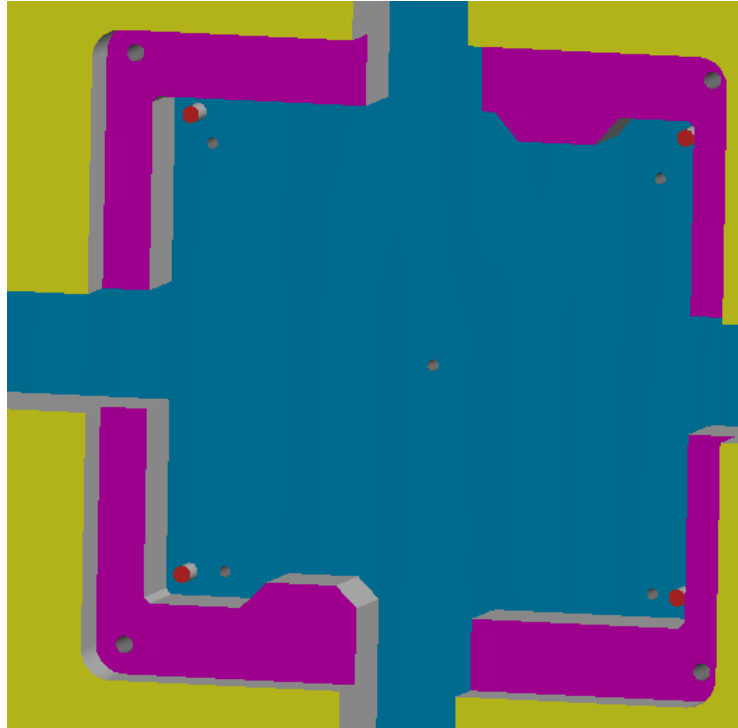
Joonis 2.18 Solenoid-lukku nišš, teine vaade

Solenoid-lukku paigaldamiseks loodud nišš tagab kerget lukku installeerimist ning ka vajadusel lahtivõtmist. Lukku juhtmestus viiakse läbi tagapool oleva toru ning lukku ise fikseeritakse kruvidega.

### 3. Trükkplaadi paigaldamise nišš (vt Joonis 2.17)

Alam-moodulis oleva trükkplaadi fikseerimiseks oli loodud nn trükkplaadi paigaldamise nišš. Antud nišši koosseisus on:

- Neli posti trükkplaadi positsioneerimiseks, mille abil tagatakse trükkplaadi õige paigaldamine ning inimviga tõenäosus on minimeeritud.
- Viis kinnitusauku, trükkplaadi kinnitamiseks M2 poltidega, mis tagavad trükkplaadi lõplikku fikseerimist.
- Neli kinnitusauku trükkplaadi katmiseks katmiskaanega. Kaas tagab trükkplaadi elektrilist isoleerimist ning kaitseb teda tolmust ja niiskusest.
- Neli 90-kraadise nurga all paigaldatud juhtmete kanaalid, mis aitavad luua ühendusi kappi küljede peal olevate konnektoritega. See omakorda võimaldab süsteemi modulaarsust.



Joonis 2.19 Trükkplaadi paigaldamise nišš

### **2.3.1.2 Peamooduli kapi projekteerimine**

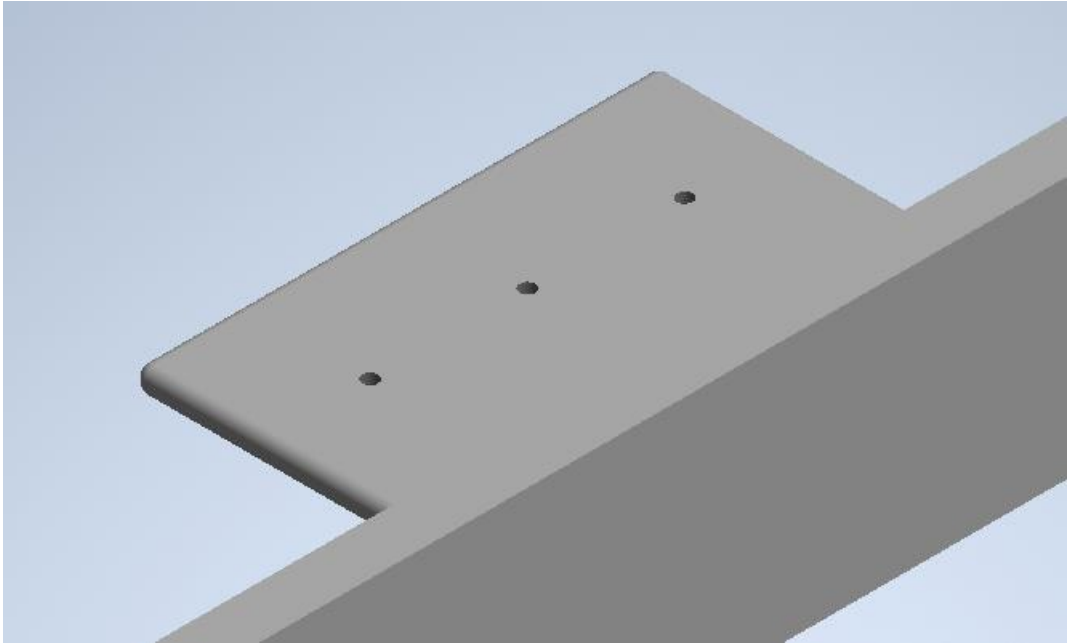
Nagu oli ka eelnevates peatükkides mainitud, peamooduli kapp peab olema tehtav samadest osadest nagu ka alam-mooduli kapp, mis lõppkokkuvõttes teeks peamooduli kappi tootmist odavamaks ning ka lihtsamaks. Peamooduli kapi projekteerimise eesmärgiks oli, kõigepealt, projekteerida neid lisaosi, mida oleks võimalik installeerida alam-mooduli kappi nii, et ta muutuks peamooduli kapiks.

Peamooduli kapi lisaosa kujutab endast raami, mida saab installeerida olemasolevasse alam-mooduli kappi ning kasutada peamooduli kapi rollis.

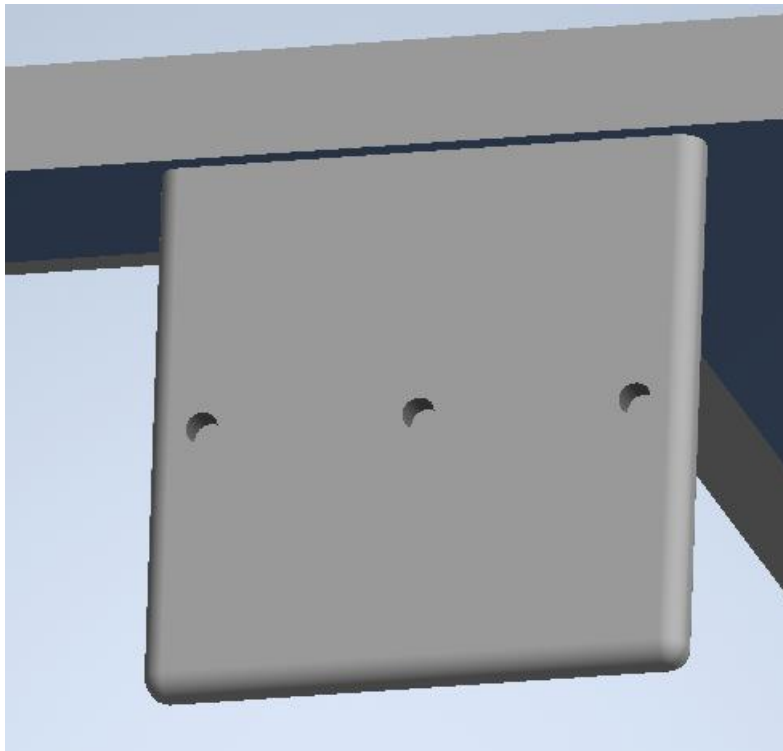
Selle nn raami projekteerimisel (vt Lisa 3) võeti arvesse järgmised aspektid:

1. Raami fikseerimiseks olid loodud nn kinnitusplatsid (vt Joonis 2.18 ja Joonis 2.19). Kinnitusplatse on kokku kuus, ning iga platsi peal on kolm auku poltidega kinnitamiseks.



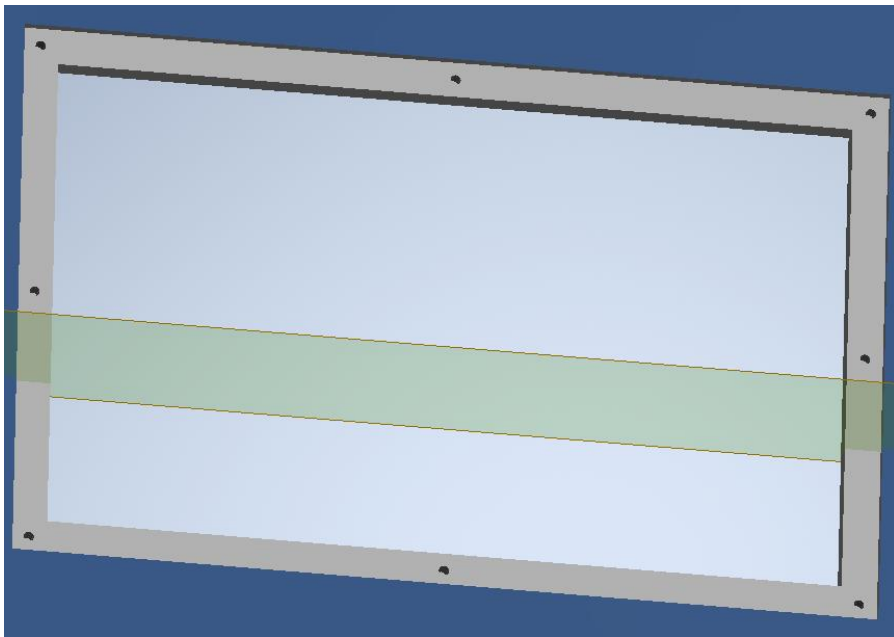


Joonis 2.20 Kinnitusplats (pikk)



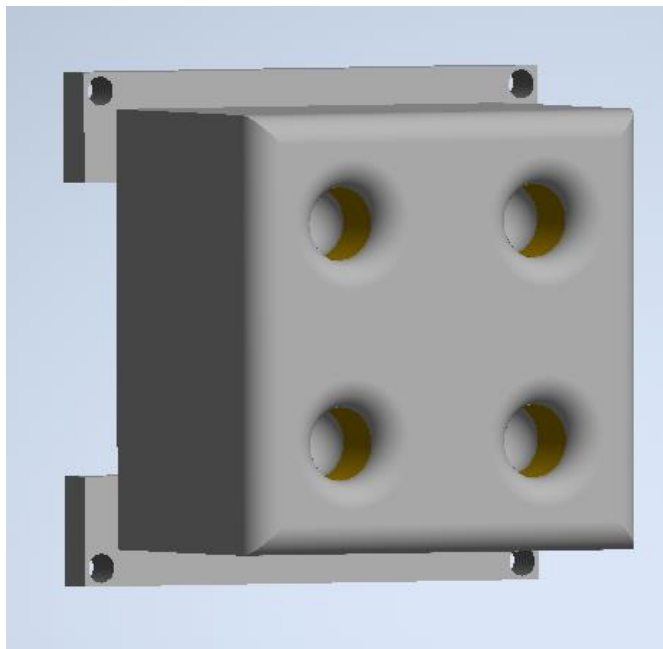
Joonis 2.21 Kinnitusplats (lühike)

2. Kuvari kinnitamiseks oli ka loodud vastav koht kinnittusaukudega (vt Joonis 2.20).

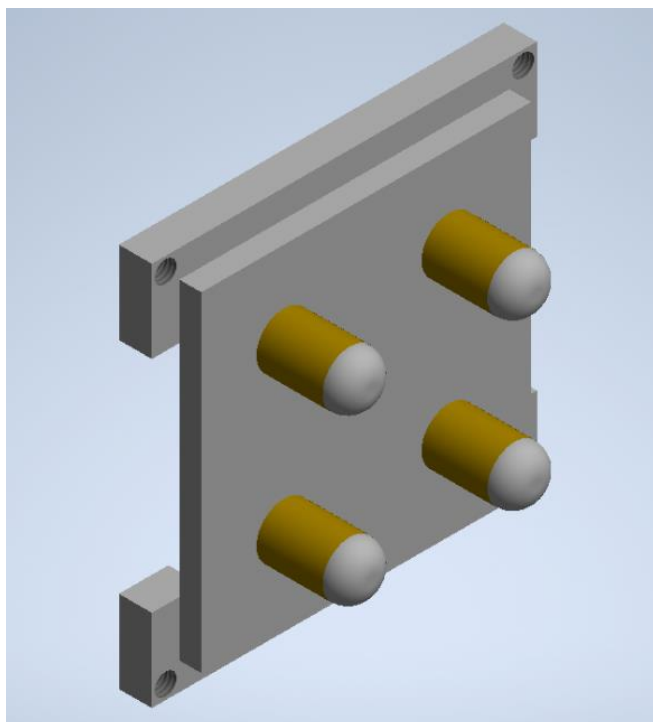


Joonis 2.22 Kuvari kinnituskoht

3. Lisaks kappidele projekteeriti ka modulaarsust tagavad ühendused (vt Joonis 2.21 ja Joonis 2.22), mida kasutatakse nii perifeeriliste alam-moodulites, kui ka peamooduli kappides.



Joonis 2.23 Pesa



Joonis 2.24 Pistik

## 2.4 Sardüsteemi tarkvara arendus

### 2.4.1 Kasutatavad programmeerimiskeeled ja lähenemisviisid

Erinevate alamsüsteemide tarkvara arenduseks olid kasutusele võetud ka erinevad programmeerimise mõttes lähenemisviisid. Antud süsteemi loomisel tarkvara arendus oli jagatud kolmeks põhiliseks alamseksiooniks: keskkontrolleri tarkvara arendus, perifeerial oleva juhtimiselektronika tarkvara arendus ja serveri tominigud.

Keskjuhtimiseadme peamine tööülesanne, nagu oli ka eelnevalt mainitud, seisneb alam-moodulite juhtimises ja pilves oleva serveriga andmevahetuses. Nii esimene kui ka teine funktsioon oli realiseeritud C# keele abil. Antud juhul süsteemi katsetamiseks serveriga andmevahetus oli implementeeritud *SQLite* tehnoloogia abil, mis võimaldas luua lookalset andmebaasi ning saada ja saata andmeid arvutist serverisse ja tagasi.

Seoses sellega, et elektroonika projekteerimise etapis alam-mooduli mikroprotsessoriks oli valitud 8-bitine *AVR ATMEGA328P-AU*, programmeerimine oli teostatud C keele abil. C keeles oli implementeeritud *I2C* andmeside ning signaalid aktuaatori juhtimiseks.

### 2.4.2 Kasutajaliidese loomine

Kasutaja liidese loomiseks oli kasutusele võetud *Microsoft*'i poolt pakutav tööriistade kogum.

*UWP* rakenduste platvorm pakub mitmeid võimalusi kasutajaliidese loomiseks. Antud platvorm toetab *UI* loomist nii kasutades *XAML UI* koos *C#*, *VB* või *C++*'ga, või *DirectX* koos *C++*'ga, või *JavaScript* koos *HTML*'ga, või *WinUI* raamistikku. [2]

Antud juhul valituna osutus *XAML UI* koos *C#* programmeerimiskeelega.

*UI* loomiseks oli eelnevalt loodud *UI* loogika voodiagramm (vt Lisa 2). Voodiagrammi baasil oli loodud kokku 5 akent, mis on omakorda jaotatud kaheks iseseisvaks vooks. Voogude jaotamine toimub päris alguses siis, kui inimene aktiveerib ekraani ning valib kahest operatsioonist (*Get the product* või *Put on hold*) ühte.

# 3 LÕPPSÜSTEEMI FÜÜSILISE PROTOTÜÜBI LOOMINE

## 3.1 Sardüsteemi elektroonika ühendamine

Prototüüpimise jooksul peab looma füüsilisi ühendusi perifeerilise kapi ning keskkapi vahel. Siine on kokku neli. Nende hulgas on:

- *I2C SDA*
- *I2C SCL*
- +12V
- *GND*

Füüsiliselt on need ühendused alam-mooduli ja peamooduli *Raspberry Pi* vahel.

Lisaks kõigile, kaheteistvoldise toitepinge saavutamiseks peame kasutama välistoiteplokki.

## 3.2 Korpuse prototüübi loomine

Korpuse prototüübi loomine oli loogiliselt jagatud kaheks etapiks: perifeerilise kapi prototüübi loomine ning keskkapi prototüübi loomine. Mõlema kapi loomiseks oli materjalina kasutatud pleksiklaas, ehk polümetiil metakrülaat (*PMMA*). Antud materjal võimaldab kergest töötlemist, ehk annab võimalust kiiremaks protüüpimiseks.

Prototüüpimise jooksul määrati nõuete loetelu, millele valmis prototüüp peab vastama. Nende hulgas on järgmised punktid:

- Prototüüp peab omama kas samu mõõtmeid nagu projekteeritud toode või prototüübi mõõtmed võivad olla skaleeritud (1:2, 1:4 vms)
- Prototüübi koosseisus peab olema realiseeritud nišš solenoid-lukku paigaldamiseks või alternatiivsel viisil paigaldatud solenoid-lukk
- Projekteeritud ühendus ei pea valmistama. Ühendused teostatakse juhtmete abil.

- Valmistatud trükkplaat kinnitatakse poltide abil, mitte aga tehakse selle jaoks eraldi nišš või trükkplaadi asemel kasutatakse makettplaat.
- Lõigatud lehed pannakse kokku metallnurdade abil
- Keskkapi puutetundlikku ekraani võib asendada kõrvalseisva tavalise ekraaniga, mis oleks *HDMI* abil ühendatud süsteemiga.

Mõlema kapi ehitamiseks oli vajalik lõigata 4 lehte mõõtmetega 300x330 (või vastavalt skaleeritud) mm ning 1 leht mõõtmetega 300x300 (või vastavalt skaleeritud) mm.

Lisaks sellele, perifeerilise kapi jaoks oli vaja luua uks, mille mõõtmed vastaksid projekteeritud tootele või oleksid suhteliselt projekteeritud toodele skaleeritud.

## 4 LÕPPSÜSTEEMI MAJANDUSLIK OSA

### 4.1 Valmis seadme omahinna moodustamine

#### 4.1.1 Kasutatavate komponentide hinnad

Antud punktis vaadeldakse kulusid, mis on seotud komponentide soetamisega. Lõppkokkuvõttes võime jagada kõiki komponente gruppideks nende funktsionaalsuse baasil. Antud süsteemis vaatleme alam-mooduli, peamooduli ja ka üldiseid komponente.

Rääkides alam-mooduli komponentidest, võime neid loogiliselt jagada elektroonilisteks ja mehhaanilisteks. Elektrooniliste komponentide hulka kuuluvad alam-mooduli trükkplaadi peal olevad komponendid koos olemasolevate konnektoritega ja ka juhtmetega. Alam-mooduli elektrooniliste komponentide täielik loetelu on esitatud tabelina (vt Tabel 4.1):

Tabel 4.1 Alam-mooduli elektrooniliste komponentide täielik loetelu [14]

<b>Nimetus</b>	<b>Funktsioon</b>	<b>€/tk</b>	<b>Kogus</b>	<b>Hind kokku, €</b>
CAP CER 1UF 16V X7R 0603	Kondensaator	0.32	6	1.92
Capacitor Polarised, Cap Aluminum Lytic 4.7uF 16V 20% (4 X 5.4mm) SMD 12mA 1000h 85°C T/R	Kondensaator	0.235	1	0.235
General Purpose Ceramic Capacitor, 0805, 100nF, 10%, X7R, 0.15, 50V	Kondensaator	0.714	1	0.714
LED YELLOW 0603 SMD	Valgusdiod	0.338	1	0.338
Switching Diode, 2- Pin SOD-323, Pb- Free, Tape and Reel	Diod	0.132	2	0.264
MOSFET (N- Channel), IRFR010, SiHFR010, Vishay Siliconix	Transistor	2.72	1	2.72

<b>Nimetus</b>	<b>Funktsioon</b>	<b>€/tk</b>	<b>Kogus</b>	<b>Hind kokku, €</b>
PANASONIC ERJ-3EKF1001V, Thick Film Resistors - SMD 0603 1Kohms 1% AEC-Q200, 0.1 W	Takisti	0.094	4	0.376
ERA3AEB221V, 220 Ohm, 0.1 W, 0603	Takisti	0.329	1	0.329
ERA3AEB104V, 100 kOhm, 0.1 W, 0603	Takisti	0.329	1	0.329
FSMSM Push Button Switch, 50 mA, -35 to 85 degC, 2-Pin SMD, RoHS, Tape and Reel	Nupp	0.29	1	0.29
8-bit AVR Microcontroller, 32KB Flash, 1KB EEPROM, 2KB SRAM, 32-pin TQFP, Industrial Grade (-40°C to 85°C)	Protsessor	2.65	1	2.65
800mA Low-Dropout Linear Regulator, 4-pin SOT-223, Pb-Free	Pingeregulaator	1.59	1	1.59
CERAMIC RES 16.0000MHZ 15PF SMD	Kvartsgeneraator	5.00	1	5.00
<b>Kasutatavad ühendused</b>				
Serie 7097 - 5.00 mm Horizontal Entry SMT with Pressure Clamp WR-TBL, 6 pin	Kruviklemm	6.36	2	12.72



<b>Nimetus</b>	<b>Funktsioon</b>	<b>€/tk</b>	<b>Kogus</b>	<b>Hind kokku, €</b>
Serie 7097 - 5.00 mm Horizontal Entry SMT with Pressure Clamp WR-TBL, 2 pin	Kruviklemm	2.74	2	5.48
Serie 7097 - 5.00 mm Horizontal Entry SMT with Pressure Clamp WR-TBL, 5 pin	Kruviklemm	5.82	4	23.28
Male Header, Pitch 1.25 mm, 1 x 4 Position, Height 3.4 mm, -40 to 85 degC, RoHS, Tape and Reel	Ühendus	0.42	4	1.68
Serie 7097 - 5.00 mm Horizontal Entry SMT with Pressure Clamp WR-TBL, 3 pin	Kruviklemm	3.56	1	3.56

Alam-mooduli mehhaanilised komponendid on analoogselt elektrooniliste komponentidega esitatud tabelina (vt Tabel 4.2):

Tabel 4.1 Alam-mooduli mehhaanilised komponendid

<b>Nimetus</b>	<b>Funktsioon</b>	<b>€/tk</b>	<b>Kogus</b>	<b>Hind kokku</b>
Pleksiklaas	Korpus ja uks	6.90 [15]	6 (1 alam-moodul)	41.4
Uksehing	Ukse fikseerimine	2.35 [16]	2	4.7

Peamooduli komponente võime samuti jagada mehhaanilisteks ja elektroonilisteks komponentideks. Elektrooniliste komponentide hulka kuuluvad *Windows*'i põhine *SBC*, puutetundlik kuvar, juhtmed jne . Peamooduli elektroonilised komponendid on esitatud allpool oleva tabelina (vt Tabel 4.3):

Tabel 4.2 Peamooduli elektrooniliste komponentide täielik loetelu [14]

<b>Nimetus</b>	<b>Funktsioon</b>	<b>€/tk</b>	<b>Kogus</b>	<b>Hind kokku</b>
<i>Raspberry Pi 3B, 4GB RAM</i>	Põhiline süsteemi arvuti	129.99	1	129.99
HMTECH 10.1 inch Touch Screen display	Kuvar	99.99	1	99.99

Alam-mooduli mehhaanilised komponendid on analoogselt elektrooniliste komponentidega esitatud tabelina (vt Tabel 4.4):

Tabel 4.3 Peamooduli mehhaaniliste komponentide täielik loetelu [15]

<b>Nimetus</b>	<b>Funktsioon</b>	<b>€/tk</b>	<b>Kogus</b>	<b>Hind kokku</b>
Pleksiklaas	Korpus	6.90 [15]	7	48.3

#### **4.1.2 Tootmis- ja tarnekulu**

Suurim osa tootmis- ja tarnekuludest moodustub alam-mooduli trükkplaadi tootmist ja tarnest, ehk trükkplaadi valmistamine, *PCBA* ja transport Eesti. Seoses teenuse mugavusega ning ka parema hinnapakkumisega oli otsustatud tellida trükkplaadi tootmist Hiinast, kasutades selleks veebiteenust nimega *JLCPCB*. Antud veebiteenus, lisaks trükkplaadi valmistamisele ja *PCBA*'le, võimaldab ka *Gerber* failide ülevaadet, kohalike töötajate poolt trükkplaadi inspektsiooni, trükkplaadile spetsiifiliste nõuete ja parameetrite seadistamist ja ka tööstuslikku 3D-printimist olemasolevate failidega.

Trükkplaadi tellimuse vormistamiseks mindi *jlcpcb.com* avalehele ning lisati projekteerimise etapil valmis saanud *gerber* failid aknasse *Add gerber file* (vt Joonis 4.1).

**Fast, Reliable Deliveries**

24 hours quick turnaround PCB prototype.  
 Delivered directly from our factory to your door.  
 Fast shipping from our factory near Hong Kong Aviation Hub.

[Order Now >](#)

↓

OR
 **Layers**




**Dimensions**
 x  mm
 **Quantity**

Joonis 4.1 JLCPCB avalett [12]

Peale faili lisamist veebiteenus automaatselt tuvastab kihtide hulga ja trükkplaadi dimensioone. Järgmise sammuna valitakse trükkplaadi spetsifikatsioone, nt materjali, erilise nõudeid jne (vt Joonis 4.2).

Detected 2 layer board of 85.75x93.75mm(3.38x3.69 Inches) .

**Base Material**

**Layers**

**Dimensions**
 \*

**PCB Qty**

**Product Type**

Joonis 4.2 Trükkplaadi spetsifikatsioonide valimine [12]

Järgmisena seadistatakse trükkplaadi kokkupanemise spetsifikatsioonid (vt Joonis 4.3).

PCB Assembly

Free Assembly for your PCB order

Assemble top side

Assemble bottom side

PCBA Type: Economic, Standard

Assembly Side: Top Side, Bottom Side, Both Sides

PCBA Qty: 5, 2

Tooling holes: Added by JLCPCB, Added by Customer

Confirm Parts Placement: No, Yes

I agree to the Terms and Conditions of JLCPCB assembly Service.

Confirm

Joonis 4.3 Trükkplaadi kokkupaneku spetsifikatsioonid [12]

Eelviimase sammuna lisatakse *BOM* ja *CPL* failid (vt Joonis 4.4).

Add BOM File

Only accept XLS,XLSX,CSV. View Sample BOM

Add CPL File

Pick&Place File, Only accept XLS,XLSX,CSV. View Sample CPL

Not sure where to start? Check our SMT FAQs page.

Process BOM & CPL

Joonis 4.4 *BOM*'i ja *CPL*'i lisamine [12]

Kogu valmistamise ja tarne maksumus on kirjeldatud järgmise tabeliga (vt Tabel 4.5):

Tabel 4.4 Valmistamis- ja tarnekulu [12]

Toode / teenus	Maksumus (5 tk), €	Maksumus (1 tk), €
<i>PCB</i> valmistamine		
<i>PCB</i>	1.87	0.37
<i>PCB</i> kokkupanek		
Seadistamistasu	7.48	1.5
Stensiil	1.4	0.28

<b>Toode / teenus</b>	<b>Maksumus (5 tk), €</b>	<b>Maksumus (1 tk), €</b>
Komponendid	22.52	4.5
Spetsiifilised komponendid (nõuavad muudatusi PCBA masinates)	29.25	5.85
SMT kokkupanek	0.83	0.17
Tarne		
Kohalettoimetamine	24.81	4.96
Tolli maksud	15.98	3.2

## 4.2 Süsteemi turundusmudel

Antud töös kirjeldatud süsteemi turundamiseks võib kasutada nn *B2B* mudelit, kus põhilisteks klientideks on ettevõtted, mis soovivad oma tööstuslikes oludes lühiajalise hoidmise protseduuri optimeerida.

Lepingu sõlmimisel antakse süsteemi rendimiseks lepingus sätestatud ajaperioodiks. Igakuine rent sisaldab ka võimalikke hooldustöid ja tehnilist tugi.

## KOKKUVÕTE

Antud lõputöö oli jagatud iseseisvateks etappideks. Etappide hulka kuulus esialgsete ning olemasolevate andmete analüüs, mis panustas esimese küsimuse lahendamisse, ehk sardsüsteemi projekteerimiseks vajalikku informatsiooni kogumisesse. Selle etapi tulemusel valmisid lõplikud nõuded. Esimesele uurimusküsimusele vastuse leidmisel oli lahendatud ka teine püstitatud probleem, nimelt lõppsüsteemi kasutamise kontseptsiooni loomine. Selle etapi väljundiks sai ka kontseptsiooni visualiseering, ehk süsteemi kasutamise voodiagramm.

Järgmise etapina oli olemasolevate andmete põhjal süsteemi projekteerimine. Selle etapi jooksul kasutati saadud teoreetilisi teadmisi ja ettekujutusi alamsüsteemide tehniliseks visualiseerimiseks. Esimesena arendati alam-mooduli elektroonikat. Alustati alam-moodulis oleva trükkplaadi elektriskeemist, mille aluseks sai *Atmega328P-AU* mikrokontrolleri kiip. Peale skeemi loomist, alustati trükkplaadi disainiga, milleks kasutati *Altium* tarkvara. Pärast alam-mooduli elektriskeemi loomist, oli loodud skeemi prototüüp makettplaadi peal, mida kasutati peamooduli süsteemi arendamiseks. Peamooduli süsteemi peamiseks osaks on kompaktne arvuti, mille peal käivitati sardoperatsioonisüsteem ning loodi andmeside makettplaadi peal oleva elektriskeemiga. Lisaks loodi lokaalne andmebaas *SQLite3* tehnoloogia abil. Andmeside katsetamiseks ning ka üldise süsteemi eesmärkide saavutamiseks loodi kasutajaliides *Microsoft*'i poolt pakutava raamistiku abil. Järgmistena arendati alam-mooduli kapi, peamooduli esipaneeli, kappide kinnituse ja ka modulaarse konnektori 3D-mudelid, mis said olemasolevate jooniste alusteks. Antud etapi väljunditeks said: ülalmainitud 3D-mudelid ja joonised, alam-mooduli sardsüsteemi tarkvara, peamooduli peaarvuti tarkvara, lookaalse admebaasi arhitektuur, alam-mooduli trükkplaat.

Eelviimase etapi jooksul loodi prototüüp olemasolevate projektide põhjal. Prototüübi jaoks olid kindlaks määratud nõuded ja funktsioonid, mis kontseptsiooni põhiselt on tähtsad süsteemi katsetamiseks.

Viimase etapi käigus koostati kogu projekti eelarve, ehk pandi kõik teadaolevate komponentide, protsesside ja tarnete kulud tabelitesse. Lisaks sellele mõeldi projekti võimaliku turunduse peale.

Antud töös kirjeldatud süsteemis on lisaks mainitud alamsüsteemidele ja kasutatud lähenemistele kindlasti arenguruumi. Rääkides alam-moodulist, edasiseks arengu võimaluseks oleks kapi materjali valik, kapi tootmistehnoloogia valik ning ka füüsiline tootmine. Lisaks alam-mooduli mehhaanikale oleks tähtis arendada edasi olemasolevat elektroonikat. Nimelt, modulaarsuse funktsiooni realiseerimiseks peaks arendama dünaamilist *slave* seadmete adresseerimist, ehk süsteemi käivitamisel peab peamooduli arvuti tuvastama kõiki olemasolevaid *slave* seadmeid. Peamooduli

andmevahetus toimub läbi lokaalse andmebaasi, mis aitab lihtsustada prototüüpimise protsessi ning saavutada vajalikke tulemusi. Järgmiseks etapiks oleks olemasoleva lokaalse andmebaasi viimine pilveserverisse, millega peamooduli arvutil oleks andmevahetus *HTTP* päringute abil. Serveri sisesed protseduurid oleksid kirjutatud *Python* keeles ning *HTTP* päringud oleksid suunatud serveris defineeritud *URL*'idele.

## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

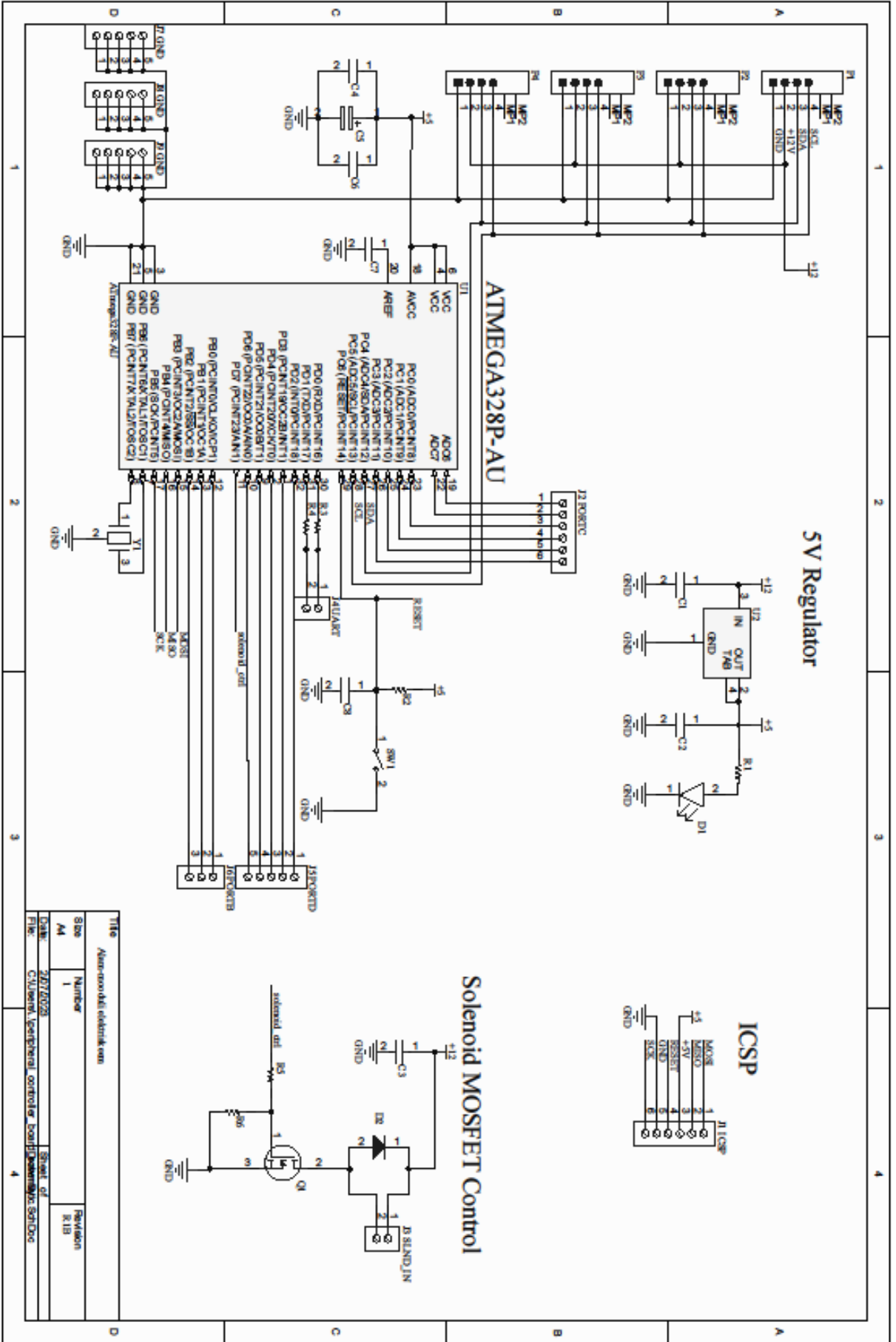
- [1] Forbes. What Is The Project Management Triangle? [www]  
<https://www.forbes.com/advisor/business/project-management-triangle/> .  
Kasutatud 05.02.2023.
- [2] Cleveron AS. [www] <https://cleveron.com/>. Kasutatud 10.02.2023.
- [3] Containit Solutions. 5S Lean Manufacturing Shelving Systems Accessories.  
[www] <https://www.containit.com.au/5s-lean-manufacturing-shelving-systems-accessories/> . Kasutatud 12.02.2023.
- [4] Sixsigma Institute. What Is Sigma And Why Is It Six Sigma? [www]  
[https://www.sixsigma-institute.org/What\\_Is\\_Sigma\\_And\\_Why\\_Is\\_It\\_Six\\_Sigma.php](https://www.sixsigma-institute.org/What_Is_Sigma_And_Why_Is_It_Six_Sigma.php) . Kasutatud 01.03.2023.
- [5] Newark. ATMEGA328P-AU. [www]  
<https://www.newark.com/microchip/atmega328p-au/microcontroller-mcu-8-bit-atmega/dp/68T2935> . Kasutatud 02.03.2023.
- [6] EasyEDA. ATMEGA328p-AU. [www]  
[https://easyeda.com/modules/ATMEGA328p-AU\\_13b9bb7bfa524d20b6701c9d51a9fb1f](https://easyeda.com/modules/ATMEGA328p-AU_13b9bb7bfa524d20b6701c9d51a9fb1f) . Kasutatud 10.03.2023.
- [7] DISTRELEC. 691709710308 - Wire-To-Board Terminal Block, SMD, 5mm Pitch, Horizontal, Screw, Clamp, 8 Poles, Würth Elektronik. [www]  
<https://www.distrelec.de/en/wire-to-board-terminal-block-smd-5mm-pitch-horizontal-screw-clamp-poles-wuerth-elektronik-691709710308/p/30127282> . Kasutatud 12.03.2023.
- [8] Element14. FIT0620. [www]  
<https://sg.element14.com/dfrobot/fit0620/electric-solenoid-lock-75kg-12vdc/dp/3769927> . Kasutatud 13.03.2023.
- [9] Raspberry Pi. Raspberry Pi 3 Model B. [www]  
<https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-3-model-b/> . Kasutatud 14.03.2023.



- [10] RobotShop. Mifare RC522 Module RFID Reader. [www] <https://eu.robotshop.com/products/mifare-rc522-module-rfid-reader> . Kasutatud 20.03.2023.
- [11] Amazon. HMTECH Raspberry Pi Screen 10.1 Inch Touchscreen Monitor 1024x600 Portable HDMI Monitor 16:9 IPS Screen Display for Raspberry Pi 4/3/2/Zero/B/B+ Win10/8/7, Free-Driver. [www] <https://www.amazon.com/HMTECH-Raspberry-Touchscreen-1024x600-Portable/dp/B0987468N2?th=1> . Kasutatud 01.04.2023.
- [12] JLCPCB. [www] <https://jlcpcb.com/> . Kasutatud 05.04.2023.
- [13] Microsoft. What's a Universal Windows Platform (UWP) app? [www] <https://learn.microsoft.com/en-us/windows/uwp/get-started/universal-application-platform-guide> . Kasutatud 10.04.2023.
- [14] Mouser Electronics. [www] <https://www.mouser.ee/> . Kasutatud 15.05.2023.
- [15] Noortehnik. Pleksiklaas. [www] <https://noortehnik.ee/pleksiklaas/> . Kasutatud 15.05.2023.
- [16] K-Rauta. Hing mööblile GB-HINGE07, tsingist. [www] <https://www.k-rauta.ee/p/hing-mooblile-gb-hinge07-tsingist/fggt?mtd=search&pos=regular&src=searchnode> . Kasutatud 15.05.2023.

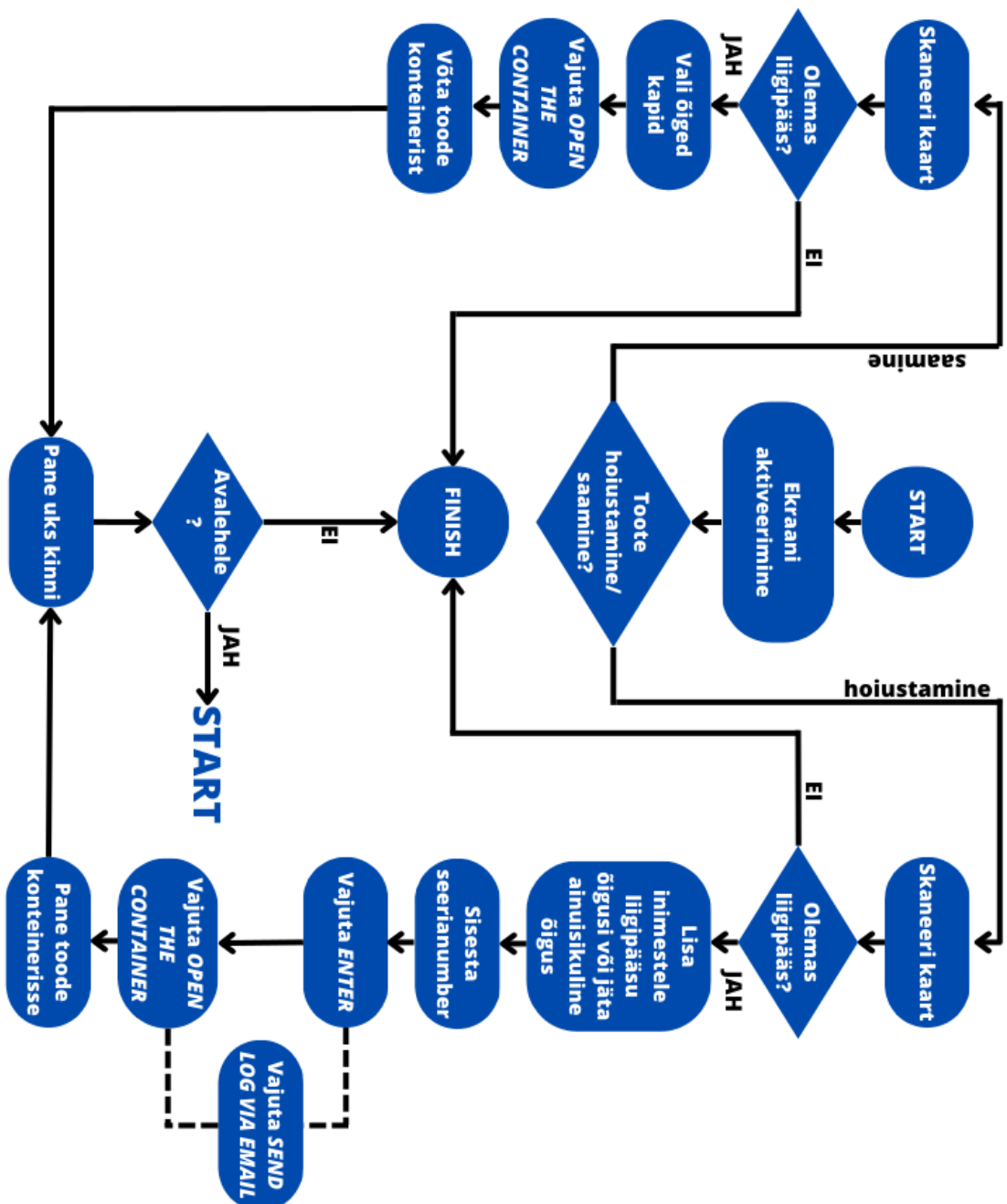
**LISAD**

Lisa 1 Alam-mooduli elektriskeem

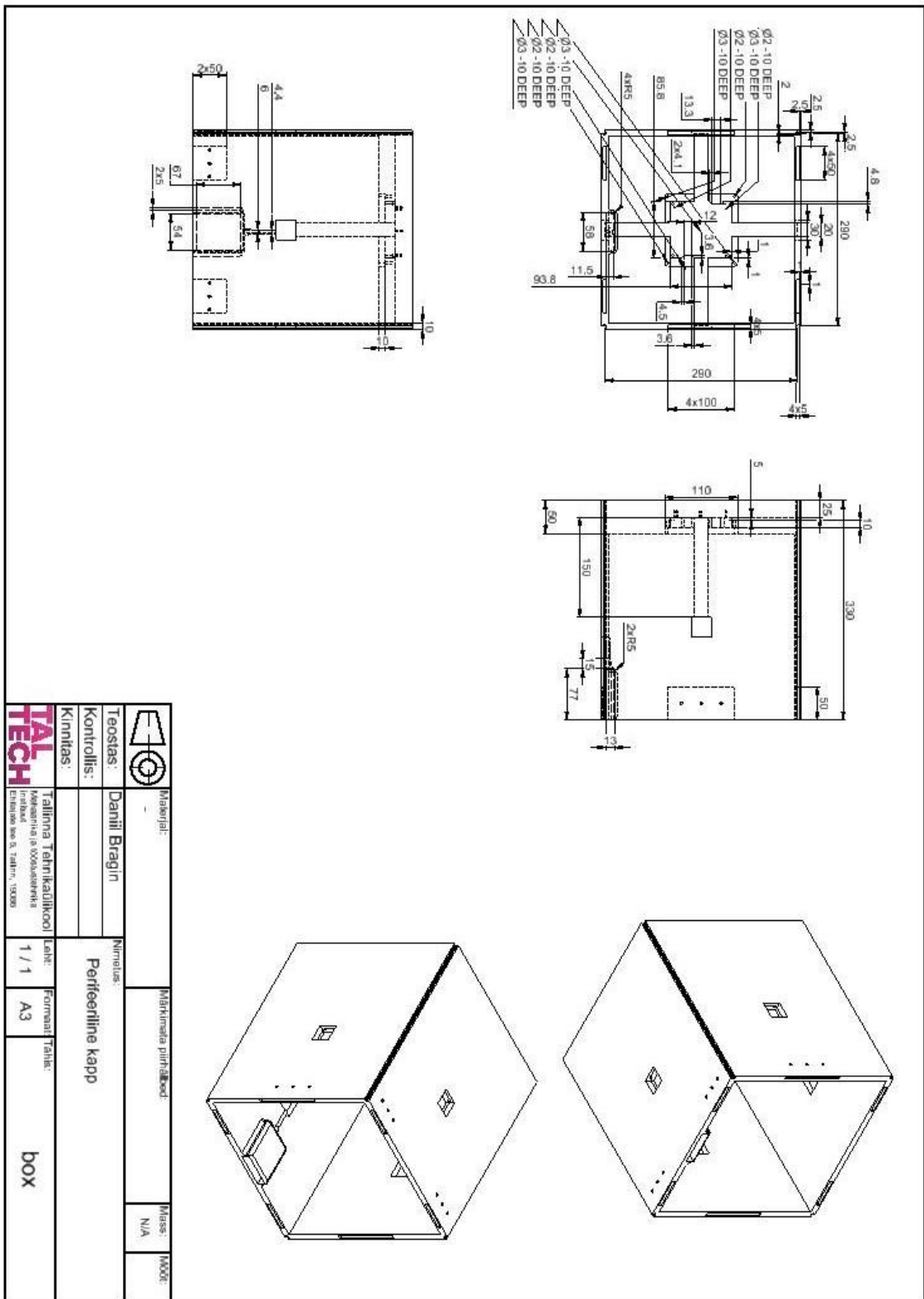


Title		Revision	
Aram-mooduli elektriskeem		R.11B	
Size	Number	Date	Sheet of
A4	1	2017/02/28	1
File: C:\Users\user\Documents\Aram-mooduli elektriskeem.dwg			Sheet of

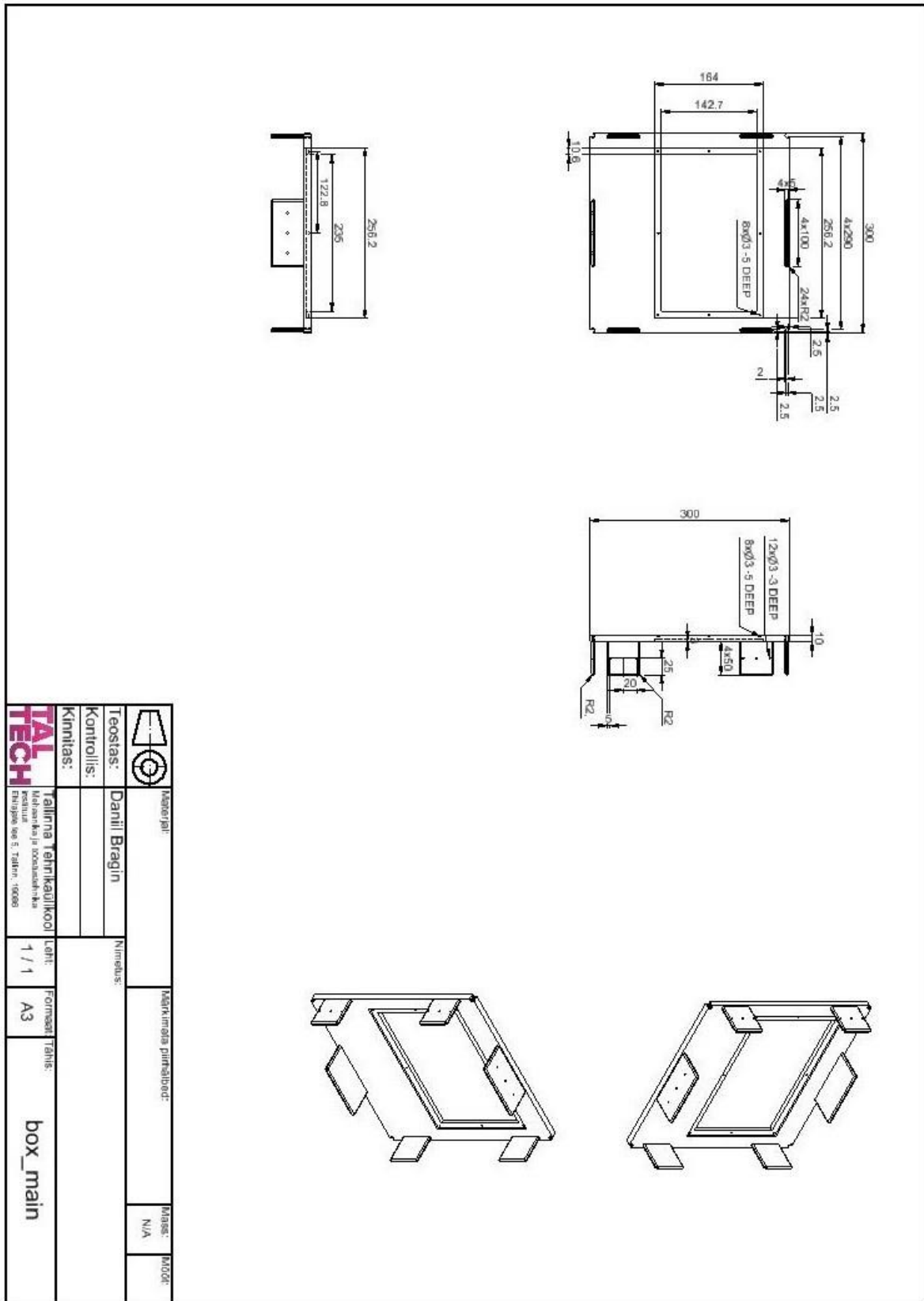
Lisa 2 Süsteemi kasutamise voodiagramm



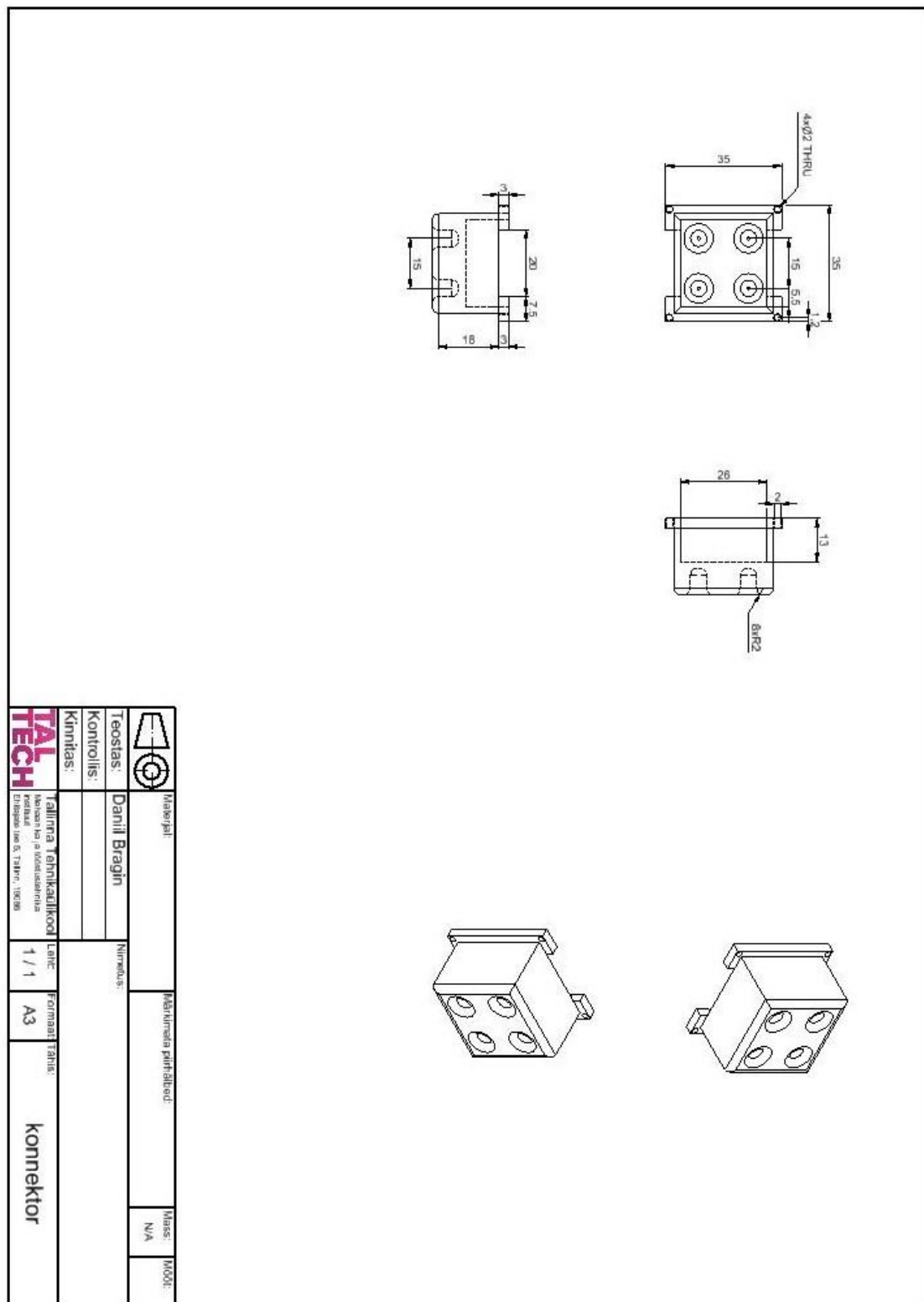
Lisa 3 Alam-mooduli kapi mehhaaniline joonis



Lisa 4 Peamooduli esipaneeli mehhaaniline joonis



Lisa 5 Modulaarse ühenduse mehhaaniline joonis (pesa)



Lisa 6 Modulaarse ühenduse mehhaaniline joonis (pistik)

