



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

**GTEM KAMBRI MANIPULAATOR RAKISE  
AUTOMATISEERIMINE**

GTEM CHAMBER MANIPULATOR OF RACK AUTOMATION  
BAKALAUREUSETÖÖ  
MEHHATROONIKA ÕPPEKAVA

Üliõpilane: Mait Aruste

Üliõpilaskood: 142968

Juhendaja: Marek Jarkovoi

Tallinn 2017

## AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus.

Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Lõputöös kasutatud kõik teiste autorite tööd ja seisukohad ning materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töö valmis Marek Jarkovoi juhendamisel

“.....” ..... 2017 a.

Töö autor: .....

Töö vastab lõputööle esitatavatele nõuetele

“.....” ..... 2017 a.

Juhendaja: .....

Lubatud kaitsmisele

“.....” ..... 2017 a.

..... õppekava lõputööde kaitsmiskomisjoni esimees: .....

## BSc LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

2017. aasta kevadsemester

Üliõpilane: Mait Aruste 142968

Õppekava: MAHB 02/13

Eriala: Mehhatroonika

Juhendaja: Teadur, Marek Jarkovoi

Konsultandid: : ..... (nimi, amet, telefon)

.....

### LÕPUTÖÖ TEEMA:

(eesti keeles) GTEM kambri manipulaator rakise automatiseerimine

(inglise keeles) GTEM chamber manipulator of rack automation

**Töös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:**

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1.	Lõputöö teema valik ning kirjanduse läbitöötamine. Lähteandmete kogumine.	10.04.17
2.	Arvutuste ja modelleerimise teostamine.	20.04.17
3.	Uuringu tulemuste kirjeldamine, järeldused.	5.05.17
4.	Töö esimene versioon valmis ja juhendajale läbilugemiseks saatmine. Kalkulatsioon ning joonised.	21.05.17
5.	Lõplik vormistamine ning köitmine.	24.05.17

**Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid:** Koostada juhtimissüsteem GTEM kambri manipulaator rakisele ning lisaks konstrueerida mehaaniline osa. Arenduse käigus tuleb silmas pidada, et mitte ühtegi metalset osa ei oleks kasutatud, sest paigutades detaili alla rakis mis sisaldab metallilisi osasid, saavutatakse väärad mõõtetulemused. Lisaks peab seadeldis suutma liigutada 30 kilogrammist raskust ning sisaldama pneumaatilisi ja optilisi lahendusi.

**Töö keel:** Eesti keel

Kaitsmistaotlus esitada hiljemalt 13.03.17

**Töö esitamise tähtaeg:** 25.05.2017

**Üliõpilane** Mait Aruste

allkiri.....

kuupäev.....

**Juhendaja** Marek Jarkovoi

allkiri.....

kuupäev.....

# SISUKORD

EESÕNA	5
LÜHENDID	6
SISSEJUHATUS	7
1. GTEM KAMBRI RAKISE ÜLDINE KIRJELDUS	8
2. MEHAANILINE KONTSEPTSIOON	10
2.1. Müügil olevate lahenduste analüüs	10
2.2. Komponentide ja tootmistehnoloogia valik	11
2.3. Ülekande koost	14
2.4. Silindri kinnitamiseks mõeldud disain	16
3. PNEUMAATILINE KONTSEPTSIOON	17
3.1. Silindri mõõtmete valik	18
3.2. Andurite ja läbiviikude paigutus silindri korpuses	18
4. ELEKTROONILINE KONTSEPTSIOON JA LAHENDUS	19
4.1. Komponentide valik	19
4.2. Elektrisüsteemi põhimõtteline lahendus	21
5. JUHTIMISE KONTSEPTSIOON JA LAHENDUS	23
5.1 Programmi detailsem kirjeldus	23
6. PROJEKTI KOMPLEKTEERITUD KOOST	24
7. MAJANDUSLIKUD- JA OHUTEGURID	25
8. PROJEKTI HINNAKALKULATSIOON	26
KOKKUVÕTE	27
SUMMARY	28
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	29
LISAD	31
Lisa 1: Alusplaadi tööjoonis	31
Lisa 2: Silindri korpuse tööjoonis	32
Lisa 3: Silindri otsakatte tööjoonis	33
Lisa 4: Kolvi, tihendi ja kolvivarre ühine tööjoonis	34
Lisa 5: Ülekande tööjoonis	35
Lisa 6: Programmi kirjeldav kood	36

## EESÕNA

Käesoleva lõputöö teema idee kujunes koostöös Tallinna Tehnikaülikooli nooremteaduri Marek Jarkovoiga. Eesmärgiks seati GTEM kambri manipulaatorrakisele juhtmehaanika välja mõtlemine. Antud lahendus on uudne ja aktuaalne põhjusel, et praegused turul müüdavad seadmed on kujundatud väiksemõõtmelise ning manuaalsena. Lõputöö käigus valmiv seade aitab lihtsustada kambri tehtavaid mõõtmisi.

Bakalaureusetöö valmis koostöös mehhatroonika eriala tudengi Andres Kirsipuuga. Paaristöö osana jäi tema ülesandeks luua rakise üldkontseptsioon ning töö autori ülesandeks kirjutada selle põhjal edasiarendus.

Autor soovib tänu avaldada teadur Marek Jarkovoile, kelle juhendamisel valmis antud lõputöö.

## LÜHENDID

GTEM – i.k. *Gigahertz Transverse Electromagnetic cell*

ABS - akrüülniitriil-butadieen-stüreenplast, i.k. *Acrylonitrile butadiene styrene*

3D – kolmemõõtmeline ehk ruumiline

LED - valgusdiod, i.k. *Light-Emitting Diode*

POM - polüoksümetüleen ehk kulumiskindel plast materjal

## SISSEJUHATUS

Antud bakalaureusetöö ülesandeks on automatiseerida Tallinna Tehnikaülikooli energeetikamaja esimesel korrusel asuva labori GTEM kambri manipulaator rakisega. Töö teostamisel on keskendunud kasutajasõbralikkusele ning ruumi kokkuhoidvale lähenemisele, et kõik tarbijad saaksid hakkama kasutamisega.

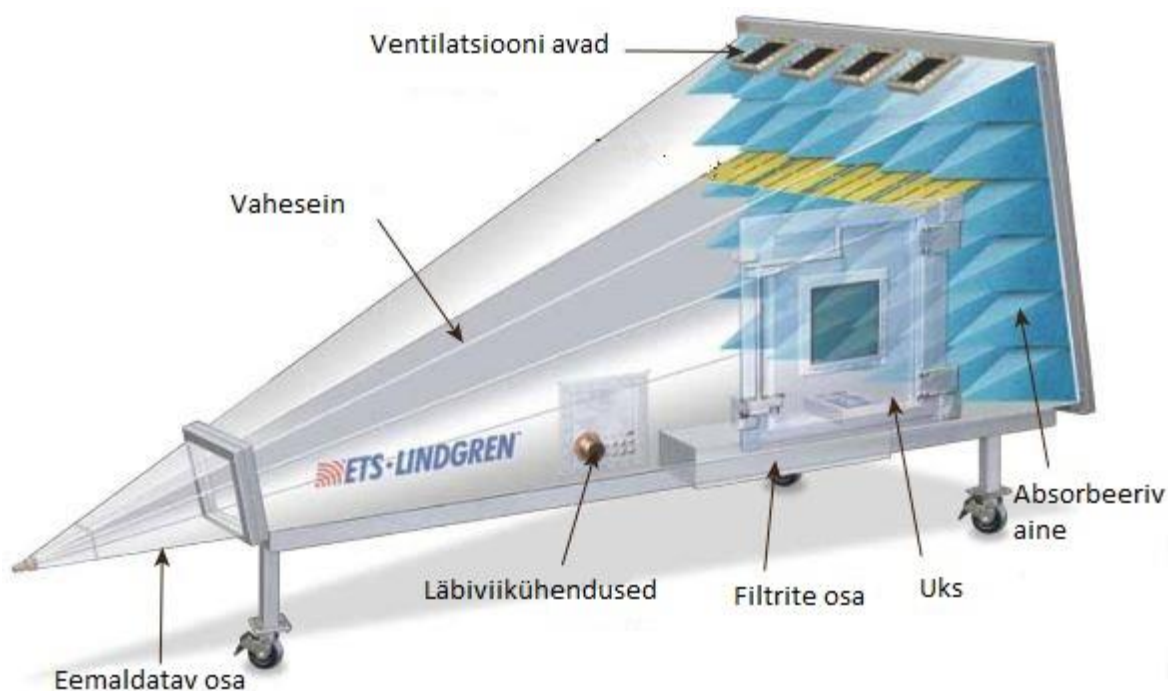
Mehaaniline lahendus disainitakse seadme paremaks funktsioneerimiseks. Lisaks on oluline välja töötada kaugjuhtmisega pneumaatiline lahendus, selleks kasutatakse optilise tagasisidega andureid. Arvesse võetakse müügil olevaid tooteid ning materjale. Mehaanilised elemendid on projekteeritud SolidWorks tarkvara abil [1], loogilised lülitused on koostatud Alpha Programming keskkonnas [2].

Kontseptsioon on töö põhiosas jaotatud laiemalt kolmeks. Esimene osa käsitleb silindri mõõtmete valikut ning andurite ja läbiviikude paigutust. Elektrooniline kontseptsioon kirjeldab komponentide süsteemi lahendust. Seletatud on ka elektrisüsteemi ideed.

Peamine kitsendus koostamisel on, et ühtegi metalset osa ei oleks kasutatud, sest mõõtmine toimub metalli sisaldava toote peal. Metallist osade kasutamine võib takistada õigete mõõtmistulemuste saavutamist. Lisaks üritatakse olemasolevat kambrit mitte muuta, vaid kasutada optimaalselt sealset ruumi ning avasid. Seade peab vastu pidama vähemalt 30 kilogrammisele raskusele ning mahutama peale 450x450x450 millimeetriste mõõtmetega eseme.

# 1. GTEM KAMBRI RAKISE ÜLDINE KIRJELDUS

Tegemist on kambri, milles tehakse toodetele elektromagnetilisi uuringuid, mõõdetakse heitkoguseid, kiirgust ning vastuvõtlust. Kambri kest on valmistatud juhtivast materjalist nagu metall. Piklik püramiidi kujuga kest on asetatud ühele tahule. Küljel asetseb uks, mille kaudu pääseb kambri sisemusse. Uksest vasakul pool asub oluline läbiviikude koht, mille kaudu saab kambri sisemusse vedada voolikuid ja juhtmeid (sele 1). Kinnine koda on ehitatud alusraami peale, mis varustatud allolevate ratastega. Ümbrus on vaba ning kambri alla pääseb lihtsalt [3], [4].



Sele 1. GTEM kambri illustratiivne joonis kirjeldustega [3]

Kambri sisse paigaldatakse rakis, mis asetseb kambri keskmise telje suhtes 45 kraadise nurga all (sele 2). Rakise kinnitamine kambri põhjale ei ole tingimata vajalik, rakise pind on piisavalt suur, et fikseeruda mõne kleepuva materjali abil. Näiteks võib kasutada kahepoolset teipi.



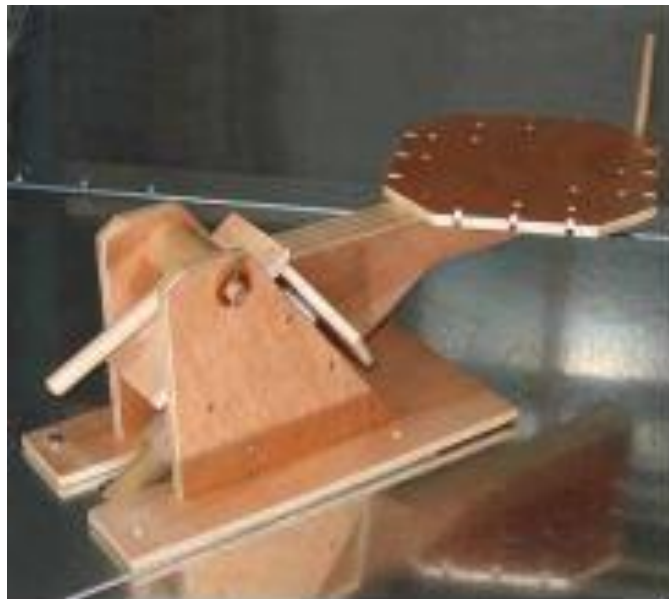


## 2. MEHAANILINE KONTSEPTSIOON

Mehaanika osas käsitletakse müügil olevaid valmistooteid, vaadatakse täpsemalt millised komponendid sobivad kasutamiseks, millised osad tuleb projekteerida. Ühtlasi jälgitakse tootmist ja tootmisega seonduvaid kulusid. Eraldi osana võetakse käsile ülekande disainimine, projekteerimine analüüsimine ning samuti silindri kinnitamine ja asukoht rakise suhtes.

### 2.1. Müügil olevate lahenduste analüüs

Müügil olevaid lahendusi on äärmiselt vähe. Turul müüdav rakis MPC 600A suudab enda peal hoida toodet mõõtudega 205/205/205 millimeetrit ning kuni 10 kilogrammi suurust raskust (sele 3). Leitavad lahendused on mehaanilised ning puidust konstruktsiooniga. Antud lahenduse puhul on tehtud GTEM kambri põhja ava, millest ulatub võll läbi ning toimub telje liigutamine manuaalselt, kambrit väljaspool võlli pöörates või elektriliselt, kuid samuti väljaspool kambrit. Materjaliks on kasutatud puitu ning monteeritud tüüblite ja liimiga. Rakis on kinnitatud põranda külge ning fikseeritud jäigalt, mis teeb rakise eemaldamise kambrit keeruliseks. Sellega häirub kambri hooldamine ning seadistamine [6].



Sele 3. Rakis ortogonaalseks pööramiseks [6]

Müügil oleva ortogonaalse rakise pööramiseks on kambri põhja tehtud ava, kuid kambri lisaavade tegemine tähendab kambri seadistamist. Seadistamine on võimalik ainult kambri hooldajate poolt, mis tähendab lisainvesteeringuid. Ainsad kambri väljaviigud asuvad kambri ukse kõrval, läbi nende saab vedada pneumaatilise silindri voolikud ja optilised kaablid anduritelt info saamiseks. Kasutades olemasolevaid väljaviike ei muudeta kambri seadeid ning senine kalibreerimine on heakskiidetud.

Arvestatavad tingimused

- Projekti ülesanne on olemasolevat kambrit mitte muuta, kasutada sealset ruumi ning olemasolevaid avasid.
- Seade peab suutma kanda koormust kuni 30 kg ning peab mahutama enda peale 450x450x450 mm mõõtmetega eseme.
- Ühtegi metalset osa ei tohi kasutada kambri sees.
- Kambrist väljaspool ei ole tingimused piiratud.
- Seadmete kinnitamisel ei tohi rikkuda kambri põhja ehk lisada läbivaid avasid kinnitusteks.

## 2.2. Komponentide ja tootmistehnoloogia valik

Otsustamisel sai määravaks autori isiklik kogemus. Nimelt hiljutisel kokkupuutel liugvärava automaatikaga ning sealse mootori asendamisel uuega tutvuti seadme tööpõhimõtetega. Seadme korpuse sees asub elektrimootor, mille abil pöördliikumise tekitatakse lineaarne liikumine. Ülekande abil saadakse vajalik kiirus ning jõud, millega on võimalik värava hammaslatti liigutada.

Käesolevas töös kasutatakse vastupidist olukorda. Lineaarne liikumine kantakse pöördliikumiseks. Rakis on ise nii-öelda värava mootor, kus liikumine tekitatakse värava liigutamisega. Projekteerimisel selgus, et lahendus sobib, kuid vaeva peab nägema ülekande suuruse valikul. Lisaks otsiti võimalusi millised valmistooted on olemas. Põhjusel, et sobivates mõõtudes esemeid ei leitud, langetati otsus toota ise. Valmisid dimensioonid ning kujundati tehnoloogia, kus lineaarne liikumine kantakse üle pöördliikumiseks.

Hammasratta ning hammasvöö valmistamisel kasutati lehtmaterjale. Projekti piirangutest lähtuvalt tuli valida plasti ning komposiitmaterjalide vahel. Viimastest oleks saanud kasutada ainult neid, mis koosnevad polümeersest maatriksist ja tugevdavast komponendist kiulisel või pulbrilisel kujul. Teiste materjalide maatriksid sisaldavad metalle nagu näiteks alumiinium, magneesium, nikkel ja titaan. Sobilike plastkomposiitide põhilised rühmad on klaasplastid, süsinikplastid, boorplastid, metalloplastid ja organoplastid. Kihilisest armatuurist ja maatriksist koosneva aine kasutusvaldkonnad on pigem kuju ja erigeomeetriaga pinnad. Komposiitmaterjalid on kallid, raskesti töödeldavad ja halvasti liidetavad ning seetõttu osutus valituks plast [7].

Tänapäevased plastmaterjalid on äärmiselt vastupidavad, laialt kasutatavad ning kergesti kättesaadavad. Plastide omaduste järgi otsustati liikuvamad osad teha polüamiidist ehk nailonist või teisisõnu kapronist. Viimane on laialt levinud materjal mehaanilistes konstruktsioonides ja remonttöodes. Nailonis on kombineeritud mehaaniline tugevus, jäikus, sitkus ja kuumakindlus. On oluline, et materjal oleks automaatpinkides hästi töödeldav [8]. Polüamiidi tähtsamad näitajad on toodud allolevas tabelis 1.

Tabel 1. PA6.6 materjali tähtsamad näitajad [8]

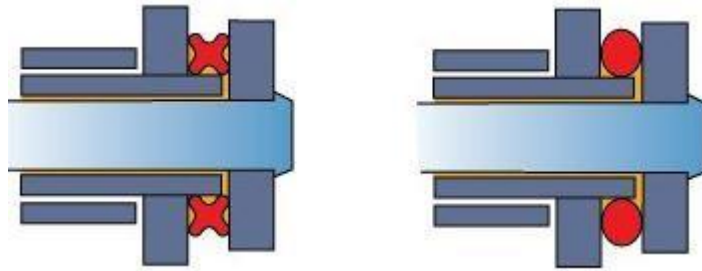
Tihedus	g/cm <sup>3</sup>	1,13-1,15
Tõmbeelastusmoodul (kuiv)	MPa	3200
Tõmbeelastusmoodul (niiske)	MPa	1600
Kuulkõvadus	N/mm <sup>2</sup>	160
Lubatud töötemperatuur	°C	-40...80
Läbilöögipinge (kuiv)	KV/mm	25

Ülekande tootmistehnoloogia valik tehti freesimise, vesi- ning laserlõikuse vahel. Laserlõikus ei sobi, kuna materjali lubatud töötemperatuur ei ole piisav antud töötlemistehnoloogia kasutamisel. Põhjuseel, et hammaste freesimine on kulukas ning sellise lihtsa ülekande korral ei ole tarvis niisugust täpsust, osutus valikuks vesilõikus. Hammasratta võlli näol on tegemist nelikant materjaliga mille keskmine pind on võll ning see tuleb treida.

Pneumaatilise silindri valmistamisel kasutatakse plastmaterjale. Valida on laialdaselt kasutatava ABSi ehk akrüülnitriil-butadieen-stüreenplasti ja POMi ehk polüoksümetüleeni vahel. POM on äärmiselt heade näitajatega, kuid kuna antud materjali kättesaadavus ning hind ei ole aksepteeritavad, osutus valituks ABS [9], [10].

Silindri tootmistehnoloogia valikuks on treimine, freesimine või 3D printimine. Printimise korral on oluline materjal, paljud materjalid nagu ka POM ei ole prinditavad. Silindri sisemine pind tuleks üle töödelda ning keeruliseks kujuneb uuesti pinki panemine. Pinna kvaliteedi tõttu langeb antud töötlusprotsess valikust. Selgub, et otstarbekas oleks osad detailid freesida ning mõningad treida. Kindlasti tuleb treimist kasutades teha silindri võll ning kolb. Võimalus on treimise tehnoloogiat kasutades rakendada ka silindri korpust, kuid pikkuse ning väikese diameetri juures on protsess vaevarikas ja raske. Pneumaatilise täituri kesta on majanduslikult kõige otstarbekam valmistada freesides, kuna antud detailis on mitmel küljel erinevaid avasid. Silindri korpus on kõige keerulisem detail, ühtlasi vajab see kõige suuremat toorikut.

Korpuse otsakatte saab valmistada edukalt lehtmaterjalist, kasutades tootmiseks vesilõikust. Hiljem tuleb otsakattesse lõigata tihendisoone nii võlli avasse kui ka korpuse ja otsakatte vahele. Tihendid võllidele osutusid valituks ümartihendite seast, mille ristlõige on x kujuline (sele 4). Tegemist on kombineeritud tihendiga, millel on kaks tihenduspinna üleval, kaks all ning lisaks tihendavad külgmised pinnad. Need sobivad hästi kolvi pinna tihendamiseks ning võlli otsa kaitsmiseks väliskeskkonnast tulenevate tegurite eest. Tegemist on kergesti kättesaadava ja suurt tootevalikut hõlmava tüübiga [11].

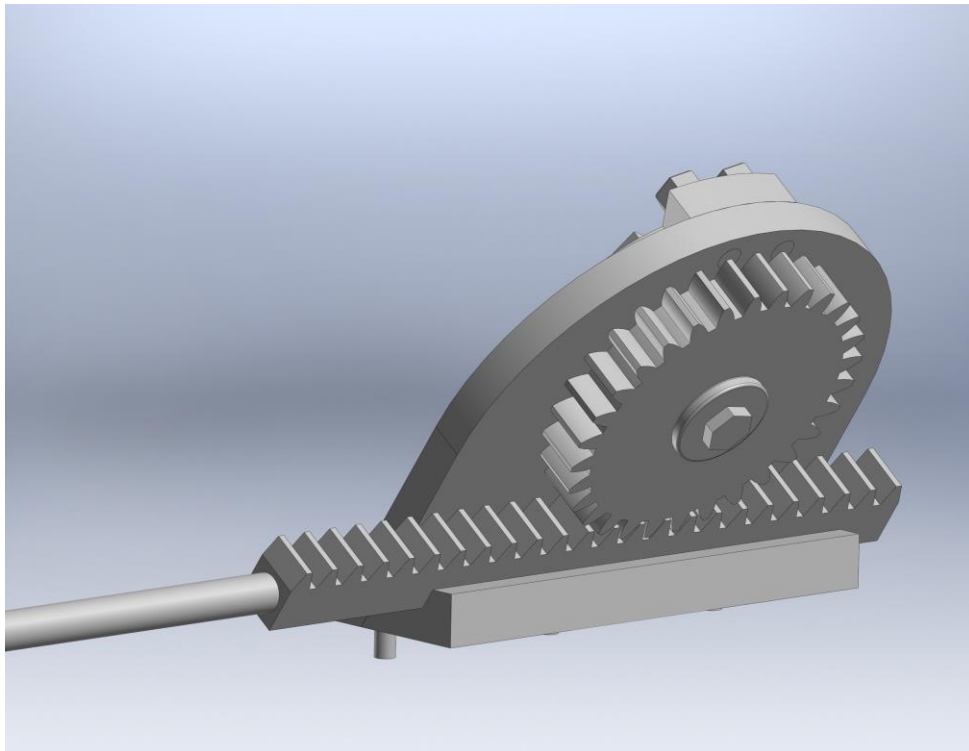


Sele 4. O tihendi ja x tihendi võrdlus [11]

Kinnitusvahenditeks on nailonist poldid, seibid ja kruvid. Tegemist laialt levinud materjaliga mehaanilistes konstruktsioonides ja remonttöodes. Nailonis on kombineeritud mehaaniline tugevus, jäikus, sitkus, löögitugevus ja kuumakindlus. Väga oluline, et materjal oleks hõlpsasti töödeldav [8].

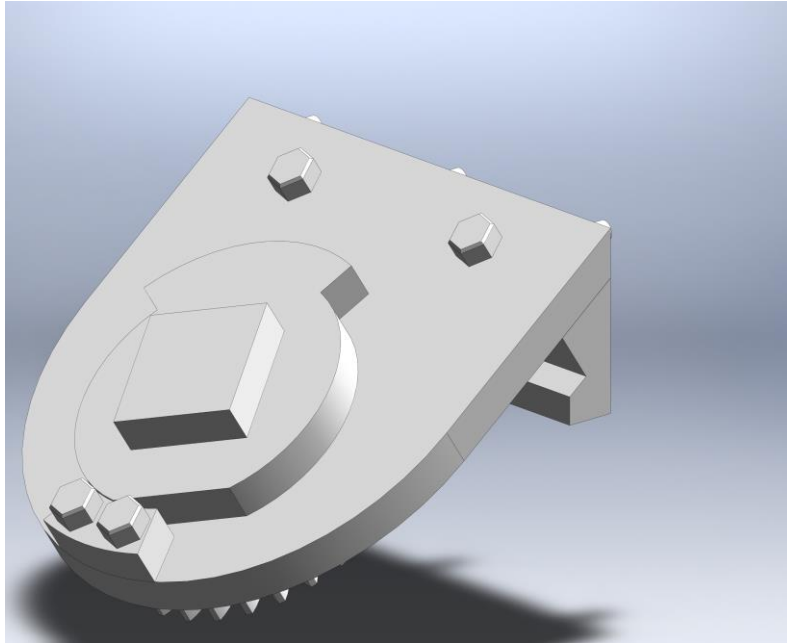
## 2.3. Ülekande koost

Ülekande peamine ülesanne on lineaarne liikumine. Selleks kasutatakse hammaslatti, mis liigub lineaarselt risti pöördteljega. Teljele kinnitub hammasratas, mille paneb pöörlema hammaslatist tulev liikumine (sele 5). Hammaslati liikumine 125,7 mm pöörab hammasrattast 120 kraadi võrra. Seega peab ülekande all asetsema minimaalset 251,4 mm pikkune hammaslatt, et sooritada liikumist mõlemas suunas.



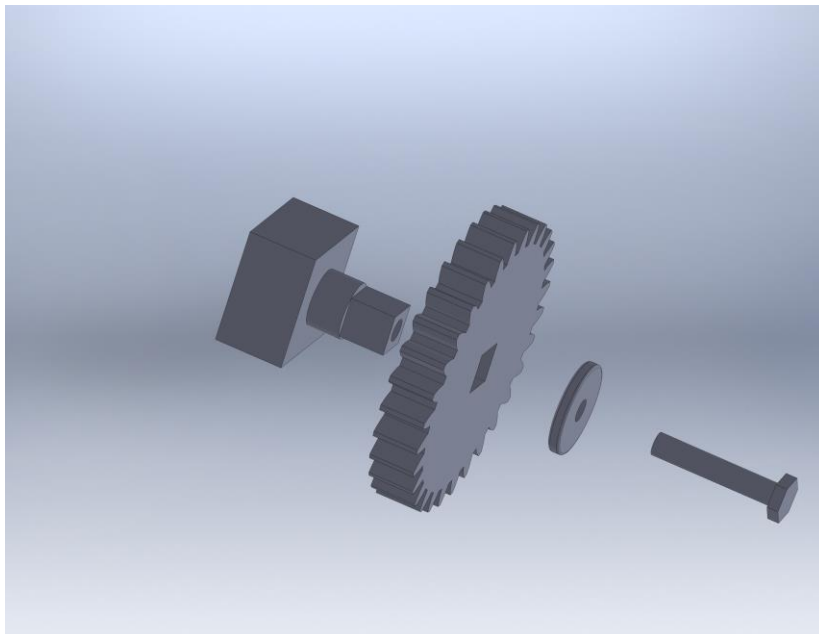
Sele 5. Ülekande disaini kirjeldav joonis

Disain on koostatud nii, et esimene tasand saadakse, kui hammasvöö asub keskpunktis mis on ühtlasi z-tasand ning määratud 0 kraadiga. Positiivne liikumine sooritab 120 kraadise pöörde millega saadakse x-tasand ning silindri -240 kraadine liikumine eelmisest tekitab y-tasandi. Hammasvöö saab liikuda ainult edasi ja tagasi. Kusjuures kõrvale liikumine on takistatud liuguri abil. Hammasratta teisele poole külge on kinnitatud piiraja, mis tagab liikumise 240 kraadi ulatuses ning sellega tagatakse soovitud liikumisvahemik (sele 6). Sealjuures telje ringliikumine on takistatud ja raskustest tekkivad koormused ei saa mõjuda konstruktsioonile valesti.



Sele 6. Piiraja põhimõtet kirjeldav joonis

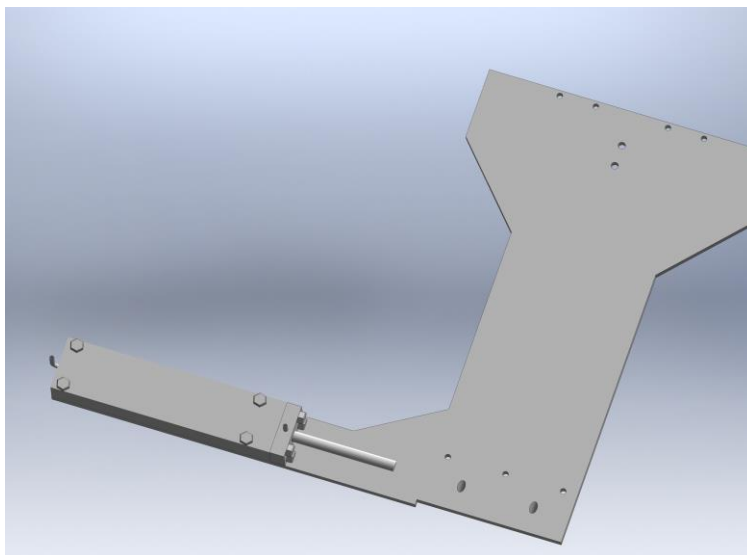
Hammasratta kinnitamiseks tuli projekteerida uue lahendusega võlli, mis tähendas senise ümarvõlli asendamist. Üheks proovitud variandiks oli tekitatud kiilukoht - kiil sidus hammasratta ning rakise. Antud lahendus ei sobinud, sest toote valmistamine oleks osutunud liiga keeruliseks. Lahendusena valmis nelinurkne toode, mille keskmine osa on treitud, ots keermestatud ja väiksem hammasratta poolne ots freesitud nelinurkseks (sele 7).



Sele 7. Võlli kinnitamine hammasrattale

## 2.4. Silindri kinnitamiseks mõeldud disain

Pneumaatiline täitur kinnitub rakise alusplaadile risti rakise pöörlemise detailiga. Oluline on silindri aluse suurus, kuna alus on ühes tükis ning kambri ukse ava mõõtudega 600x600 millimeetrit. Mis tähendab, et komplekteeritud seade mahub kambrisse. Alusplaadil asetsevad neli keermeostatud ava, mille abil positioneeritakse silinder ning ühtlasi jäigalt kinnitatakse (sele 8).



Sele 8. Silindri paigutus alusplaadil

Alusplaadi eesmärk on siduda pneumaatiline silinder rakisega nii, et moodustuks ühine terviklik lahendus. Lisaks muudab ühine alusplaat konstruktsiooni jäigemaks ning stabiilsemaks. Alusplaadina on kasutatud 20 millimeetri paksust ABS lehtmaterjali. Plaadi soovitud kuju saadakse vesilõikuse teel. Alusplaadi tööjoonis on välja toodud lisas 1.

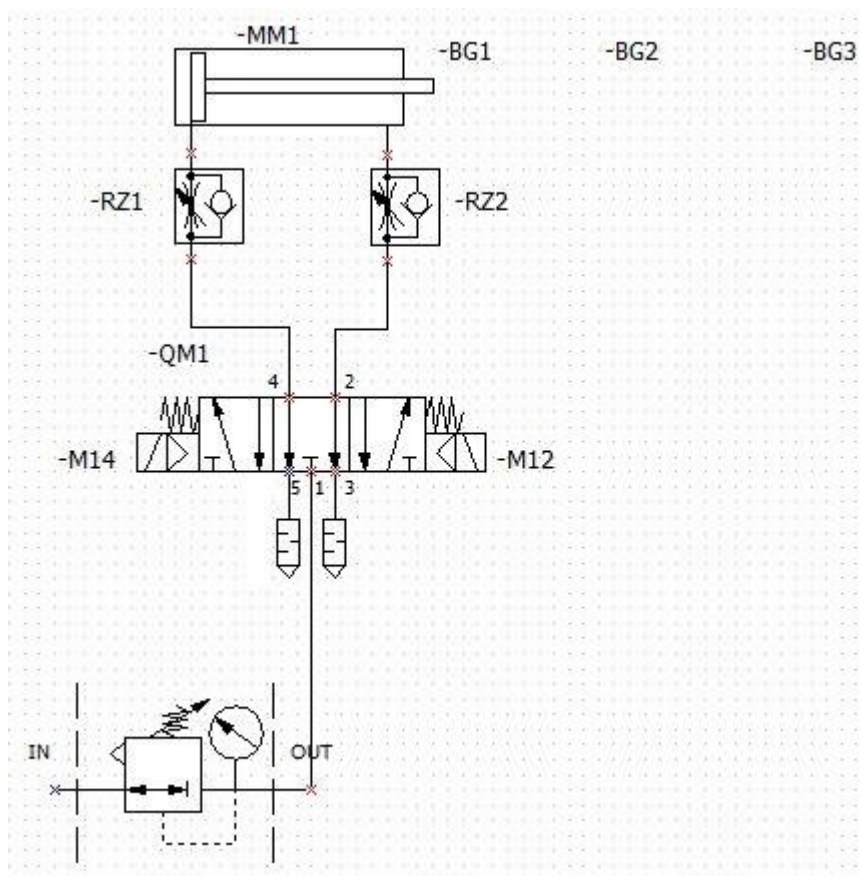
Pneumaatilist silindrit poest osta ei õnnestunud. Turul saadavad variandid on komposiidist kestaga kuid kolb, kolvivars ning kinnitusvahendid on metalsed. Toodetakse küll väiksemaid amortisaatoreid, kuid neil puudub pneumaatiline võimalus ehk antud seade ei pea õhku. Põhjusel, et poodidest projekti tarbeks sobivad detaile leida ei õnnestunud tuli silinder ise disainida. Korpus otsustati teha nelinurksest materjalist, mille sisemine osa freesitakse. Kolvi pinnale treitakse kaks 5 millimeetri laiust soont - ühte tuleb paigutada tihend, teist soont hakkavad tuvastama optilised andurid. Kolb ning kolvi vars seotakse omavahel liimimise teel. Silinder suletakse otsakatte abil nelja nailonpoldiga. Pneumosilindri detaile puudutavad tööjoonised on toodud lisades 2, 3, 4.

Hammasratta ning hammasvöö disainimisel peeti silmas detaili lihtsust. Mõeldi, et hammasrattad saaks lõigata lehtmaterjalist ning puuduks keerulisemad nurgad ja faasid. Toorikute lõikamiseks vesilõikuse abil üritati hammaste projekteerimisel kaldeid mitte kasutada. Hammasvöö otsapinna sisse on puuritud ava, kuhu liimitakse kolvivars. Hammaslati ja hammasratta tööjoonisega saab tutvuda lisas 5.



### 3. PNEUMAATILINE KONTSEPTSIOON

Seade koosneb ühest kahepoolse toimega silindrist. Liikumine on kontrollitav, mis arvestab tagasisidet optilistel sensoritelt. Kasutatakse kolme optilist sensorit, mis on kinnitatud silindri korpuse külge. Süsteemis on tarvilusel 5/3 suunaventiil, mille keskasend on ühendatud tühjendavasse olekusse. Antud ventiil valiti põhjusel, et keskasendis oleks rakise asukoht manuaalset liigutatav. Suunaventiil on elektriliselt juhitav, mis tähendab kahe solenoidi olemasolu. Solenoidid saavad signaali kontrollierist, kus otsustatakse millisesse suunda silinder liigub. Aktiveerides -M14 solenoid, toimub silindri liikumine positiivses suunas, kui solenoid -M12 aktiveeritakse, liigub silinder negatiivses suunas. Silindri sisend ja väljund porti on ühendatud vastuklapiga drosselid. Drosselid on paigaldatud nii, et kolvivarre liikumise kiirust ning kolvivarre sisseliikumise kiirust reguleeritakse. Töös kasutatav pneumaatiline skeem on toodud all oleval joonisel (sele 9).



Sele 9. Pneumaatiline skeem silindri juhtimiseks

Süsteemis kasutatavad pneumaatilised elemendid

- Silinder
- 5/3 suunaventiil VUVG-B18-P53E-ZT-F-1R8L [12]
- Vastuklapiga drossel 2 x LR-1/4-QS-8 [13]

### 3.1. Silindri mõõtmete valik

Silindri pikkus on tingitud võlli pöörlemisest ning hammasratta suurusest, ehk ühe käigu pikkus on 125,7 millimeetrit. Arvestades, et silindri koja pikkus sõltub kolvi ning kolvivarre kinnitamise lahendusest, siis antud lahenduse korral peab silindri pikkus olema 324 millimeetrit.

Silindri jõu arvutamiseks tuleb arvestada Tallinna Tehnikaülikooli suruõhu trassi maksimaalse rõhuga, milleks on 8-10 bar. Konstruktsiooni arvestades, oletatakse silindri kolvi läbimõõduks 40 millimeetrit. Teada olevate andmete põhjal on võimalik leida tekitatav jõud järgneva valemi (3.1), [14] abil.

$$F = p A = p \pi d^2 / 4 , \quad (3.1)$$

kus  $F$  - jõud, N,

$p$  - rõhk, Pa,

$A$  - kolvi suurem pindala,  $m^2$ ,

$d$  - kolvi diameeter, m.

Arvutustes tuleb jälgida kolvivarre poolset diameetrit, mis on 15 millimeetri võrra väiksem ehk 25 millimeetrit. Kasutades valemit (3.1) saab arvutada jõu suurust mida tekitab silinder miinussuunalisel liikumisel. Negatiivsel liikumisel  $F = p A = p \pi d^2 / 4 = 491$  N ja positiivsel liikumisel  $F = p A = p \pi d^2 / 4 = 1257$  N.

Seega jõud 1257N mida tekitatakse silindri positiivsel liikumisel on ühtlasi maksimaalne jõud mida saavutatakse antud silindriga. Arvestades maksimaalset liigutatavat raskust 30 kilogrammi ning liikumisel tekkivat hõõrdejõudu, väänet ning varutegurit, peaks piisama 50 kilogrammisest silindri jõust.

### 3.2. Andurite ja läbiviikude paigutus silindri korpuses

Optilised andurid kinnitatakse silindri korpuse külge. Üks ava paikneb silindri alguses, teine silindri keskel ning kolmas lõpus. Kolvi keskele on tehtud kindla sügavuse ja laiusga pilu, mille sisse suunatakse andurist valgus. Valguse peegeldumisega pilust saab kindlaks teha soovitud objekti olemasolu. Silindri korpuses olev ava on keermestatud ning optilise anduri keere sobitub avaga. Anduri kinnitamine tihendatakse keermeliimi abil.

Läbiviigud asetsevad silindri alguses ning silindri lõpus. Portide kaudu liigub suruõhk silindri korpusesse, mille abil liigutakse seal lineaarselt kolbi. Pordid kinnituvad korpuse külge samamoodi nagu optilised andurid. Tihendamiseks kasutatakse keermeliimi.

## 4. ELEKTROONILINE KONTSEPTSIOON JA LAHENDUS

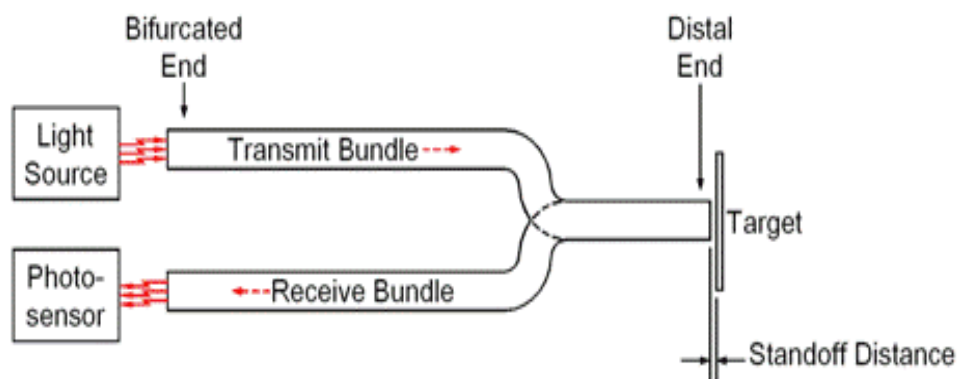
Elektrisüsteemide eesmärgiks on valmistada toimiv süsteem pneumaatilise silindri asendi määramiseks. Ülesande teeb keeruliseks asjaolu, et kasutada ei tohi metallseid osasid. Arvestades viimast, langeb magnetandurite kasutamine silindris välja.

Lisaks peab juhtelektroonika asuma kambrist väljaspool, kus antakse käsklused ning sisendid pneumaatilistele täituritele. Pneumaatilise silindri külge kinnitub kolm anduri: üks andur algusesse ja teine lõppu; kolmas keskele, mis kontrollib keskmist positsiooni. Ühtlasi on keskmine positsioon null positsioon, mis tähendab algseadet.

### 4.1. Komponentide valik

Komponentide valikul peeti silmas vastavust ülesande püstitusele. Kasutama peab optilisi andureid. Turul müüdavate andurite kinnitusi on erinevaid, kõige sobilikum on keermestatud andur, mille saab kergelt silindri külge kruvida. Tähtis on, et anduri ots ei sisaldaks metallseid osasid, oleks uudne, kompaktne ning vähemalt kolme meetri pikkune koos elastse valguskaabliga. Andurile määras töö autor 10 millimeetri suuruse piirangu.

Andurite valikul tuli mõelda lahenduste peale mis ei sisaldaks metalloosid ning valitud said fiiber optilised lahendused. Anduri taga on valguskaabel mille abil saab anduriga suhelda väljaspool kambrist. Optiline lahendus fiiber juhtmes, mis koosneb valgusallikast ning foto sensorist. Fiiber kaablis on kaks nii-öelda toru milles valgusallikas edastatakse kimbu kogumiga sihtmärgile (sele 10). Teises fiibri kanalis liigub sihtmärgilt peegeldunud valgus foto sensorini. Infot töödeldakse kambrist väljaspool ning saadakse teada soovitud objekti asukoht [15].



Sele 10. Optiline fiiber sensori skeem [15]

Mooduli valikul peeti silmas kompaktsust. Tegemist on seadmega mis tekitab valgusallika ning enkooderiga, mis võtab vastu tuleva signaali (sele 11). Antud signaali saab kasutada pneumaatilistes täiturites. Moodul asetseb kambri väljaspool. Seade suudab signaali kanda kuni 3000 meetri kaugusele [16].



Sele 11. Optilise signaali moodul [16]

Mooduli parameetrid [16]

- Nelja kanaliga, signaali liikumise kiirus kuni 2 Mbit/s
- Maksimaalne sagedus 1MHz
- Mooduli toitepinge 5 VDC või 10-30 VDC
- Sobitub kõikide optiliste anduritega

Nupud valiti tööpinge järgi. Valituks osutusid seadmed, mis tarbivad 12-24 VDC ning kinnituselt oleksid ümarad 10 millimeetrise diameetriga .

LED märgutulede valik tehti samadel tingimustel nagu nuppude valik. Oluline on sisendpinge ning kinnitamise võimalus elektroonika karbi kaanele. Töö autor pidas vajalikuks, et lamp oleks piisavalt valge valgustatud ruumis, kuid samas ei oleks liialt ere pimestamaks töökohta.

Elektroonika karbi valik sooritatakse poes, kus näeb täpselt ära kuidas paigutada antud komponendid nagu kontrollid ning ühendused. Lisaks saab ühte karpi asetada elektroonilise suunaventiili ning drosselid. Kilbi materjaliks võiks olla plastmass, mis teeb seadmete paigaldamise

lihtsaks ning esipaneelile saab teha vajalikud väljaviigud nuppudele, LED tuledele. Drosselite reguleerimise saab tuua samuti paneelile. Tagumisele küljele tehakse avad optiliste kaablite, kontrolleri toite ning suruõhu jaoks.

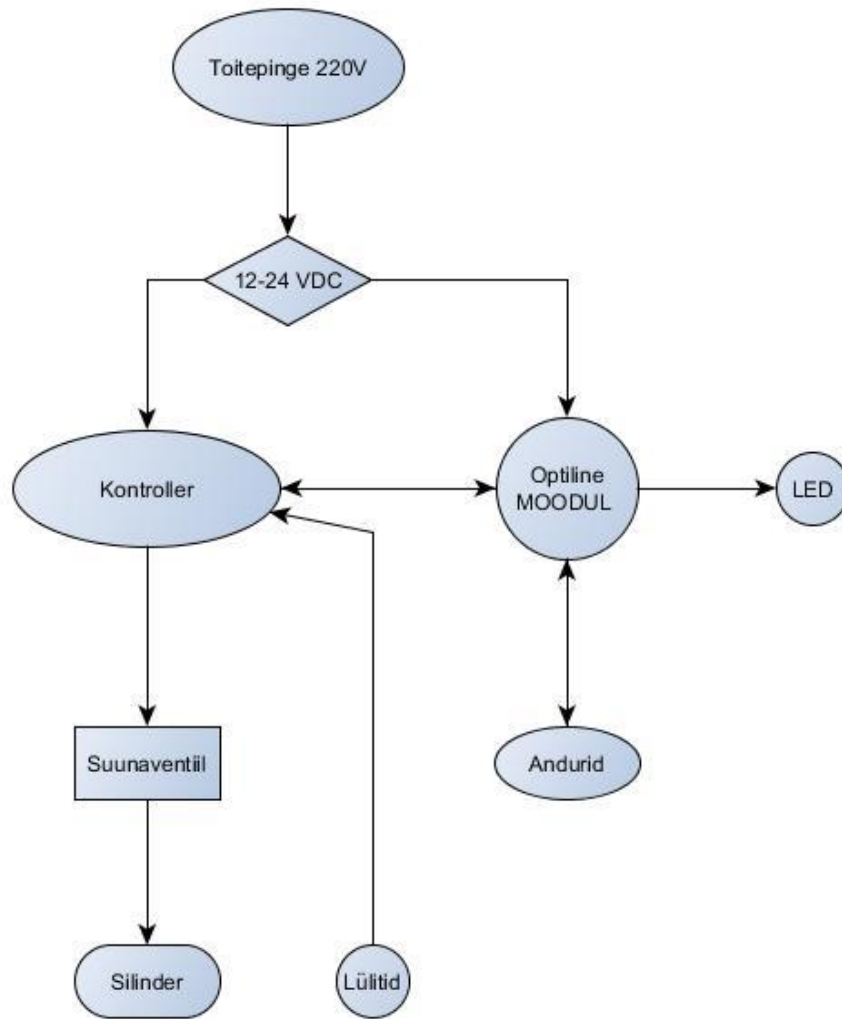
Toiteploki valikul tuleb silmas pidada kasutatavat voolu. Antud süsteemis on 12-24 VDC alalisvool. Plokk on valitud selliselt, et oleks võimalik reguleerida soovitatavat pinget. Silmas tuleb pidada, et suurema toiteploki valimine tagab toiteploki jahedama töötamise ning sellega suureneb seadme eluiga [17].

Toiteploki parameetrid [17]

- Mõõdud 111x78x37
- Kaal 0,4 kg
- Väljundpinge 12-24VDC
- Võimsus 15-500W
- Sisendpinge 220V

## 4.2. Elektrisüsteemi põhimõtteline lahendus

Automatiseeritud manipulaator rakise põhikomponentideks on toiteallikas, kontrolleri, optiline moodul, suunaventiil ning optilised fiiber andurid. Kontrolleriina on kasutatud ostutoodet ALPHA2. Tegemist kõik ühes seadmega, millel on kasutajaliides, display, analoog sisend, taimerid, loendurid ja SMS võimalused [2]. Kasutatakse toiteallikat sisendpingega 220 V, mis edasi muundatakse 12 V ning 24 V alalisvooluks. Optiline moodul ning kontrolleri töötab alalisvoolu pealt. Suunaventiil kasutab oma tööks 12 V pinget, mis saadakse kontrolleri väljundist. Pidev suhtluskanal on avatud optilise mooduli ning kontrolleri vahel. Lülitamisel võetakse arvesse andurite tagasisidet ning antakse käsklused kontrolleriisse, mis otsustab edasised toimingud. Elektriskeemi põhimõtteline lahendus on näha all oleval joonisel (sele 12).



Sele 12. Automaatse ortogonaalse manipulaator rakise põhimõtteline elektriskeem

## 5. JUHTIMISE KONTSEPTSIOON JA LAHENDUS

Pneumaatilise silindri juhtimine käib nuppude abil. Paneelil saab valida kolme asendit: silindri positiivne asend, silindri negatiivne asend ning keskmine asend. Ühtlasi on keskmine asend null asend. Paneelil on lisaks 3 LED lampi, mis näitavad silindri asendi olekut. Esimene tuli näitab silindri negatiivset asendit, teine tuli näitab silindri keskmist asendit ning kolmas silindri positiivset asendit. Silindri juhtimist kontrollitakse optiliste fiiber andurite abil.

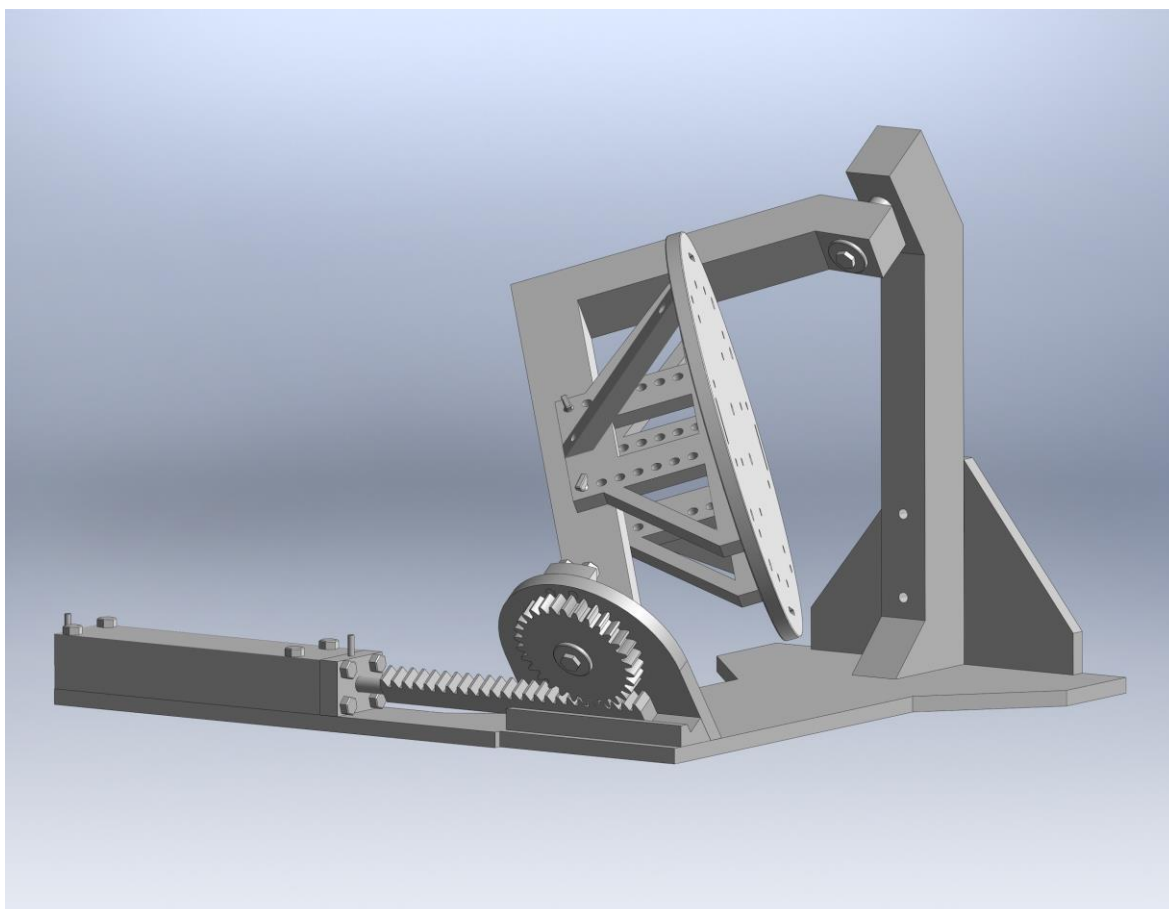
### 5.1 Programmi detailsem kirjeldus

Pneumaatilise silindri juhtimiseks otsustati kasutada Mitsubishi Electric programmeerimise Alpha tarkvara. Alpha programming kasutab graafilist lahendust kus põimitakse funktsionaalsed plokid kasutajaliidest, displayde ning sms-sõnumitega [18]. Antud valik sai tehtud seetõttu, et programmi kasutajaliides on hästi üles ehitatud ning õppetöös tehti antud programmiga tutvust, mis hõlbustas programmi kasutamist ja simulatsiooni. Lisaks hoitakse ära kulud kontrolleri hankimiseks, kuna koolil on olemas vajaminev Mitsubishi seade.

Kontrolleril on kasutajaliides mille kaudu saab kuvada väärtusi ning nuppude osa, mida saame vajadusel kasutada lisa seadetek. Kood on koostatud Alpha programmi keskkonnas. Kontrolleril on aktiveeritud 6 sisendit. Kolme kaudu võetakse infot optilistelt anduritelt ning teiste kaudu annab kasutaja teada millist käsklust soovib edastada. Seadmel on 5 väljundit: kolm neist on LED märgutuled, mis näitavad kasutajale kolvi asukohta ning kaks neist saadavad vastava lülitustest tekkiva signaali suunaventilile. Ventiiil võtab infot optilise sensori moodulist ning arvestab nupulevajutust. Programmi kirjeldav kood on välja toodud lisa 6.

## 6. PROJEKTI KOMPLEKTEERITUD KOOST

Seadme lõplikuks tööks on rakis, mis varustatud pneumaatilise silindri, ülekande ning vajaminevate anduritega. Antud seadmed asetsevad kambri sees. GTEM seadmest väljaspool, kambri vahetus läheduses, paikneb elektrikiip mille peal on kasutajaliides nuppude ning märgutuledega. Kasti sisse paigutatakse elektrooniline juhtimine, kontrollid, optiline moodul, suunaventiil, drosselid ning toiteplokk. Komplekteeritud koostu joonis on näha all oleval pildil, joonisel ei kajastata elektroonilisi tarvikuid (sele 13).



Sele 13. Komplekteeritud koost

Tulevikus võiks antud rakisele lisada kasutajaliidese kust kasutaja saab valida tsükli, et telgede liikumine toimuks mingi kindlaks määratud aja tagant. Näiteks saab kasutaja valida paneelilt kui pika aja möödudes telge liigutakse. Kindluse ja turvalisuse huvides võiks liikuvad osad ning andurid kaitsta vastavate katetega. Seadme paremaks tööks võiks lisada süsteemile rõhureleed. Viimased oleks paigutatud sarnaselt nagu drosselklapp ühendatud. Rõhurelee kontrolliks silindrisse minevaid ning väljuvaid rõhkusid. Kasutajale kuvades saadakse teada toote korrektne töö. Lisaks teeks antud lahendus vigade otsimise lihtsamaks.



## 7. MAJANDUSLIKUD- JA OHUTEGURID

Lõplik lahendus on disainitud vastavalt, et mehaanilised detailid oleksid paigutatud alusplaadi külge. Märksõnadeks võib seada kompaktsus, kuluosade lihtne vahetamine ning hooldamine. Lahendusel on tähelepanu pööratud lihtsale komplekteerimisele ja seadmete eemaldamisele kambrist.

Majanduslikele teguritele on mõeldud projekti algfaasist alates. Materjalide valikul on silmas peetud, et võimalikult palju detaile valmistataks ühest toorikust - nii hoitakse kokku ülejääkide teket. Elektrooniliste seadmete valimisel on lähtutud põhimõttest, et oleks kasutusel 12-24V pealt töötavad seadmed. Projekti valmimisel hoitakse kokku tööjõu pealt - senise töö teeb ära projekteeritud innovatiivne seade. Hilisem seadistamine ning kalibreerimine ei ole vajalik põhjusel, et kogu töö teeb ära juhtloogika.

Ohutegureid sellise konstruktsiooni korral on mitmeid: näiteks lahtised liigendid, hammasrattad ning pneumaatilise silindri liikumise kiirus ja jõud. Antud töös ei ole tähelepanu vaja pöörata ülekandele ning mehhanismi poolt tekitavatele ohuteguritele, sest seade asub kambris, mis on uksega suletud. Oluline on silmas pidada kambrist väljaspool asuvaid juhtelektroonikast tingitud tegureid.

Järgnevalt tuuakse välja rakisega seonduvad ohutegurid

- Pneumaatilised seadmed, nagu näiteks suunaventiil ning drosselklapid. Juhtimisseadmed on ühendatud ühtsesse suruõhu trassi, milles olev suruõhk on kuni 10 bari.
- Liikuvad ülekandesüsteemid, mis asuvad kaitsvas kambris, kuid ülekande liigutamisel ja tõstmisel ei oleks käed liikuvate detailide vahel.
- Ühendused ja elektroonika on ühtses kabis ning kaitsstud keskkonna eest.
- Elektroonikast tingitud elektrilöögi oht.

## 8. PROJEKTI HINNAKALKULATSIOON

Autor ei seadnud projektile hinnapiiranguid. Kasutati võimalikult palju uudset, innovatiivset, ent püsivat lähenemist. Kõige kulukamateks lahendusteks osutusid juhtseadmed ning optilised sensorid. Projekteerimise ideeetapis sai välditud erineva paksusega detailide kasutamist ja freesimist – kasutati vesilõikust ning toorikuks lehtmaterjalist ABSi. Paraku selgus, et silindri valmistamisel selline lähenemine ei sobi. Nimelt on silindri korpuse liialt keerulise disainiga, mis teeb vesilõikuse kasutamise võimatuks. Antud detaili valmistamiseks sobib ainult freesimine.

Silindri, hammasratta, hammasvöö ning seadmete hinnad on toodud all olevas tabelis 2. Tabel ei kajasta tööjõukulu ning lõiketöölusel tekkivaid väljaminekuid.

Märkus. Tabelisse ei ole märgitud Tallinna Tehnikaülikoolist saadavaid seadmeid ning materjale.

Tabel 2. Juhtmehaanika ja elektroonika kulud

Toode	Kogus (tk)	Hind (€)	Summa (€)
ABS lehtmaterjal 20x1000x2000	1	69,20	69,20
ABS nelikantmaterjal 60x60x400	1	72,80	72,80
Optiline sensor	3	90,84	272,52
Nailon poldid	10	0,85	8,50
Nailon mutrid	8	0,25	2,00
Drosselklapp	2	15,25	30,50
5/3 suunaventii	1	35,80	35,80
LED märgutuli	3	0,50	1,50
Vajutatav nupp ilma fikseeringuta	3	2,00	6,00
Nailon seib	1	0,40	0,40
Kapron lehtmaterjal paksusega 20x1000x2000	1	140,25	140,25
Toiteplokk	1	38,80	38,80
Liimid ja ettenägematud kulud	1	100	100
		<b>KOKKU</b>	<b>778,27</b>

Ennenägematud kulud võtavad arvesse ehituse käigus tekkivaid lisakulutusi, mida ei osatud ette näha projekteerides.

## KOKKUVÕTE

Bakalaureusetöö teema “GTEM kambri manipulaator rakise automatiseerimine” pakuti välja Tallinna Tehnikaülikooli poolt. Töö eesmärk oli luua seade, mille abil saaks tulevikus senisest lihtsamini teostada möötmisi GTEM kambris. Ülikoolipoolseks juhendajaks oli töö autorile elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi nooremteadur Marek Jarkovoi. Uurimuses käsitletava manipulaatorrakise ideed arendas üliõpilane Andres Kirsipuu.

Lõputöö esimeses etapis uuris autor juba olemasolevaid lahendusi saamaks ülevaadet ning ideid automatiseeritud rakise valmistamiseks. Lisaks kujunes kavand, milline võiks eelmainitud seadeldis välja näha.

Teises etapis koostati seadmele virtuaalne mudel kinnitamaks osade sobivust ning tööpõhimõtteid. Projekteerides selgus ülekande suurus ning pneumaatilise silindri paigutus. Rakise liigutamiseks otsustati kasutada pneumaatilist lahendust ning asendi kindlaks määramiseks optilist tagasisidet. Optiliste andurite moodulitega sobitamine oli uudne, selgeks tuli teha kõik parameetrid ja tähistused.

Kolmandaks tehti pneumaatilise osa jaoks arvutused, mille abil oli võimalik määrata vajaliku silindri suurust liigutamaks ülekannet. Lisaks oli oluline formeerida mis kontrollib silindri asendit. Algselt oli plaanis kasutada lasereid, mis kontrolliks rakise enda asendit. Töö käigus aga selgus, et kõige parem ja otstarbekam oleks kasutada optilisi sensoreid, mis jälgivad pneumaatilises silindri olekut.

Lõputöö uurimuslik osa osutus edukaks. Saadi valmis lahendus, mis teoreetiliselt töötab. Kindlasti on plaan projekt peale kaitsmist reaalset valmis teha, sest teaduskonnal on hädasti antud seadet vaja. Sedasi saab kinnistada omandatud teadmisi ning sooritada katsetused, et tuvastada võimalikud puudujäägid ning sooritada täiustused. Seejärel saab katsetada seadet kambris, juhtloogika toimimist reaalsetes elus.

Algselt püstitatud eesmärkidest suudeti saavutada mõlemad osad - nii kaugjuhtimine milleks kasutati pneumaatilist lähenemist ning projekteeritud optiline tagasiside. Töö autor leiab, et lõputöö raames sai manipulaatorrakise automatiseeritud ning muudetud, et kasutajad saaksid hõlpsamini kasutada seadet.

Projektist kujunes autorile huvitav ja väljakutsuv uurimistöö, mille koostamisel kasutas tudeng ülikoolis ning praktikumides õpitut. Tekkisid seosed läbitud ainete vahel ning arenes oskus planeerida aega. Väljakutseid pakkus ka elektroonilise loogikaga tutvumine. Raskeks osutusid töö seadmisel uudsete ja adekvaatsete materjalide selekteerimine ebausaldusväärsete allikate seast ning võõrkeelsete kirjutiste tõlkimine.

## SUMMARY

The bachelor's degree thesis „GTEM Chamber Manipulator of Rack Automation“ was suggested by the Tallinn University of Technology. The objective of this research was to develop a device, which in the future would provide a more optimal way to perform measurements in the GTEM chamber. The instructor for the author of this research was the university's junior researcher of the electroenergetics and mechatronics institute Andres Kirsipuu.

In the first part of the thesis the author researched solutions that already existed to acquire an overview of the possible solutions and to gather ideas to develop an automated rack. In the second part a virtual model was made of the device to confirm the compatibility of the parts and the principles of its operation. During the design process the relay size and positioning of the pneumatic cylinder became clear. A pneumatic solution was used to ensure the movement of the rack and optic feedback was used to determine the position. The adjustment of the optic sensors in accordance to the modules was new so the parameters and indications had to be made clear.

For the third part calculations were made for the pneumatic part, which enabled to calculate the necessary size of the cylinder which would insure the relay movement. In addition to that it was important to form what would control the position of the cylinder. Originally lasers were planned to be used to control the position of the rack itself. It was revealed during the work that the best and most efficient thing would be to use optic sensors, which monitor the state of the pneumatic cylinder.

The research part of the thesis turned out to be successful. A solution was found that in theory works. A plan is in place to realize the project after the thesis has been defended, as the faculty is in need of this device. This will be a way to embed the acquired knowledge and perform experiments to work out any shortfalls and correct them. After that the device can be tested in the chamber to figure out its control mechanism in reality.

The objectives that were set originally were met – remote controlling for which the pneumatic approach was used and projected optic feedback. The author of the thesis finds that during the research the manipulator rack was automated and modified so it could be used more efficiently.

The project turned out to be very interesting and challenging for the author, for which knowledge acquired at the university was used as a base. Subjects that were studied at the university started to form a bigger picture and the author's timeplanning skills very greatly improved. Studying electrical logic also gave challenges that needed to be overcome. The most difficult part during the project was to differentiate trustworthy sources from untrustworthy ones and to translate the materials written in a foreign language.

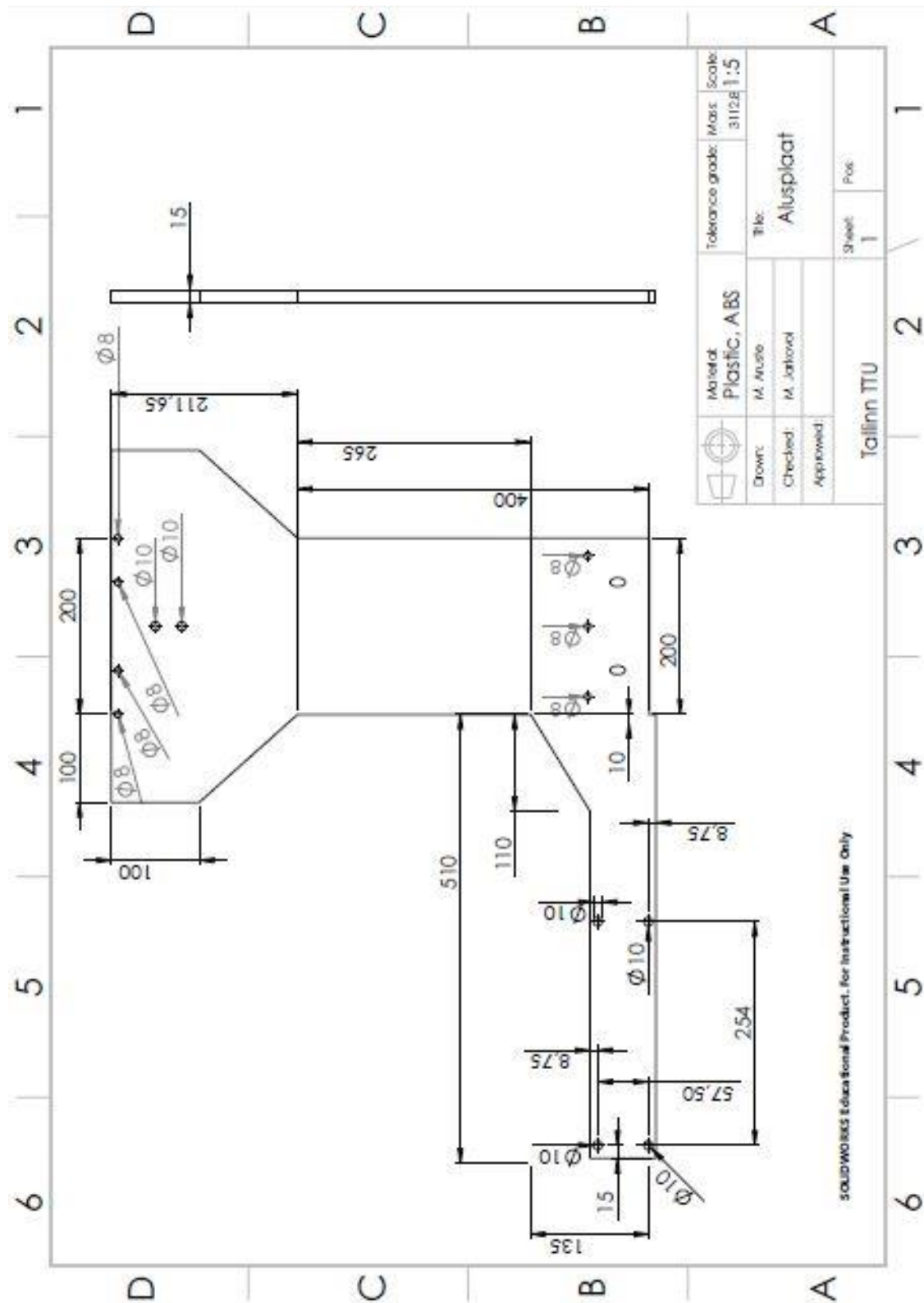
## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] SolidWorks Premium kodulehekülg [WWW]  
<https://www.solidworks.com/sw/products/3d-cad/solidworks-premium.htm> (15.05.2017).
- [2] Mitsubishi Electric kodulehekülg [WWW]  
<https://gb3a.mitsubishielectric.com/fa/en/> (15.05.2017).
- [3] Ets-Lindgren kodulehekülg [WWW]  
<http://www.ets-lindgren.com/datasheets> (20.05.2017).
- [4] Teseq kodulehekülg, GTEM cell [WWW]  
<http://www.teseq.com/product-categories/gtem-cells-tem-cells.php> (20.05.2017).
- [5] Studylibrary datasheets [WWW]  
<http://studylib.net/catalog/Engineering+%26+Technology> (20.05.2017).
- [6] Teseq kodulehekülg [WWW]  
[http://www.teseq.com/products/accessories/MPH\\_MPC.php](http://www.teseq.com/products/accessories/MPH_MPC.php) (15.05.2017).
- [7] High Strength Composites [WWW]  
<http://www.mech.utah.edu/~rusmeeha/labNotes/composites.html> (15.05.2017).
- [8] Proplastik kodulehekülg [WWW]  
<http://proplastik.ee/toostusplast/poluamiid/> (15.05.2017).
- [9] PlasticsEurope, POM [WWW]  
<http://www.plasticseurope.org/what-is-plastic/types-of-plastics-11148/engineering-plastics/pom.aspx> (15.05.2017).
- [10] Plastics International, ABS [WWW]  
<http://www.plasticsintl.com/abs.htm> (15.05.2017).
- [11] Eastern Seals kodulehekülg [WWW]  
<http://www.easternseals.co.uk/seals-for-motorcycles/> (15.05.2017).
- [12] Festo kodulehekülg [WWW]  
[https://www.festo.com/cat/et\\_ee/products\\_VUVG-B18-P53E-ZT-F-1R8L](https://www.festo.com/cat/et_ee/products_VUVG-B18-P53E-ZT-F-1R8L) (22.05.2017).

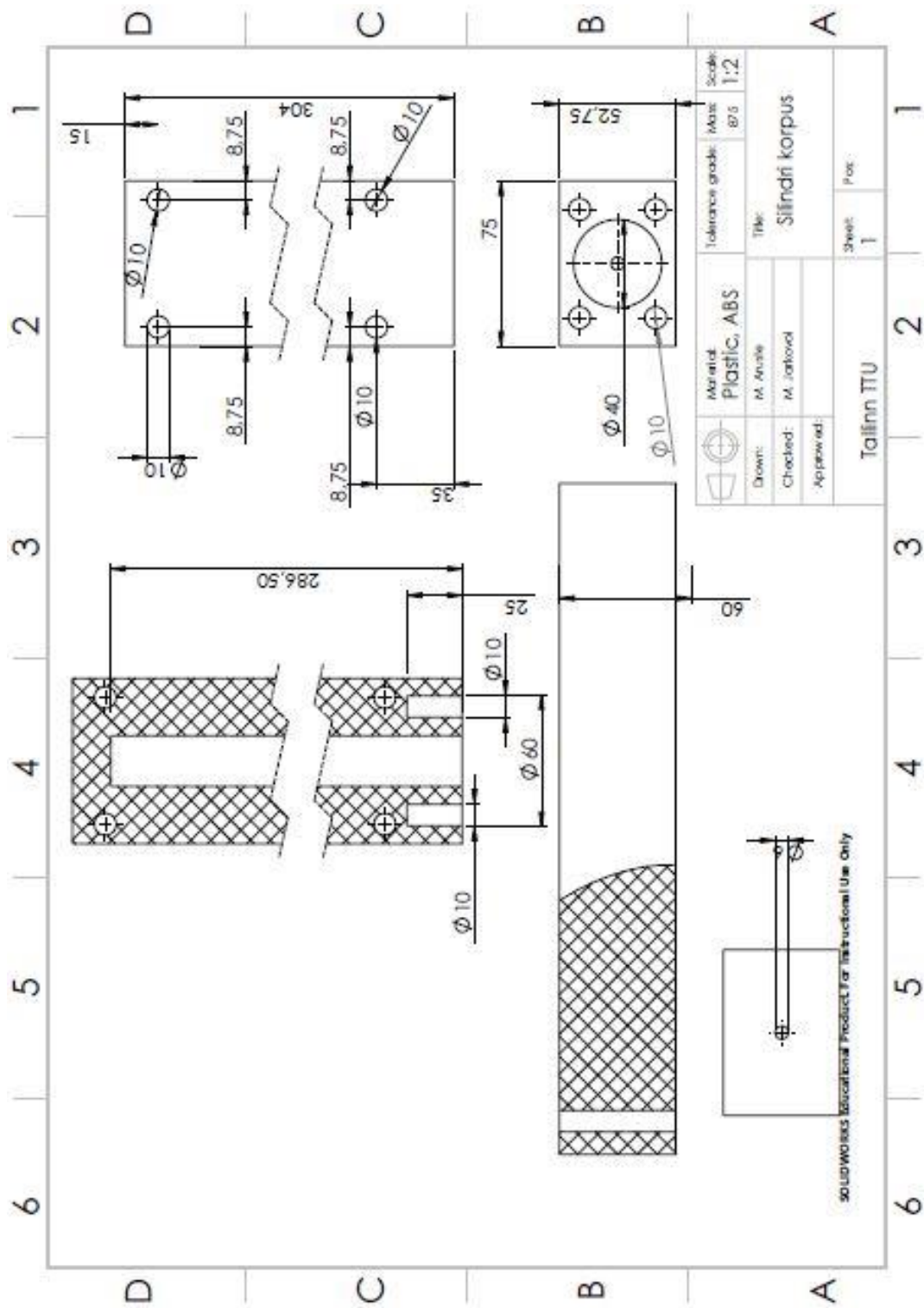
- [13] Festo kodulehekülg [WWW]  
[https://www.festo.com/cat/et\\_ee/products\\_LR\\_LRMA](https://www.festo.com/cat/et_ee/products_LR_LRMA) (22.05.2017).
- [14] The Engineering ToolBox kodulehekülg pneumaatiliste väärtuste arvutamiseks [WWW]  
[http://www.engineeringtoolbox.com/pneumatic-cylinder-force-d\\_1273.html](http://www.engineeringtoolbox.com/pneumatic-cylinder-force-d_1273.html) (21.05.2017).
- [15] MTI Instruments kodulehekülg [WWW]  
<http://www.mtiinstruments.com/technology-principles/fiber-optic-sensors> (15.05.2017).
- [16] Direct Industry kodulehekülg [WWW]  
<http://www.directindustry.com/prod/motrona/product-27699-1279961.html> (15.05.2017).
- [17] LEDlamp kodulehekülg [WWW]  
<http://www.ledlamp.ee/led-valgustus/toiteplokid.html> (20.05.2017).
- [18] Programmeeritavad kontrollid kodulehekülg [WWW]  
[http://reinpx.wix.com/rp3#!\\_\\_plc](http://reinpx.wix.com/rp3#!__plc) (20.05.2017).

# LISAD

## Lisa 1: Alusplaadi tööjoonis



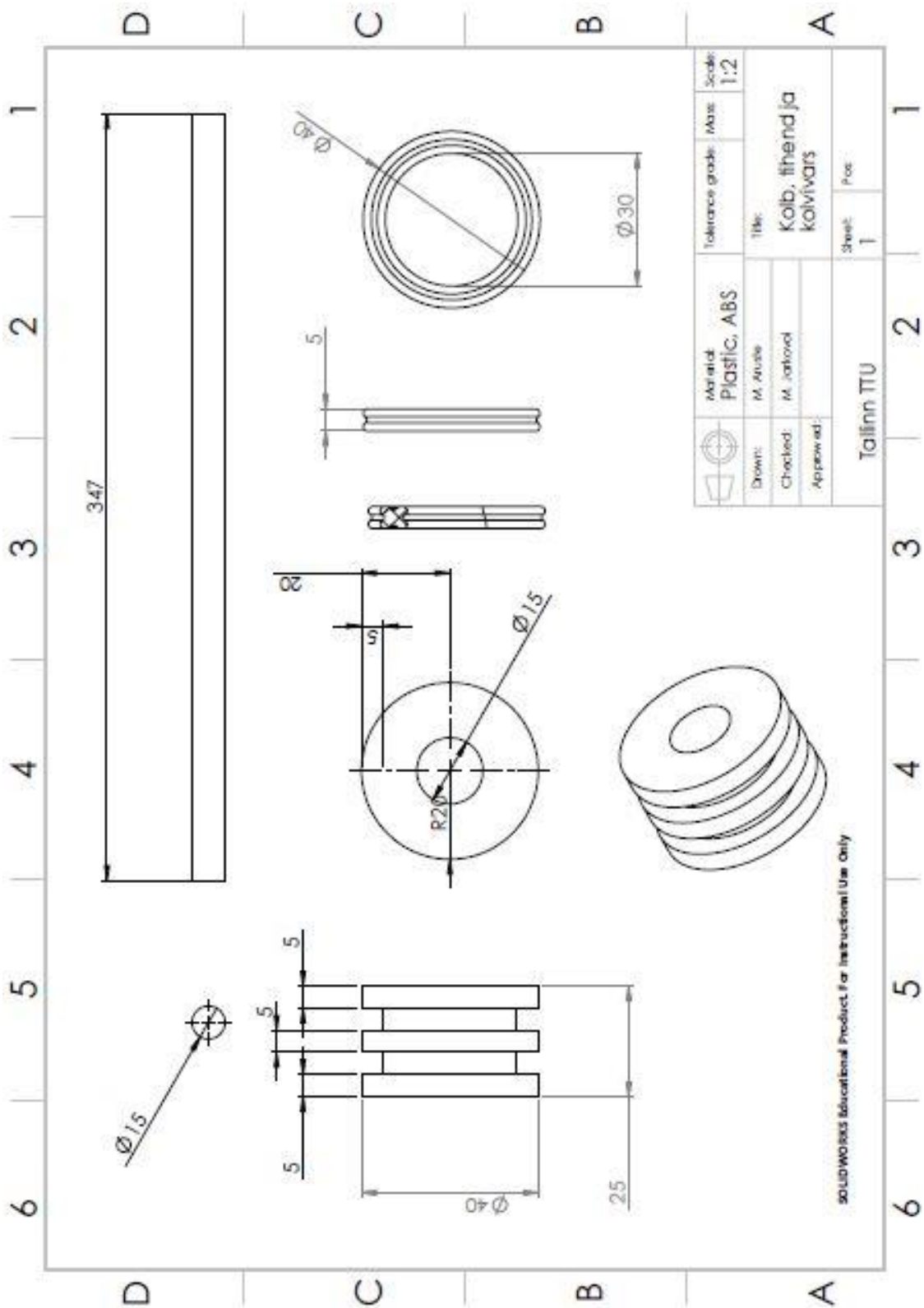
## Lisa 2: Silindri korpuse tööjoonis



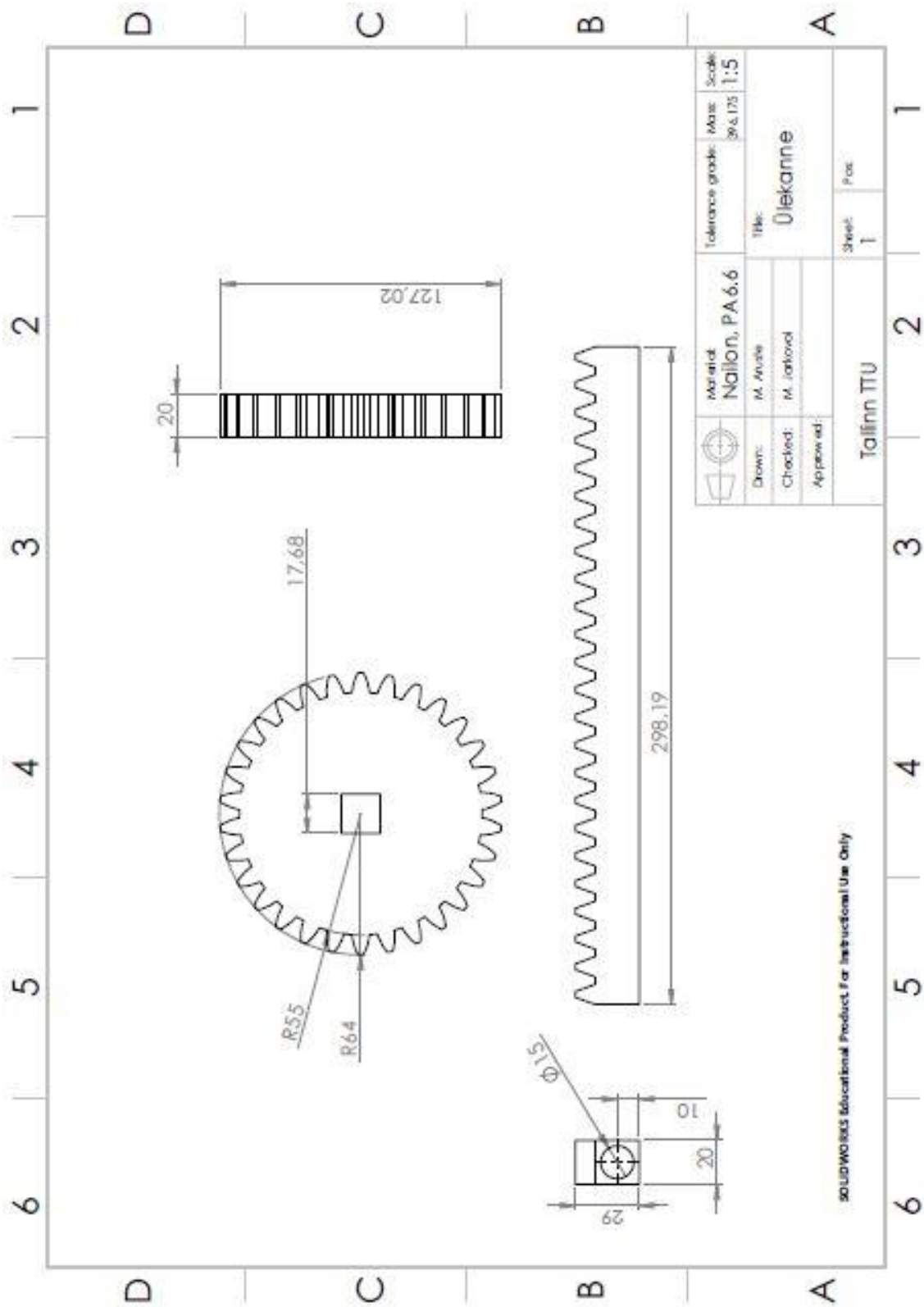




Lisa 4: Kolvi, tihendi ja kolvivarre ühine tööjoonis



# Lisa 5: Ülekande tööjoonis



## Lisa 6: Programmi kirjeldav kood

