



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
MEHAANIKATEADUSKOND

Mehhatroonikainstituut

Mehhatroonikasüsteemide õppetool

MHE40LT

*Margus Teearu*

**Kompaktne 3-teljeline robotkäsi/mänguasi**  
Bakalaureusetöö

Autor taotleb  
tehnikateaduste bakalaureuse  
akadeemilist kraadi

Tallinn  
2015

## **Autorideklaratsioon**

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus.

Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Töös kasutatud kõik teiste autorite materjalid on varustatud vastavate viidetega

Töö valmis Priit Põdra juhendamisel

“ ” mai 2015 a.

Töö autor

Margus Teearu

Töö vastab bakalaureusetööle esitatavatele nõuetele

“ “ mai 2015 a.

Juhendaja

Priit Põdra

Lubatud kaitsmisele.

Õppekava kaitsmiskomisjoni esimees

“ “ mai 2015a.

## **BAKALAUREUSETÖÖ ÜLESANNE**

2015 aasta kevadsemester

Üliõpilane: Margus Teearu 123503MAHB

Õppekava: MAHB02/09

Eriala: Mehhatroonika

Juhendaja: dotsent, Priit Põdra

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

.....

### **BAKALAUREUSETÖÖ TEEMA:**

(eesti keeles) **Kompaktne 3-teljeline robotkäsi/mänguasi**

(inglise keeles) **Compact robotic arm toy with 3-axes**

### **Lõputöös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:**

<b>Nr</b>	<b>Ülesande kirjeldus</b>	<b>Täitmise tähtaeg</b>
<b>1.</b>	Ülesande püstitus. Erinevate tehniliste lahenduste uurimine ja valik.	10.04.2015
<b>2.</b>	Elektroonikakomponentide ja materjali valik.	17.04.2015
<b>3.</b>	Seadme konstrueerimine ja modelleerimine.	30.04.2015
<b>4.</b>	Juhtimiskomponentide valik ja vajalik programmeerimine.	15.05.2015
<b>5.</b>	Töö vormistus, kontrollimine, trükkimine.	21.05.2015

### **Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid:**

Töö eesmärk on luua tehnikahuvilisele inimesele kompaktne 3-teljeline manipulaator, mida saaks juhtida arvuti abiga. Lelu peaks äratama huvi programmeerimise ja robotika vastu. Komponentide ja materjali valikul tuleks arvestada, et seade peaks olema taskukohase hinnaga ja lihtsalt konstrueeritav.

**Täiendavad märkused ja nõuded:** .....

**Töö keel:** eesti

Kaitsmistaoetus esitada hiljemalt 18.05.2015

**Töö esitamise tähtaeg** 22.05.2015

**Üliõpilane** Margus Teearu /allkiri/ kuupäev.....

**Juhendaja** Priit Põdra /allkiri/ kuupäev.....

Konfidentsiaalsusnõuded ja muud ettevõttepoolsed tingimused formuleeritakse pöörde

# Sisukord

Eessõna .....	6
Sissejuhatus .....	7
Põhiosa .....	9
1. Turul pakutavate seadmete analüüs .....	9
1.1. Ühe turul oleva toote analüüs .....	10
2. Juhtseadme ja mootorite valik .....	12
2.1 Juhtseade.....	14
2.2.Mootorid .....	16
2.2.1 Turnigy TGY-4085-1,5PA .....	17
2.2.2 Hobbyking HK15338 .....	18
3. Projekteerimine.....	20
3.1 Mootorite modelleerimine.....	20
3.2 Konstruksiooni loomine .....	21
3.2.1 Roboti aluskorpus .....	22
3.2.2 Mootori M1 korpus .....	23
3.2.3 Mootori M2 ja M3 lüli.....	24
3.2.4 Roboti ülevaade .....	25
3.3 Mootoritele langevate koormuste arvutamine .....	27
3.4 Seadme ohutus.....	30
4. Elektriskeem ja toiteallikas.....	31
4.1 Elektriskeemi koostamine .....	31
4.2 Toiteallika valik.....	32
5. Programmeerimine .....	33
6. Kulude kalkulatsioon .....	35
7. Kokkuvõte .....	36
8.Summary .....	37
Kasutatud kirjandus.....	38
Lisad ja tehnilised joonised.....	41

## Selede ja tabelite loetelu

Tabel 1.1 Erinevate robotite võrdlustabel.....	8
Tabel 1.2 AL5D elektroonikakomponentide tabel.....	9
Sele 1.1 AL5D komponentide asetus ja spetsifikatsioonid.....	10
Sele 2.1 Roboti kinemaatikaskeem.....	11
Tabel 2.1 Leonardo ja Uno võrdlustabel.....	13
Sele 2.2 Arduino Uno.....	14
Tabel 2.2 Valitud mootorite andmed.....	15
Sele 2.3 Turnigy TGY-4085-1,5PA.....	16
Sele 2.4 TGY-4085 mõõtmed.....	16
Sele 2.5 Hobbyking HK15338.....	17
Sele 2.6 HK15338 mõõtmed.....	17
Sele 2.7 Turnigy S901D.....	18
Sele 2.8 S901D mõõtmed.....	18
Sele 3.1. Vasakult: TGY-4805, HK15338 ja S901D.....	19
Sele 3.2. Pikem (üleval) ja lühem (all) jõuõlg.....	20
Sele 3.3. Roboti aluskorpus.....	21
Sele 3.4. Ovaalsed avad võlli korrigeerimiseks.....	22
Sele 3.5. Lüli L1 (üleval) ja L2 (all).....	23
Sele 3.6. Valmis roboti renderdus.....	24
Sele 3.7. Valmis robot vaadatuna ülalt.....	25
Sele 3.8. Jõuõlgade ja koormuste skeem.....	26
Sele 4.1. Mootorite ja Arduino ühendamise skeem.....	29
Sele 4.2. Valitud toiteallikas MW7H50GS.....	30
Sele 5.1 Näidiskood potentsiomeetriga servo juhtimiseks.....	31
Tabel 6.1. Komponentide maksumus.....	33

## **Eessõna**

Käesoleva lõputöö teema arenes välja isiklikust huvist robotmanipulaatorite juhtimise vastu. Kuna selles hinnaklassis ei ole turul kvaliteetseid seadmeid, siis otsustasin luua enda võimalustele vastava seadme ise. Seadme projekteerimine toimus 3D keskkonnas ja põhilised andmed komponentide kohta koguti internetipoodidest.

## Sissejuhatus

Käesoleva töö eesmärgiks oli luua mänguasi, et äratada potentsiaalses noorukis tema insenerihing. Robotmanipulaator on hea näide insenerlikust mõtlemisest ja selliste tehnoloogiate kasutamiste realiseerimisest. Esitledes sellist seadeldist mänguasjana ja näidates, kui lihtne on oma olemuselt üks tööstusrobot, on võimalik äratada paljudes noortes huvi selle eriala vastu.

Olgugi, et turul on saadaval hetkel mitmeid sarnaseid tooteid, on nende suurimaks puuduseks nende kõrge maksumus ja väike tõstevõime. Erinevatest tootjatest väärksid märkimist Lynxmotion, Dagu ja OWI. Olles ise puutunud kokku enne Lynxmotion AL5D robotiga ning uurinud selle konstruktsiooni eripärasid, siis leidsin, et minu robot võiks olla otseseks konkurendiks nimetatud tootele. Sellest tulenevalt seadsin oma robotile kolm põhilist eesmärki:

Manipulaatori kandev konstruktsioon peab olema kodus valmistatav. Seadme projekteerimisel tuleb silmas pidada, et kodukasutajal ei ole võimalik plastmassi vormida või CNC pinki kasutada. Sellest tulenevalt peaks olema 90% mehaanilisest osast tehtav rauasae, viili ja drelliga. Kõige keerulisemad osad antud manipulaatori juures on laagripesad ja üks hammasülekanne, kuid treimisivõimaluse puudumisel võib need asendada lihtsama konstruktsiooniga.

Mänguasja omahind ei tohiks ületada poolt hetkel turul olevate sarnaste omadustega seadmete omast. Oluline on hoida hind all just seetõttu, et ei tekiks kartust seadme võimekuse proovile panemise ees. Kõige rohkem on võimalik õppida kogemustest ja sedasi katsetades on väga hästi näha, kuidas mingi komponent reageerib koormusele. Kui kasutaja huvitub piisavalt piiride kompamisest ja seadme proovile panemisest, siis on üsna tõenäoline, et ta märkab ka viise, kuidas midagi paremaks ja võimekamaks muuta.

Võimalus kasutada erinevaid otsikuid ja vahendeid manipulaatori haaratsina või haaratsi asemel. Täpselt nagu odav hind on julgustustuseks katsetamise ees, on ka vabadus luua oma tööriistu hea viis mõjutada kasutajat looma midagi ise.

Töö algab turuseisu uurimisega. Mis on saadaval, mis on võimalused ja mis on orienteeruv hinnaklass sellistel seadmetel. Analüüsides ühte toodet lähemalt, on võimalus vaadelda, millele on põhiline rõhk pandud seadme valmistamise juures ja mille arvelt saaks seda projekti odavamaks teha.

Teiseks on projektile mootorite ja juhtseadmete valik. Mootorite valikul tuleb pöörata tähelepanu mootori hinna ja omaduste suhtele. Oluline on lugeda kasutajate tagasisidet konkreetse mudeli kohta ning valida sobiv mootor iga liigendi jaoks.

Järgmine etapp on luua või otsida internetist valitud mootorite 3D mudelid. Nende mudelite alusel saab hiljem projekteerida roboti konstruktsiooni. Kuna poest tuleb pea kõikide mootoritega kaasa otsikuid võllidele, siis tuleb ka need modelleerida.

Põhiline töö maht on konstruktsiooni välja töötamisel. Tuleb arvestada materjali valikuga, mootorite dimensioonidega ning ka liikumise kinemaatikaga. Koostamisel peab olema loogiline järjekord ja kinnitusvahendid ei tohiks väga varieeruda terve koostu lõikes.

Viimane suurem osa on kogu elektroonika juhtimine. Mootrite ja juhtseadmete vahele tuleb luua ühendus. Tuleb valida mootoritele piisav toiteallikas ning juba mõne rea koodi ja potentsiomeetriga on võimalik robotit juhtima hakata.

Enamus projektist on tehtud 3D keskkonnas SolidWorks 2014. Samas keskkonnas on koostatud ka detailide joonised. Skeemid on tehtud kasutades programmi MS Paint ning Falstad Circuit Simulator veebiprogrammi.



# Põhiosa

## 1. Turul pakutavate seadmete analüüs

Otsides omale robotmänguasja, jäävad turul mitmed valmistajad oma toodetega silma. Esmapilgul tundub, et sellise seadme projekteerimine omal käel tähendab vaid liigset ajakulu. Tegelikult on turul olevad seadmed aga suhteliselt kallid ja tehniliste parameetrite poolest pigem kehvad. Oma isiklikust kokkupuutest ühe samasuguse mänguasjaga oli märgata selle puuduseid üsna ruttu. Kogu robot kõikus ning seetõttu jäi sellest väga ebakvaliteetne mulje.

Olles seadnud omale eesmärgiks luua lihtne, piisava tugevusega ja eelkõige odav manipulaator, asusin ma võrdlema nelja põhilist robotit kolmelt tootjalt.

Tabel 1.1. Erinevate robotite võrdlustabel

<b>Tootja ja mudel</b>	<b>Hind</b>	<b>Tõstevõime ja tööraadius</b>	<b>Head küljed</b>	<b>Halvad küljed</b>
OWI-535 Robotic Arm Edge	47 € [1]	$m= 100\text{ g}$ $r= 320\text{ mm}$ [1]	Odav, hea raadius	Pole programmeeritav, ebatäpne
Dagu 6DOF	225 € [2]	$m= 200\text{ g}$ $r= 390\text{ mm}$ [3]	Hea raadius	Kõrge hind
Lynxmotion AL5A	245 €-290 € [4]	$m= 110\text{ g}$ $r= 146\text{ mm}$ [4]	Võimekas juhtsüsteem	Väike tööraadius
Lynxmotion AL5D	274 €-320 € [5]	$m= 280\text{ g}$ $r= 260\text{ mm}$ [5]	Head omadused	Kõrge hind

Turul pakutavatest seadmetest tundub Dagu 6 Degrees Of Freedom (6DOF) kõige parem valik. Siiski on 225 € ilma saatmiskuludeta natuke kõrge hind arvestades nende robotite kasutusalasid.

Veebis on juhendeid, kuidas muuta võrdluse kõige odavam robot, OWI 535 Robotic Arm Edge, Arduinoga juhitavaks. [6] Selline modifitseerimine võimaldab palju enam juhtimist. Kuigi projekti kogumaksumus on ca 90 €, on siiski tõstevõime natuke kehvapoolne.

## 1.1. Ühe turul oleva toote analüüs

Selgitamaks täpsemalt välja, milliste kulutustega peaks arvestama uue roboti loomisel, koostasin ma tabeli, mis sisaldab Lynxmotion AL5D roboti komponentide detailsemat infot koos hinnakalkulatsiooniga.

Tabel 1.2. AL5D elektroonikakomponentide tabel

Komponent	Parameetrid	Hind
SSC-32U USB Servo Controller [7]	32 Servo kanalit kõrge resolutsiooniga 8 analoog-sisend/väljundit Loodud juhtima servomootoreid kõrge täpsuse ja kiirusega	40 €
Hitec HS-485HB [8]	Mass $m = 45 \text{ g}$ Pöördemoment [9] $\tau = 0.47 \text{ Nm}(4,8 \text{ V}), \tau = 0,59 \text{ Nm} (6 \text{ V})$ Digitaalservo	14 €
Hitec HS-805BB [10]	Mass $m = 152 \text{ g}$ Pöördemoment [9] $\tau = 1,94 \text{ Nm} (4,8 \text{ V}), \tau = 2,42 \text{ Nm} (6 \text{ V})$ Analoogservo	28 €
Hitec HS-755HB [11]	Mass $m = 110 \text{ g}$ Pöördemoment [9] $\tau = 1,08 \text{ Nm} (4,8 \text{ V}), \tau = 1,29 \text{ Nm} (6 \text{ V})$ Analoogservo	25 €
Hitec HS-645MG [12]	Mass $m = 55,2 \text{ g}$ Pöördemoment [9] $\tau = 0,76 \text{ Nm kg} (4,8 \text{ V}), \tau = 0.94 (6 \text{ V})$ Analoogservo	29 €



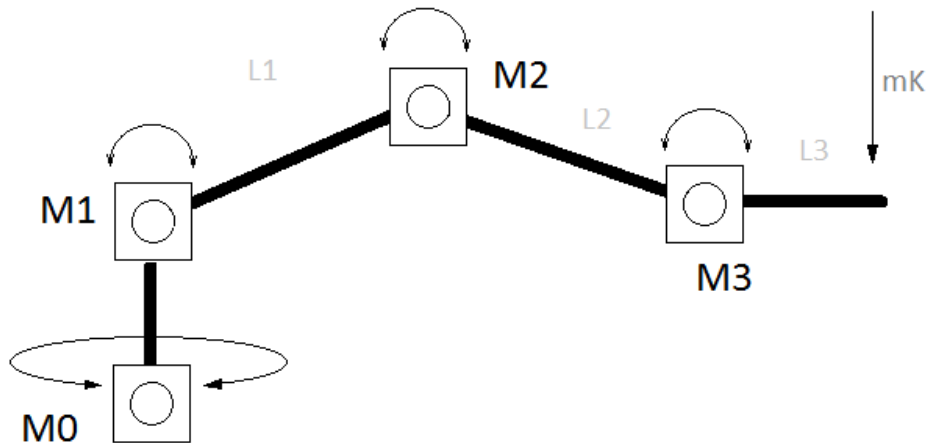
Sele 1.1. AL5D komponentide asetus ja spetsifikatsioonid

Tabelist on näha, mis komponente on igas liigendis kasutatud ning nende hind internetipoes. Servotootjad armastavad märkida pöördemomenti ühikuga kgcm.  $1 \text{ Nm} = 10,2 \text{ kgcm}$ . [9] Hind ei sisalda saatekulusid ning komponendid tulevad kolmelt erinevalt tarnijalt. Sellegipoolest on ainuüksi elektroonika hind kokku juba 136 €. Lisaks ei sisalda see hind arendustöö kulusid, tööjõu maksumust ning makse. Seades enda tootel eesmärgiks komponentide maksumuse hoida vähemalt poole madalama, saab juba luua odavama toote. Kõik kulutused, mis lähevad maksude, arenduse ja tööjõu peale, on selles suhtes paratamatud, kuid projekteerides toote komponentide poolest odavama, on võimalus hoida kokku.

Analüüsi tehes jäi silma see, et kõik mootorid on Hitec'i tootevalikust. See lihtsustab oluliselt tarnimise protsessi, kuid selle tootja mootorid on tihtilugu kallimad ja mootorite parameetrid ei ole optimaalsed konkreetse kasutusala jaoks. Lisaks paistab, et ainult üks servo on digitaalservo. Kuna analoogservol on suurem surnud tsoon ja üldine natuke "vetruv" tunne liigutamisel, siis see on ilmselt põhjus, miks kogu komplektil on ebakindel tunne ja odav käitumismaneer. [13]

## 2. Juhtseadme ja mootorite valik

Enne projekteerima hakkamist ja komponentide välja valimist tuleb luua esialgne skeem robotist.



Sele 2.1. Roboti kinemaatikaskoorm

Mootorid on märgitud skeemile tähistega  $M0...M1$

Ühendused on märgitud tähistega  $L1...L3$

$M0$  pöörab kogu robotit ümber vertikaalsihis telje.

$M1$  ehk õlg, omab massi  $m_{M1}$

$M2$  ehk küünarnukk, omab massi  $m_{M2}$

$M3$  ehk ranne omab massi  $m_{M3}$

Ühendus  $L1$  omab massi  $m_{L1}$  ja pikkust  $L_{L1}$

Ühendus  $L2$  omab massi  $m_{L2}$  ja pikkust  $L_{L2}$

Ühendus  $L3$  omab massi  $m_{L3}$  ja pikkust  $L_{L3}$

Kaugusel  $l_{L3}$  asetseb tõstetav koormus  $m_K$

Skeemilt saame välja lugeda, et juhtseade peab hakkama saama nelja mootori juhtimisega. On olemas spetsiaalselt servomootorite juhtimiseks mõeldud kontrollereid, mis on võimelised juhtima näiteks 16 või 32 servot samaaegselt. Meie roboti puhul on vajalik juhtida vaid nelja

ning jättes veel mõned varuks, on kasutajal võimalus lisada omalt poolt veel täiendavalt lülisid või liigendeid.

Mootor  $M0$  pöörab robotit ainult ümber vertikaaltelje, seega ei pea mootori  $M0$  pöördemoment olema väga suur, sest mootor peab ületama vaid kogu konstruktsiooni massist tulenevat inertsit selle pööramisel. See-eest peab aga projekteerima stabiilse ja tugeva viisi kinnitamaks mootori  $M1$  selle peale. Kui siia jäävad liiga suured lõtkud sisse, siis liigendi  $L3$  otsas on need ainult võimendatud ja robot jääb kõikuvaks ning raskesti positsioneeritavaks.

Mootorile  $M1$  langeb kõige suurem koormav pöördemoment, kui kõik lülid on välja sirutatud. Oluline on, et selles positsioonis olev mootor oleks suure pöördemomendiga ning täpne. Vastasel juhul ei saa kas tõsta väga suurt koormust või jäävad lülid lühikeseks. Mõlemad juhud on kompromiss millegi teise arvelt, seega tuleks siia valida võimalikult hea mootor.

Liigend  $L1$  peab ühendama omavahel vaid mootorit  $M1$  ja  $M2$ . Sama ülesanne on ka liigendil  $L2$ , mis ühendab omavahel siis mootoreid  $M2$  ja  $M3$  ning viimane lüli  $L3$  on ühenduseks mootori  $M3$  ja sinna otsa projekteeritava tööriista või tõstetava raskuse vahel. Liigendid peaks selles olukorras olema võimalikult kerged, aga suure jäikusega, et ei tekiks vetrumist ja lõtkusid. Mida kergem on projekteeritud lüli, seda suuremat massi on võimeline robot tõstma.

Mootorid  $M2$  ja  $M3$  on oma ülesandelt sarnased. Mootorile  $M3$  langeb vaid väikseim koormus ja seetõttu ei pea see olema väga suure pöördemomendiga. Vajadus suurema pöördemomendi järele puudub seetõttu, et kui mootor  $M1$  ei ole võimeline hoidma kogu konstruktsiooni horisontaalselt paigal, siis ei ole ka mõtet projekteerida vahepealsed lülid tugevamad kui vaja. Kuna aga mootori pöördemoment väheneb olenevalt sellest, kui pika jõuõla otsas koormus asetseb, siis on ka sama tõstetava massi juures kõikidel mootoritel erinev koormus.

## 2.1 Juhtseade

Kuna projekteeritav robot on üsna lihtne ja ei oma suurel hulgal mootoreid, on mõistlik valida juhtseade Arduino tootevalikust. Arduino on selliste projektide puhul hea valik mitmel põhjusel.

Arduino juhtseadmed on väga levinud ja kättesaadavad. Olgu see siis internetipoodidest tellimise seisukohalt või ka sõprade/tuttavate käest laenamisega. Kuna Arduino on väga levinud platvorm, millelt alustada programmeerimist ja elektroonikaga tutvust tegemist, siis on suur tõenäosus, et kas projekti realiseerijal endal või tutvusringkonnas on juba vajalik juhtseade olemas.

Taskukohane hind ning väga suur kasutajaskond, kes aitavad ja õpetavad seda kontrolleriit programmeerima. Algaja jaoks on väga oluline, et ta saab oma probleemiga kuskilt abi.

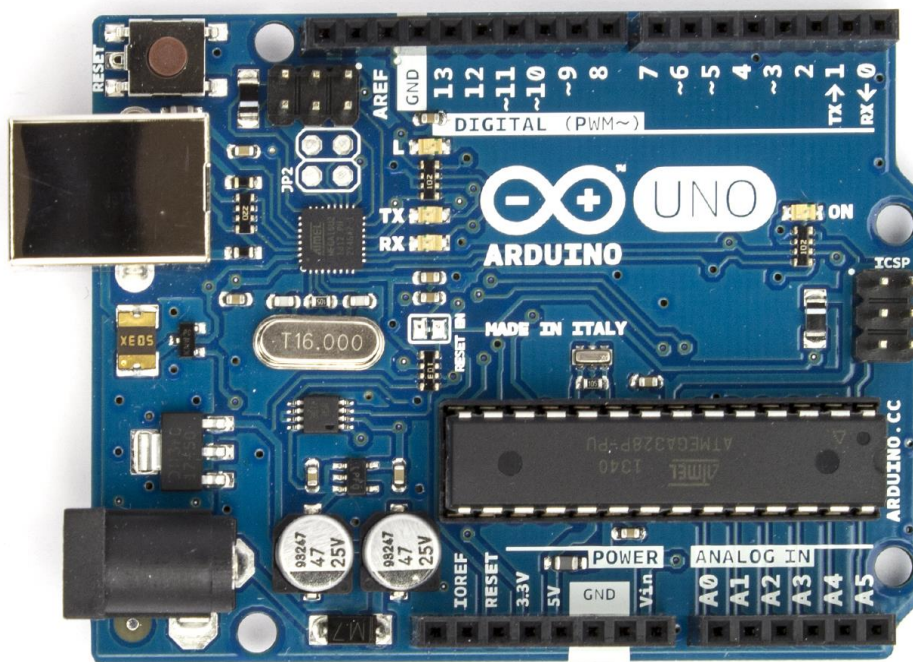
Kasutusvabadus teiste projektide juures. Arduinol on väga lai valik erinevaid kontrollereid ja lõpmatu hulk erinevaid kasutusvaldkondi. Hilisemate projektide ja huvide mõttes on juba olemasolev Arduino kontrolleri hea algus.

Valikus on 2 Arduino juhtseadet: Arduino Leonardo ning Arduino Uno REV3. Juhtseadme praktiliselt ainsaks tingimuseks on see, et oleks võimalik juhtida minimaalselt nelja servomootorit. Jättes kasutajale võimaluse lisada omapoolseid mootoreid võiks olla võimalik juhtida umbes kuut.

Tabel 2.1. Leonardo ja Uno võrdlustabel

	<b>Arduino Leonardo</b>	<b>Arduino Uno REV3</b>
Kontroller	ATMEGA32U4	ATMEGA16U2, ATMEGA328
Ühenduse tüübid	MicroUSB, Digital PWM, ICSP	USB B, Digital PWM, DIP28, ICSP
Lisad	Prototüüpimisplaat	Prototüüpimisplaat ja vahetatav kontrolleri
Hind	17 € [14]	18 € [15]

Mõlemad Arduinod sobivad väga hästi roboti juhtimiseks ning kes soovib, võib vastavalt huvidele valida veel võimekama, Arduino Mega. Kuna minul on Arduino Uno R3 hetkel kättesaadav, siis kasutan projekti realiseerimiseks seda.



Sele 2.2. Arduino Uno

Seadme tehnilised parameetrid [16]

- 14 digitaalset sisend/väljund klemmi, nendest 6 võimaldavad PWM signaali väljastamist
- 6 analoog sisendit
- 16 MHz taktsagedus
- 32 KB mälu
- Reset nupp
- LED
- USB ühendus
- Toitepistiku pesa
- $m = 25$  g
- Lubatud pinge  $U_{max}$  (6-20) V
- Soovitav pinge  $U_{nom} = (7-12)$  V

Oluline on vaadata PWM signaali võimaldavate klemmide arvu. PWM ehk Pulse Width Modulation on juhtimise tüüp, mida kasutatakse, et luua digitaalselt analoogsignaali. Digitaalselt luuakse nelinurklaine sisse-välja lülitamisega. Selline käitumine võimaldab simuleerida erinevaid pingeid 0 % ja 100 % vahel. PWM signaaliga juhitakse servomootoreid. [17]

## 2.2.Mootorid

Mootorite valikul tuleb jälgida peamiselt mootori poolt avaldatavat maksimaalset pöördemomenti. Sellega tagame selle, et robot on üleüldse võimeline midagi tõstma ning et tööraadius oleks arvestatav. Mootor tuleb valida sobiv ka tüübi poolest. Kui analoogservo on väikse voolutarbimisega ning vaiksem, siis meil on oluline täpsus ja suur pöördemoment. [13] Seetõttu peaks olema kõik peale mootori *M0* vähemalt digitaalservod.

Suurim valik erinevaid mootoreid on Hobbykingi veebipoes. Neil on laod Euroopas ja USAs ning tellides kõik komponendid ühe tellimusega, lihtsustab see oluliselt tellimisprotsessi. Kindlasti oleks saanud erinevatest allikatest otsides ja tellides säästa mõne euro, kuid see ei ole enam määrav valiku tegemisel.

Tabel 2.2. Valitud mootorite andmed

Mootor	Parameetrid	Hind	Selgitus
<b>M0</b> Turingy TGY-4085-1,5PA [18]	Mass $m = 45 \text{ g}$ Pöördemoment [9] $\tau = 0,51 \text{ Nm (4,8 V)}$ , $\tau = 0,60 \text{ Nm (6 V)}$ Analoogservo	10 €	Tegemist on 1,5 pöördelise mootoriga, mida kasutatakse purjemakettide purje kerimiseks.
<b>M1</b> KobbyKing HK15338 [19]	Mass $m = 175 \text{ g}$ Pöördemoment [9] $\tau = 1,94 \text{ Nm (4,8 V)}$ , $\tau = 2,45 \text{ Nm (6 V)}$ Digitaalservo	14 €	Väga suur digitaalservo. Kasutatakse 1/5 skaalal mudelautodes.
<b>M2 ja M3</b> Turnigy TGY-S901D [20]	Mass $m = 58 \text{ g}$ Pöördemoment [9] $\tau = 1,22 \text{ Nm (6 V)}$ , $\tau = 1,27 \text{ Nm (7,2 V)}$ Digitaalservo	9 €	Spetsiaalselt robotika tarbeks disainitud korpus, millel on korpuse tagumises otsas võlliga samas teljes asuv puks.



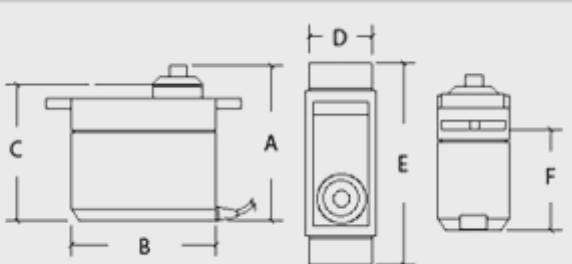
## 2.2.1 Turnigy TGY-4085-1,5PA



Sele 2.3. Turnigy TGY-4085-1,5PA

Esimene mootor, TGY-4085-1,5PA osutus valituks seetõttu, et sellel on suur pööderaadius. Lõpmatu pööderaadiusega mootorid olid kõik kallimas hinnaklassis, kuid 1,5 pööret on aluse jaoks piisav. Lisaks on tegemist analoogservoga, sest roboti pööramiseks ümber vertikaalse telje ei ole vaja väga suurt jõudu ega täpsust. Sellele mootorile ei avaldu ka muid jõude, mis teda mõjutaks. kui ta on juba oma positsiooni saavutanud.

Weight (g)	45
Torque (kg)	6.13
Speed(Sec/60deg)	0.7
A(mm)	44
B(mm)	40
C(mm)	42
D(mm)	20
E(mm)	58
F(mm)	27



[18]

Sele 2.4. TGY-4085 mõõtmed

## 2.2.2 Hobbyking HK15338



Sele 2.5. Hobbyking HK15338

HK15338 on üsna suur ja raske digitaalservo. Oluline oli just suur pöördemoment, sest valitud mootorile langeb kõige suurem koormus, kui haarats on horisontaalselt välja sirutatud. Samuti on digitaalservol selge eelis sellises olukorras, sest analoogservol on suurem surnud tsoon, mille tõttu võib sirutatud haarats olla kõikuv. Tänu digitaalservo suuremale sagedusele on see palju täpsem juba väikeste muutuste suhtes ning avaldab suuremat pöördemomenti minimaalsetel pööramistel. [13] Lugeses internetis arvustusi selle mootori kohta, mainiti ära, et ainus erinevus HK15338 ja Hitec HS-805BB vahel ongi just nimelt see, et üks on digitaal- ja teine analoogservo. [19]

Weight (g)	175
Torque (kg)	25
Speed(Sec/60deg)	0.2
A(mm)	66
B(mm)	66
C(mm)	60
D(mm)	30
E(mm)	83
F(mm)	42

The technical drawing shows three views of the servo motor. The perspective view on the left shows dimensions A (height), B (width), and C (depth). The front view in the middle shows dimension D (width of the horn). The side view on the right shows dimension E (total height) and F (height of the horn).

Sele 2.6. HK15338 mõõtmed

### 2.2.3 Turnigy S901D



Sele 2.7. Turnigy S901D

Viimase kahe liigendi liigutamiseks valisin taas Turnigy seeriast mootori. Seekord siis S901D. Tegemist on jällegi digitaalservoga ning suurim eelis on selle mootori spetsiaalselt robootika vallaks disainitud korpus. Selline valik lihtsustab hiljem liigendite ja võllide tegemist. Samas on mootor üsna kerge ja hea tõstevõimega. Olgugi, et servo on võimeline töötama ka 7,2 V pinge juures, on piisav teda kasutada koos kõigi teiste mootoritega 6 V juures.

Weight (g)	58
Torque (kg)	13
Speed(Sec/60deg)	0.14
A(mm)	49
B(mm)	42
C(mm)	40
D(mm)	20
E(mm)	55
F(mm)	27

[20]

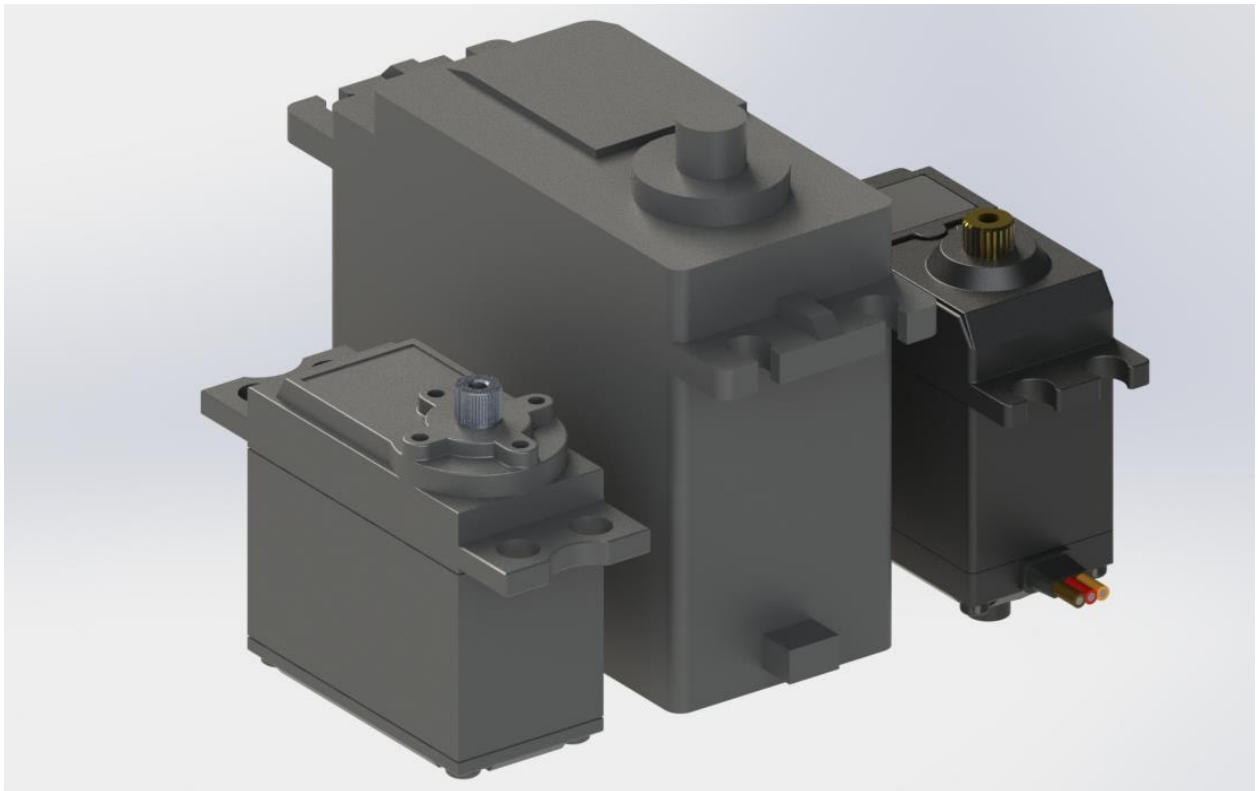
Sele 2.8. S901D mõõtmed

### 3. Projekteerimine

#### 3.1 Mootorite modelleerimine.

Et üldse hakata peale konstruktsiooni loomisega, tuleb esmalt modelleerida valitud mootorid 3D keskkonda. Valitud mootorite hulgast oli juba kahel 3D mudel veebis olemas ning vaid üks tuli jooniste järgi ise valmis modelleerida. Mootorite modelleerimise juures ei ole oluline detailsus vaid kinnitusavade asukohad, mõõtmed ja võlli asukoht.

Kõikide mootoritega tulevad kaasa adapterid võllide otstele, mis on küll erinevatel mootoritel erinevad, kuid modelleerimise seisukohalt ei ole see midagi määrav. Vahetükk on lihtsuse huvides kõikidel mudelitel sama, reaalsuses on neil sobiv hambumine vaid mootoriga millega nad kaasa tulid. Kinnitusavad tuleb ise puurida.



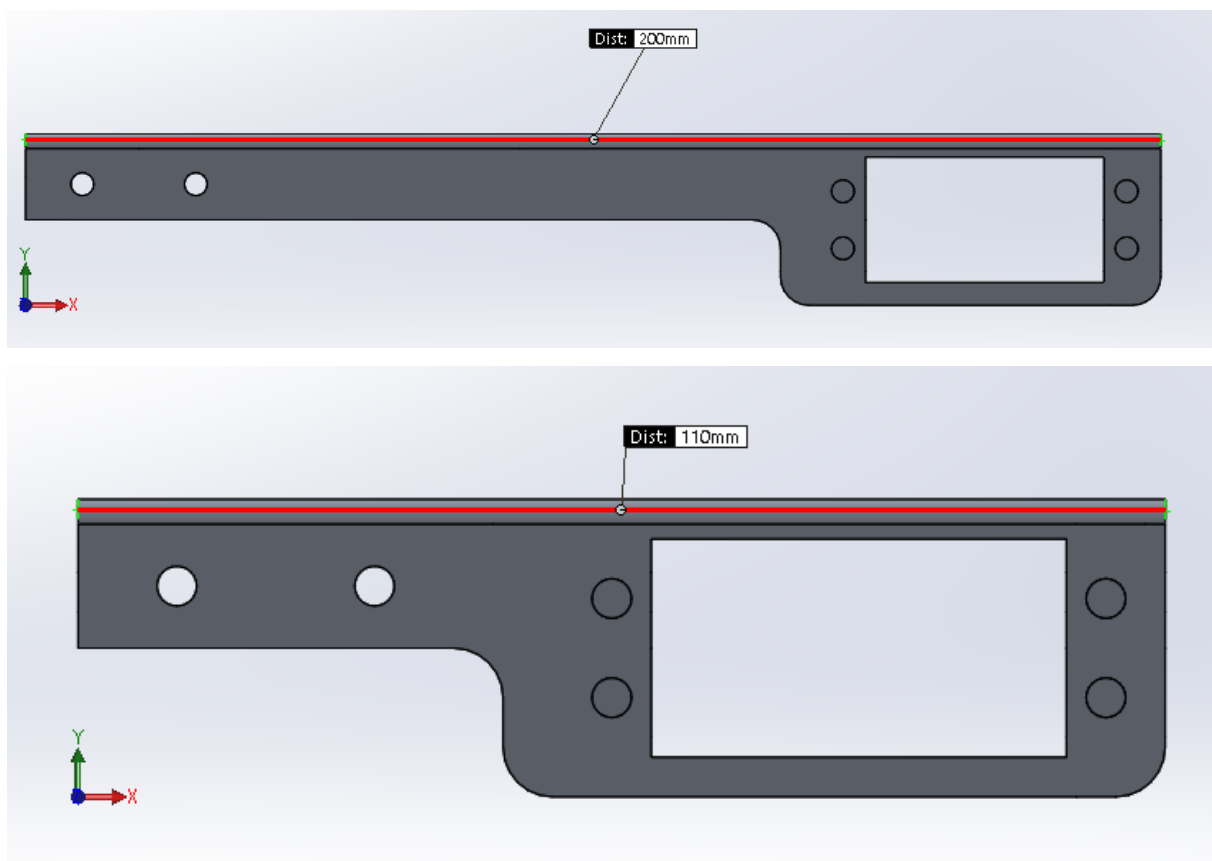
*Sele 3.1. Vasakult: TGY-4805, HK15338 ja S901D*

Internetis olid saadavad HK15338 [21] ja S901D [22] mudelid.

## 3.2 Konstruksiooni loomine

Suurim eesmärk kogu roboti projekteerimisel on see, et selle valmistamine oleks lihtne. Seda arvesse võttes on kõik valmistatavad detailid projekteeritud 2 mm paksusest 1050 alumiiniumist lõikamise ja painutamise teel. Mitmed alumiiniumi sulamid on sobilikud selle projekti tarbeks, kuid 1050 on minule kõige lihtsamalt kättesaadav ja sellega on ka varasemad kogemused. Sellise paksusega materjal on piisavalt tugev selliste masside ja jõudude juures ning painutades seda veel profiili, jäävad ka pikad osad väga vastupidavad paindele. Materjal on üks enamlevinumaid alumiiniume turul ning omaduste poolest sobiv meie rakendusvaldkonda.

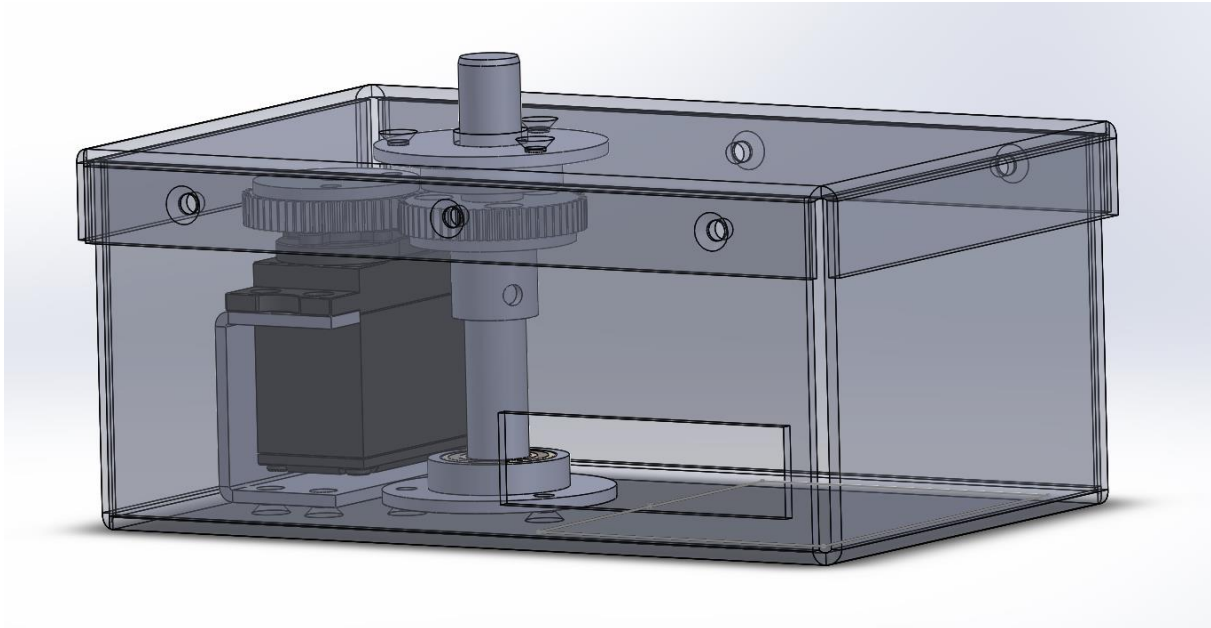
Kogu robot koosneb üheksast suuremast tükist. Need tükid vajavad lõikamist ja painutamist ja on projekteeritud just kasutatavate servomootorite mõõtmeid arvesse võttes. Samas tuleb tükid modelleerida paindlikud muutuste suhtes. Kõik detailid on projekteeritud selliselt, et lihtsa vaevaga saab sinna panna kas teistsuguse mootori või muuta jõuõlgade pikkusi.



Sele 3.2. Pikem (üleval) ja lühem (all) jõuõlg

### 3.2.1 Roboti aluskorpus

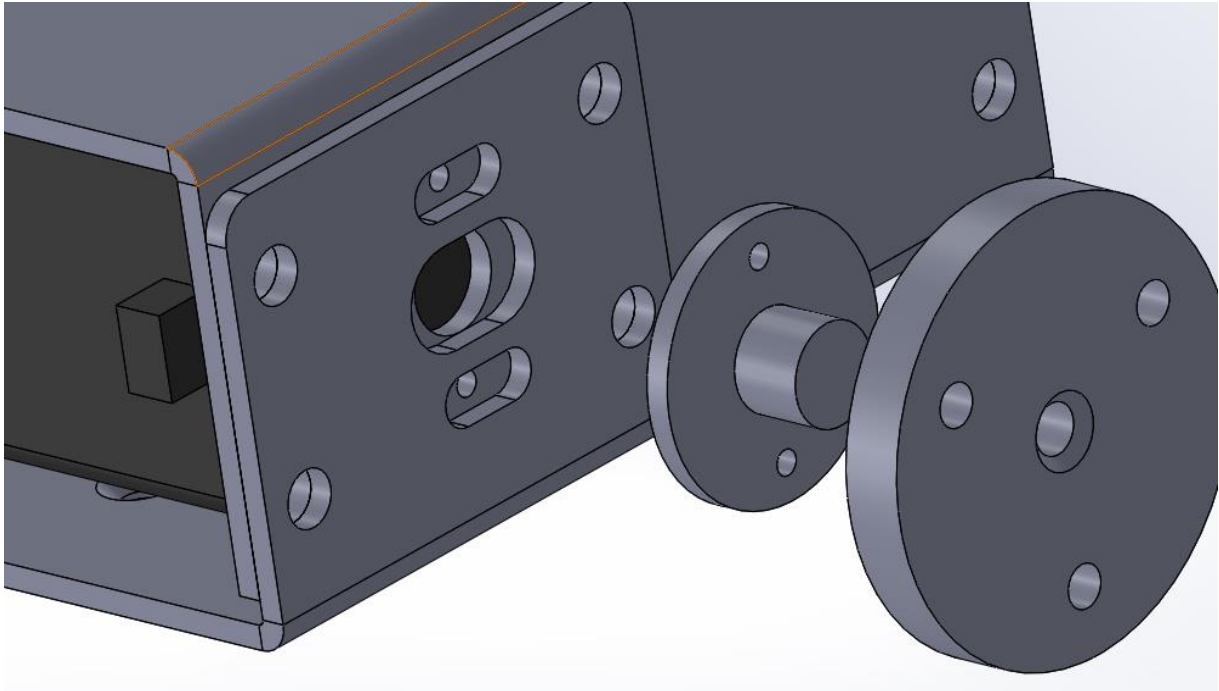
Roboti alumine korpus on ehituselt lihtne nagu karp. Korpuse alumise poole sees asuvad mootor *M1*, 1:1 hammasülekanne, võll ning juhtseade Arduino. Põhjas on avad laagripesa, mootorirakise ja juhtseadme kinnitamiseks. Ühel küljel on suur ava mille kaudu on ligipääs juhtseadmele. Kaanes on lisaks laagripesa kinnitusaukudele veel auk, mida läbib võll, ning ava juhtmete läbi viimiseks.



*Sele 3.3. Roboti aluskorpus*

### 3.2.2 Mootori M1 korpus

Järgmise mootori korpus koosneb kahest poolest, mille küljes on avad lisamaks sinna toetuspunkti, mis asub mootori *M1* võlliga samal teljel. Kuna mootoril *M1* ei ole korpus disainitud selliseks, nagu on mootoril *M2* ja *M3*, peab liikuva osa toestamiseks tegema mootorit hoidvale korpusele toetuspunkti. Toetuspunkti kinnitamiseks tehtud avad on venitatud, et võimaldada võlli nihutamist ühes sihis. Teises sihis asub võll mootori keskteljel.

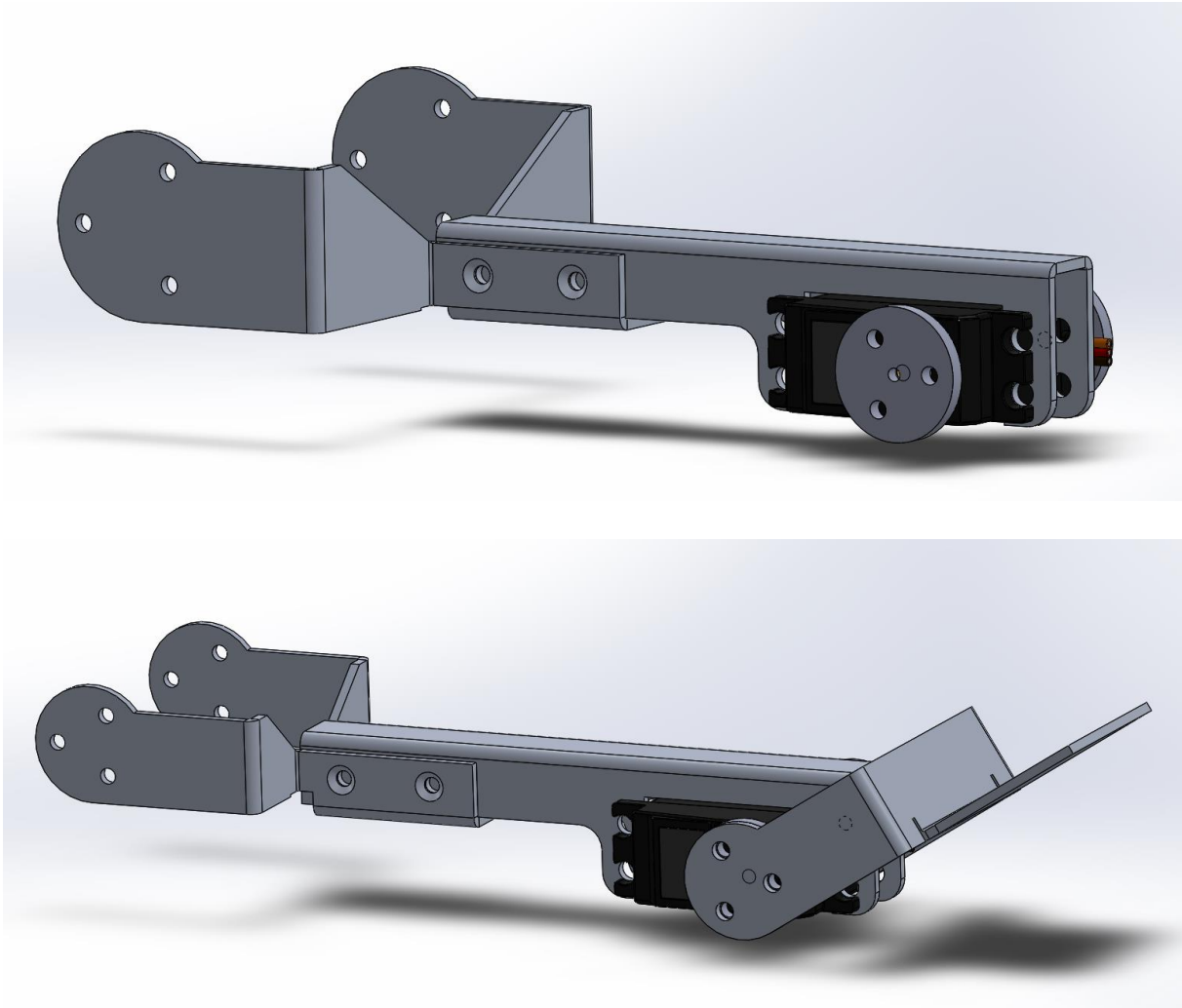


*Sele 3.4. Ovaalsed avad võlli korrigeerimiseks*

Korpuse alumise poole külge kinnitub kolme kruviga freesitud adapter, mis ühendab mootori korpuse alusest välja tuleva võlliga. Kui kasutaja on otsustanud, et ta ei tee hammasülekannet ja laagritel liikuvat võlli aluskorpuse sisse, siis saab samasse kohta kinnitada servomootoriga kaasa tulnud adapteri ja kogu rakis istub sellega mootori *M0* peal.

### 3.2.3 Mootori M2 ja M3 lüli

Tänu sellele, et mootorid *M2* ja *M3* on identsed, saab ka nende liigendid projekteerida väga sarnased. Erinevus liigentite vahel on vaid selles komponendis, mis ühendub pöördteljele.



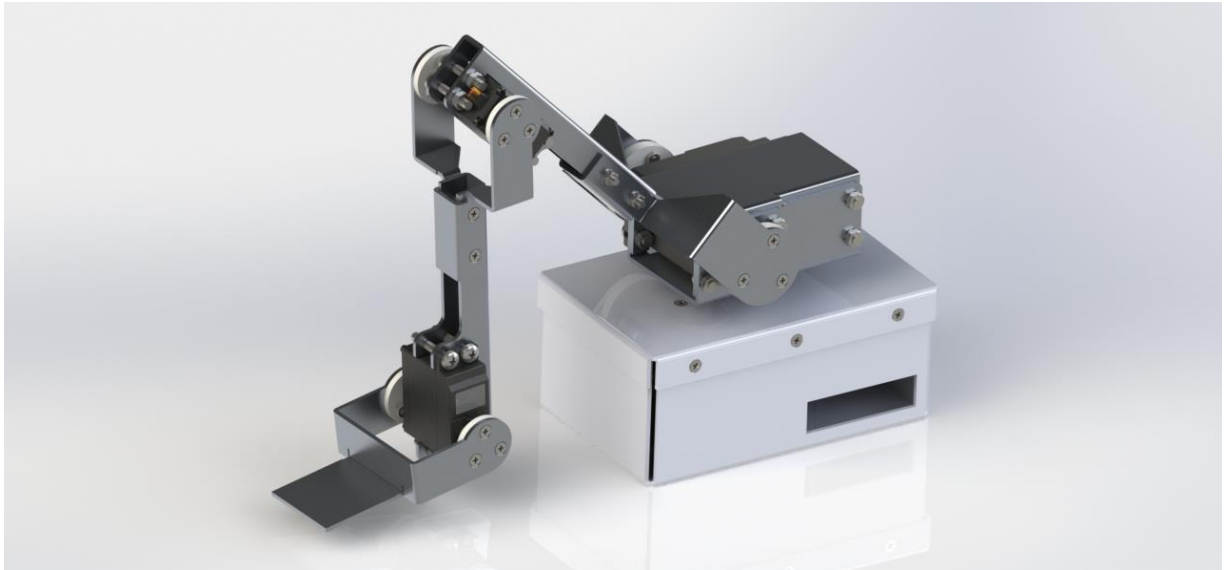
Sele 3.5. Lüli L1 (üleval) ja L2 (all)

Lülid *L2* ja *L3* on tegelikult tavalised U-kujulised profiilid, millel on avad mootori kinnitamiseks. Viimase lüli otsas on ka lihtne alus. Selle asemele on võimalik projekteerida näiteks haarats või mõni muu tööriist vastavalt vajadusele. Loomulikult uue lüli mass on kriitilise tähtsusega mootori tõstejõu juures, kuid seda annab korrigeerida teiste lülide lühemaks tegemisega.



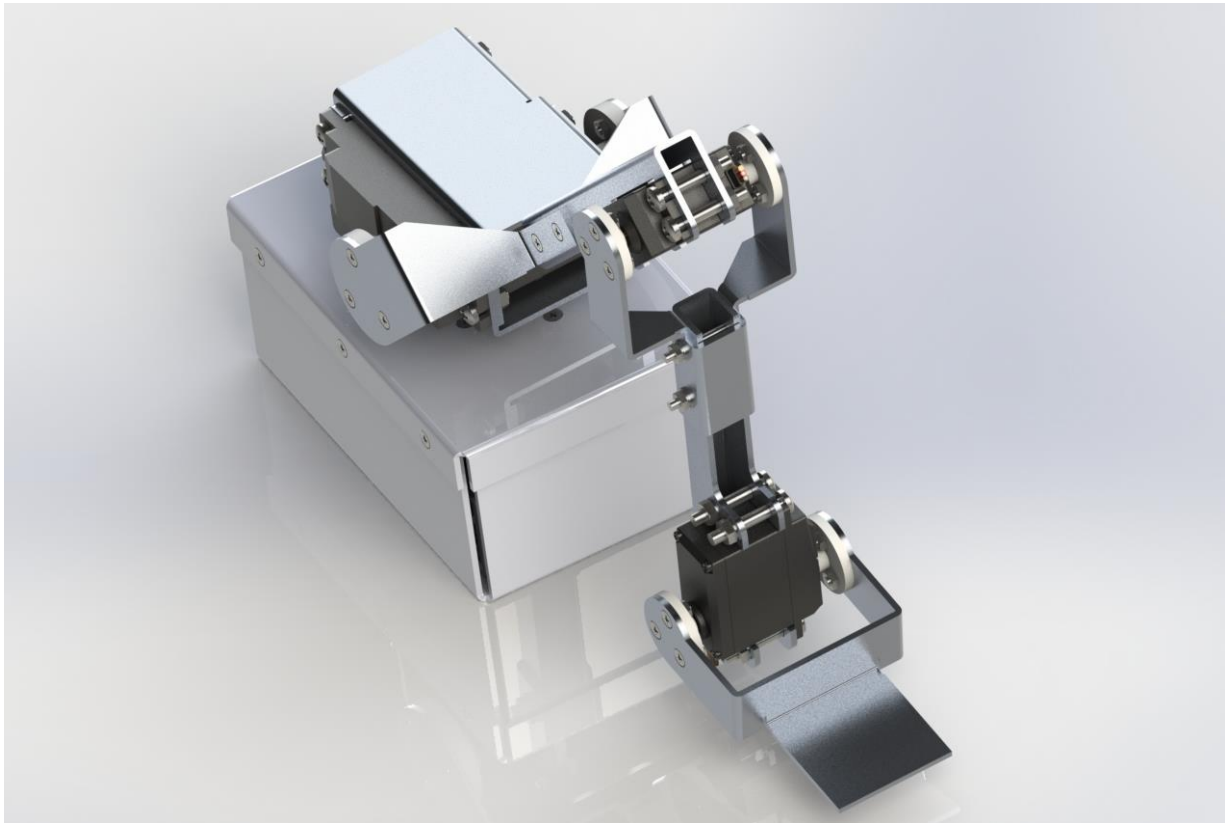
### 3.2.4 Roboti ülevaade

Robot koosneb kümnest lehtmaterjalist lõigatud ja painutatud tükist, kuuest adapterist, mis käivad mootori võllide otsa, kahest laagrist, laagripesast, hammasrattast ning hammasratta kinnitusest, ühest  $D=10$  mm välisläbimõõduga torust ning ühest treitud võllist, millele toetub liigend  $L1$ . Kasutatud hammasülekanne on ülekandearvuga 1:1 ja hammasratas on mooduliga 0,5 ning hammaste arv on 58.



Sele 3.6. Valmis roboti renderdus

Kõik tükid on omavahel koos M3 või M4 poltide ning mutritega. Koostu juures tuleb jälgida seda, et kõik kruvid oleks võimalik kinni keerata ja et koostamisel oleks võimalik ja loogiline järjekord. Näiteks seetõttu on aluskorpuse kaane kinnitamiseks kasutatud keermestatud avasid, sest mutrit ei oleks võimalik sellises kohas kinni keerata. Enamus poldid on uputatava peaga, et hoida soliidset välimust, kuid ka seetõttu, et poldi pead ei jääks ette teistele komponentidele.



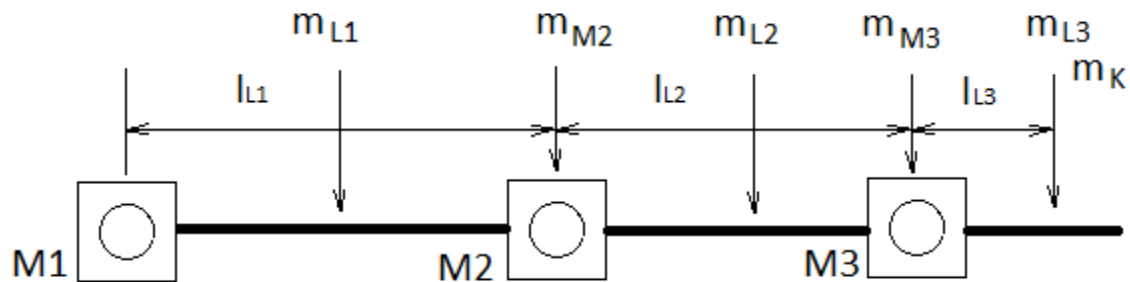
*Sele 3.7. Valmis robot vaadatuna ülalt*

Liigendite  $L2$  ja  $L3$  painutamist U-kujulisse profiili saab ära kasutada juhtmete peitmiseks konstruktsiooni sisse. See tagab jällegi parema välimuse ning vähendab juhtmete takerdumise võimalust servade ja objektide taha.

Detailide mõõtmete poolest mahub robot ära umbes (1000x1000) mm tahvlile.

### 3.3 Mootoritele langevate koormuste arvutamine

Robotile seatud eesmärgiks on hoida horisontaalselt üleval kaugeimas punktis massi väärtusega  $m_K = 250$  g. Kasutades SolidWorks Evaluate tööriista, saame teada konstruktsiooni elementide massid ja raskuskeskme asukoha ning sellest tulenevalt arvutame välja mootoritele langeva koormuse.



Sele 3.8. Jõuõlgade ja koormuste skeem

$M1$ ,  $M2$  ja  $M3$  on mootorid

$l_{L1} = 147,36$  mm, liigendi  $L1$  pikkus

$l_{L2} = 148,85$  mm, liigendi  $L2$  pikkus

$l_{L3} = 58,88$  mm, liigendi  $L3$  pikkus

$m_{L1} = 63$  g, liigendi  $L1$  mass

$m_{L2} = 51$  g, liigendi  $L2$  mass

$m_{L3} = 26$  g, liigendi  $L3$  mass

$m_{M2} = 58$  g, mootori  $M2$  mass

$m_{M3} = 58$  g, mootori  $M3$  mass

$m_K = 250$  g, tõstetava koormuse mass

Kuna massidesse pole juurde arvestatud kruvisid, juhtmeid ja muid kinnitusvahendeid, ümardame kõik pikkused kümnelisteni, teisendame meetritesse ning kõik massid arvestame ligikaudu 2 korda raskemaks ja kilogrammides. Sellega tagame, et mootoritele ei lange ülekoormus ja arvutatav ühik on meile mõistetavas suuruses.

$l_{L1} = 0,15$  m, liigendi  $L1$  pikkus  
 $l_{L2} = 0,15$  m, liigendi  $L2$  pikkus  
 $l_{L3} = 0,06$  m, liigendi  $L3$  pikkus  
 $m_{L1} = 0,12$  kg, liigendi  $L1$  mass  
 $m_{L2} = 0,10$  kg, liigendi  $L2$  mass  
 $m_{L3} = 0,05$  kg, liigendi  $L3$  mass  
 $m_{M2} = 0,11$  kg, mootori  $M2$  mass  
 $m_{M3} = 0,11$  kg, mootori  $M3$  mass  
 $m_K = 0,25$  kg, tõstetava koormuse mass

Koormuse arvutamiseks kasutame tavalise pöördemomendi valemit, mida kohendame enda roboti tarbeks. [23]

$$\tau = l * g * m \quad (3.1)$$

kus  $\tau$  = pöördemoment [Nm]

$l$  = jõuõla pikkus [m]

$m$  = koormuse mass [kg]

$g$  = raskusjõu kiirendus [ $9,81 \text{ m/s}^2$ ]

SolidWorksi Evaluate tööriista tulemusi vaadates oli näha, et kõikide liigendite raskuskeskmed on paari millimeetri kaugusel nende geomeetrisest keskpunktist. Tänu sellele saame lihtsustada neid liikmeid arvestades lülide enda raskuse langema nende keskpunktile. Nüüd näevad pöördemomendi valemid mootoritele  $M1$ ,  $M2$  ja  $M3$  välja järgmised:

$$\begin{aligned} \sum T_{M1} = & \left( \frac{1}{2} l_{L1} * g * m_{L1} + l_{L1} * g * m_{M2} \right) + \left( \frac{1}{2} l_{L2} * g * m_{L2} + l_{L2} * g * m_{M3} \right) + \\ & \left( \frac{1}{2} l_{L3} * g * m_{L3} + l_{L3} * g * m_K \right) \end{aligned} \quad (3.2)$$

$$\sum T_{M2} = \left( \frac{1}{2} l_{L2} * g * m_{L2} + l_{L2} * g * m_{M3} \right) + \left( \frac{1}{2} l_{L3} * g * m_{L3} + l_{L3} * g * m_K \right)$$

$$\sum T_{M3} = \frac{1}{2} l_{L3} * g * m_{L3} + l_{L3} * g * m_K$$

Tulemused antud koormuste juures on:

$$\tau_{M1} = 1,84 \text{ Nm}$$

$$\tau_{M2} = 0,84 \text{ Nm}$$

$$\tau_{M3} = 0,16 \text{ Nm}$$

Muutes tõstetava koormuse massi nüüd näiteks 1,6 korda suuremaks,  $m_k = 0,4$  kg peale, on uued pöördemomendid mootoritele järgnevad:

$$\tau_{M1} = 2,37 \text{ Nm}$$

$$\tau_{M2} = 1,15 \text{ Nm}$$

$$\tau_{M3} = 0,25 \text{ Nm}$$

Ka siis, kui tõstetavat massi suurendada 1,6 kordselt, on mootoritel veel piisavalt pöördemomenti, et hoida seda horisontaalselt paigal. Sellega võib kinnitada, et 250 g suurune mass on ohutu tõsta ilma, et peaks kartma mootorite läbipõlemist või mingi osa purunemist. Lisaks annab see kindlust, et kui kasutaja lisab omalt poolt mingi tööriista või haaratsi roboti otsale, mis ei ole väga suure massiga, jääb robot töökorda ning on võimeline tõstma endiselt lubatud  $m_k = 250$  g massi.

Konstruksiooni kohta ütleavad need arvutused seda, et jõuõlgade pikkused on optimaalsed mootori koormatuse suhtes ning ühtegi lüli ümber projekteerima ei pea. Lisaks on robotil säilinud tööraadius aluse läheduses ning üldine raadius on arvutatav skeemilt.

$$r = l_{L1} + l_{L2} + l_{L3} = 36 \text{ cm}$$

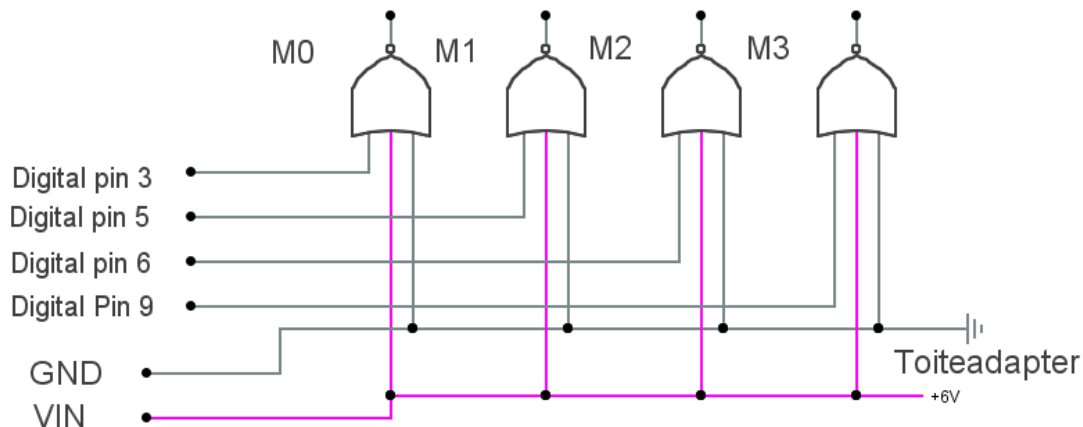
### 3.4 Seadme ohutus

Seadme ohutust käsitletakse lähemalt arendustöö järgnevates etappides. Selleks tuleb esmalt prototüüp valmis teha ja kasutuse käigus teha märkmeid kriitilistest ning probleemsetest kohtadest. Välise toiteadapteri kasutusel peab kindlasti jälgima tehtud ühenduste kvaliteeti ja isolatsiooni, et vähendada lühise ning elektrilöögi ohtu. Kohtadele, kust juhtmed puutuvad vastu roboti kere, tuleb vajadusel lisada täiendav kaablrüü, et vältida juhtmete hõõrdumist või lisada kinnitusvahendeid, mis hoiavad juhtmeid kinni. Konstruktsiooni ohtutusel peab jälgima roboti stabiilsust kiiretel suunamuutustel ja tõstes suuri raskusi. Kõik märkused tuleb roboti kasutuse käigus ära märkida või likvideerida, et teise mudeli valmimisel vältida esmaseid vigu.

## 4. Elektriskeem ja toiteallikas

### 4.1 Elektriskeemi koostamine

Robotile tuleb suure energiatarbimise tõttu lisada väline toiteallikas. Arduino on võimeline andma välja vaid signaali ja vool mootorite juhtimiseks peab tulema seinakontaktist.



Sele 4.1. Mootorite ja Arduino ühendamise skeem

Mootorite signaalijuhthmed ühenduvad Arduino digitaalpistikutesse 3,5,6 ja 9. PWM signaali andvatest pistikutest jäävad veel vabaks 10 ja 11. Kõikide mootorite positiivsed ja negatiivsed klemmid ühenduvad otse toiteadapteri vastavate otstega. Lisaks lähevad toiteadapterist otse juhtmed Arduino VIN ja GND klemmidele, tänu millele ei pea olema Arduino jaoks eraldi toiteallikat. Vastasel juhul oleks vajalik kas USB ühenduse või teise toiteadapteri kaudu juhtseadmele voolu andmine

Skeemi realiseerimisel on mitu varianti. Arduino komplektiga tuleb kaasa ka prototüüpimisplaat, millel on võimalik skeem koostada. Parema tulemuse saamiseks võib teha eraldi PCB plaadile elektriskeemi ja sellele lisada jalad mis ühenduvad otse Arduino peale õigetesse pistikutesse.

## 4.2 Toiteallika valik

Väline toide tuleb valida arvestades mootorite energiatarbimist maksimaalselt koormatud olukorras. Selleks eeldame, et kõik mootorid on ühel ajahetkel maksimaalselt koormatud. Selline olukord on küll ebatõenäoline, arvestades, millise varuga on robot dimensioneeritud, kuid siiski peab seda võimaldama.

Kuna internetis ei leidnud sellele projektile valitud mootorite kohta piisavalt andmeid, tuleb orienteeruva voolutarbe jaoks võtta arvesse entusiastide poolt kasutatavat üldreeglit- 1 A iga standardservo ja 500 mA iga miniservo kohta [25]. Valitava toiteadapteri juures tuleb jälgida siis umbes  $I = 4 \text{ A}$  ja  $U = 6 \text{ V}$ .



Sele 4.2. Valitud toiteallikas MW7H50GS

Adapteri tehnilised parameetrid [26]

- Sisendpinge  $U_{in} = (100...240) \text{ V AC}$
- Reguleeritav väljundpinge  $U_{out} = (6/7,5/9/12/13,5/15) \text{ V}$
- Maksimaalne voolutugevus  $I_{max} = 5 \text{ A}$
- Mass  $m = 480 \text{ g}$
- Hind 26.57 €



## 5. Programmeerimine

Arduino programmeerimine võib käia ükskõik, millises programmeerimiskeeles, kui selle jaoks on olemas sobiv kompilaator. Enamasti kasutatakse programmeerimiseks keelt C ja sellele on ka juba palju valmis programme olemas.

Kuna robot ei vaja otsest programmeerimist, sest piisab vaid sobiva koodi peale laadimisest ning robot on võimeline iseseisvalt töötama, siis ei hakka ma ka põhjalikumalt seda peatükki lahkama. Juba ilma igasuguste andurite või juhtimisseadmeteta on võimalik robotile õpetada positsioone ning määrata nende järjekord täitmisel.

Üks hea viis, kuidas realiseerida roboti manuaalset juhtimist, on lisada robotile infrapuna vastuvõtja [27] ja kasutada juhtimiseks telekapulti. Lugeses puldi poolt saadavat signaali erinevate nupuvajutuste korral, on võimalik kaardistada iga nupu jaoks käsk, mis liigutab mingit liigendit.

Veel lihtsam viis on lisada prototüüpplaadile iga mootori kohta üks potentsiomeeter ning juhtida mootorite asendeid potentsiomeetri kaudu.

```
#include <Servo.h>
Servo myservo;
int potpin = 0;
int val;
void setup()
{
  myservo.attach(9);
}
void loop()
{
  val = analogRead(potpin);

  val = map(val, 0, 1023, 0, 179);

  myservo.write(val);

  delay(15);
}
```

*Sele 5.1 Näidiskood potentsiomeetriga servo juhtimiseks [28]*

Selle koodi näitel on võimalik juhtida ühte servomootorit ühe potentsiomeetriga. Potentsiomeetri keskmine jalg tuleb ühendada Arduino A0 pistikusse, ja äärmised jalad Arduino GND ja 5 V pistikusse. Mootori signaalijuhe, tavaliselt kollane, ühendub Arduino pistikusse number 9, mootori 6 V ja GND juhe ühenduvad toiteadapteri vastavatesse ottesse. Kävitades nüüd Arduino on võimalik kontrollida ühe mootori asendit. Lisades iga mootori jaoks potentsiomeetri ja muutes koodis ära pistikud, on võimalik juhtida kõiki mootoreid kasutades potentsiomeetreid.

## 6. Kulude kalkulatsioon

Tabel 6.1. Komponentide maksumus

Komponent	Hind
Arduino Uno	18 €
TGY-4085	10 €
HK.15338	14 €
S901D	18 € (9 € tükk)
MW7H50GS	27 €
2x1000x2000mm A1050	35 € * [29]
Juhtmed, laagrid, kruvid, võllid jt	...50 €

\* Hinnapakkumisele vastati 14.05.2015

Kui jätta arvestamata materjale, on mootorite ja juhtseadme hind kokku 60 €. See on enam kui poole madalam Lynxmotioni sarnaste parameetritega roboti komponentide maksumusest. Kui aga võtta juurde ka materjali, detailide ning toiteadapteri maksumus, tuleb prototüübi hinnaks ligikaudu 175 €. Seadme masstootmisesse viimise korral väheneksid kindlasti komponentide ja materjalide hinnad, kuid see-eest lisanduksid maksud ja teised kulutused. Sellel, milline oleks toote hind, kui see turule tuua, ei ole mõtet pikemalt peatuda. Tegemist on siiski projekti looja isikliku kasutuse jaoks mõeldud seadmega.

## 7. Kokkuvõte

Käesolevas töös on projekteeritud lihtne ja odav robotmanipulaator, mille abil on võimalik harjutada ja õppida robotite programmeerimist.

Roboti konstruktsioon on valmistatud 2 mm paksusest alumiiniumist, mootoriteks on valitud Turnigy STY-4085, Turnigy S901D ja HK-15338. Mootorid on oma parameetrite ja omaduste poolest valitud just konkreetse roboti jaoks optimaalsed. Mootorite juhtimine toimub läbi Arduino Uno juhtseadme ning vool tuleb läbi MW7H50GS reguleeritava toiteadapteri.

Seadme kasutaja seisukohalt on see lihtne ja robustne. Roboti juhtseadmel on väga suur tugikond, kes aitavad programmeerida ja pakuvad juba valmis koodi igasuguste lahenduste jaoks. Oma omaduste poolest jääb see turul olevate Dagu ja Lynxmotion robotite vahele. Hinna poolest on see 50-150 € odavam samadest robotitest.

Ülesande püstituses märgitud odava hinna juurde pürgimine võib näida luhunud katsena, kui vaadata kulude kalkulatsiooni (pt.6.). Tegelikuses tuleb aga reaalse projekti maksumus veelgi odavam tänu juba olemasolevatele komponentidele.

Seade leiab tulevikus kasutust isikliku lauakaunistuse/õppevahendina.

## 8. Summary

The aim of this project was to design a simple and cheap robotic arm toy that would help to practice and learn the programming of robots.

The body of the robot is made of 2mm aluminium sheet. Motors used are Turnigy STY-4085, Turnigy S901D and HK-15338. Motors are chosen to fit this exact project. Motors are controlled by Arduino Uno controller and power is supplied by MW7H50GS tunable power adaptor.

From the perspective of the user, the robot is cheap and strong. Arduinos have a huge community who are willing to help with programming and also provide already functional programs for all sorts of different features. By specifications, this robot is somewhere between Dagu and Lyxmotion robot. Pricewise it is (50-150) € cheaper than those mentioned before.

The cheap price factor of this project may seem like a failed objective if you look at the calculations in part 6. In reality, the expenses of the robot are going to be even lower thanks to already owned components.

This device is going to be used as a desk ornament/learning device.

## Kasutatud kirjandus

- [1] Omnico US, "OWI Robots," [Online]. Available: <http://www.owirobots.com/store/catalog/robotic-arm-and-accessories/owi-535-robotic-arm-edge-kit-110.html>.
- [2] RobotShop Distributon Inc, "RobotShop Robot Store," 2015. [Online]. Available: <http://www.robotshop.com/en/dagu-6-degrees-of-freedom-robotic-arm.html>. [Accessed 28 aprill 2015].
- [3] DAGU Hi-Tech Electronic Co.,LTD, "DAGU 6DOF aluminum robotic arm," 2005. [Online]. Available: <http://www.dagurobot.com/goods.php?id=68>. [Accessed 7 mai 2015].
- [4] RobotShop inc, "Lynxmotion Robot Kits," 2015. [Online]. Available: <http://www.lynxmotion.com/c-124-al5a.aspx>. [Accessed 7 mai 2015].
- [5] RobotShop inc, "Lynxmotion Robot Kits," 2015. [Online]. Available: <http://www.lynxmotion.com/c-130-al5d.aspx>. [Accessed 7 mai 2015].
- [6] ". <http://www.instructables.com/member/zlite/>, "Control an OWI Robotic Arm with Arduino," 2012. [Online]. Available: <http://www.instructables.com/id/Intro-and-what-youll-need/>. [Accessed 7 mai 2015].
- [7] RobotShop inc, "Lynxmotion SSC-32U USB Servo Controller," 2015. [Online]. Available: <http://www.lynxmotion.com/p-1032-ssc-32u-usb-servo-controller.aspx>. [Accessed 7 mai 2015].
- [8] HexTronik Limited, "Hitec HS-485HB Deluxe servo 4.8kg/45g/0.22sec: HobbyKing," [Online]. Available: [http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/\\_\\_9811\\_\\_Hitec\\_HS\\_485HB\\_Deluxe\\_servo\\_4\\_8kg\\_45g\\_0\\_22sec.html?strSearch=485hb](http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/__9811__Hitec_HS_485HB_Deluxe_servo_4_8kg_45g_0_22sec.html?strSearch=485hb). [Accessed 7 mai 2015].
- [9] Convert Units, "Measurement Unit Converter," [Online]. Available: <http://www.convertunits.com/from/kg-cm/to/N-m>. [Accessed 15 mai 2015].
- [10] HexTronik Limited, "Hitec HS-805BB Mega 1/4 Scale servo 19.8kg/152g/0.19sec," [Online]. Available: [http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/\\_\\_9810\\_\\_Hitec\\_HS\\_805BB\\_Mega\\_1\\_4\\_Scale\\_servo\\_19\\_8kg\\_152g\\_0\\_19sec.html?strSearch=805bb](http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/__9810__Hitec_HS_805BB_Mega_1_4_Scale_servo_19_8kg_152g_0_19sec.html?strSearch=805bb). [Accessed 7 mai 2015].
- [11] Robotzone, LLC, "HS-755HB 1/4 Scale," 1999. [Online]. Available: [https://www.servocity.com/html/hs-755hb\\_1\\_4\\_scale.html#.VUtlCfmqqgY](https://www.servocity.com/html/hs-755hb_1_4_scale.html#.VUtlCfmqqgY). [Accessed 7 mai 2015].
- [12] Robotzone, LLC, "HS-645MG Ultra Torque," 1999. [Online]. Available: [https://www.servocity.com/html/hs-645mg\\_ultra\\_torque.html#.VUtlxvmqqgY](https://www.servocity.com/html/hs-645mg_ultra_torque.html#.VUtlxvmqqgY). [Accessed 7 mai 2015].

- [13] J. Salt, "UNDERSTANDING RC SERVOS," 2008. [Online]. Available: <http://www.rchelicopterfun.com/rc-servos.html>. [Accessed 2 mai 2015].
- [14] Transfer Multisort Elektronik Sp. z o.o, "Arduino Leonardo," [Online]. Available: [http://www.tme.eu/ee/details/a000057/arduino-arenduskomplektid/arduino/arduino-leonardo-\\_headers/?gclid=CMiw6culr8UCFSPnwgodWDMAXQ#](http://www.tme.eu/ee/details/a000057/arduino-arenduskomplektid/arduino/arduino-leonardo-_headers/?gclid=CMiw6culr8UCFSPnwgodWDMAXQ#). [Accessed 9 mai 2015].
- [15] Transfer Multisort Elektronik Sp. z o.o, "Arduino Uno Rev 3," [Online]. Available: <http://www.tme.eu/ee/details/a000066/arduino-arenduskomplektid/arduino/arduino-uno-rev3/#>. [Accessed 9 mai 2015].
- [16] Arduino, "ArduinoBoardUno," 2015. [Online]. Available: <http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>. [Accessed 10 mai 2015].
- [17] T. Hirzel, "Arduino - PWM," 2015. [Online]. Available: <http://www.arduino.cc/en/Tutorial/PWM>. [Accessed 10 mai 2015].
- [18] Hobbyking.com, "Turnigy TGY-4805-1.5PA Sail Winch Servo (Drum Type)," 2015. [Online]. Available: [http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/\\_\\_42638\\_\\_Turnigy\\_TGY\\_4805\\_1\\_5PA\\_Sail\\_Winch\\_Servo\\_Drum\\_Type\\_.html](http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/__42638__Turnigy_TGY_4805_1_5PA_Sail_Winch_Servo_Drum_Type_.html). [Accessed 7 mai 2015].
- [19] HexTronik Limited, "HobbyKing™ HK15338 Giant Digital Servo MG 175g / 25kg / 0.21s," 2015. [Online]. Available: [http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/\\_\\_23491\\_\\_HobbyKing\\_8482\\_HK15338\\_Giant\\_Digital\\_Servo\\_MG\\_175g\\_25kg\\_0\\_21s.html](http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/__23491__HobbyKing_8482_HK15338_Giant_Digital_Servo_MG_175g_25kg_0_21s.html). [Accessed 3 mai 2015].
- [20] HexTronik Limited, "Turnigy TGY-S901D Metal Gear Digital Robot Servo 13kg / 0.14sec / 58g," 2015. [Online]. Available: [http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/\\_\\_27556\\_\\_Turnigy\\_TGY\\_S901D\\_Metal\\_Gear\\_Digital\\_Robot\\_Servo\\_13kg\\_0\\_14sec\\_58g.html](http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/__27556__Turnigy_TGY_S901D_Metal_Gear_Digital_Robot_Servo_13kg_0_14sec_58g.html). [Accessed 5 mai 2015].
- [21] M. SINICO, "Servo HK15338," 29 juuli 2014. [Online]. Available: <https://grabcad.com/library/servo-hk15338-1>. [Accessed 8 mai 2015].
- [22] D. Martens, "Turnigy TGY-S901D Servo," 3 jaanuar 2015. [Online]. Available: <https://grabcad.com/library/turnigy-tgy-s901d-servo-1>. [Accessed 8 mai 2015].
- [23] C. Benson, "Robot Arm Torque Tutorial: Robotshop," 28 veebruar 2013. [Online]. Available: <http://www.robotshop.com/blog/en/robot-arm-torque-tutorial-7152>. [Accessed 10 mai 2015].
- [24] RB1, "Robot Arm Torque Calculator," 7 märts 2013. [Online]. Available: <http://www.robotshop.com/blog/en/robot-arm-torque-calculator-9712>. [Accessed 10 mai 2015].
- [25] F. k. OddBot, "What servos use what amperage?: LetsMakeRobots," 2 oktoober 2013. [Online]. Available: <http://letsmakerobots.com/content/what-servos-use-what-amperage>. [Accessed 13 mai 2015].

- [26] Transfer Multisort Elektronik Sp. z o.o, "MW7H50GS: Transfer Multisort Elektronik," [Online]. Available: <http://www.tme.eu/en/details/mw7h50gs/mains-power-supplies/>. [Accessed 13 mai 2015].
- [27] Arduino, "Arduino Playground - PanasonicIrSensor," [Online]. Available: <http://playground.arduino.cc/Main/PanasonicIrSensor>. [Accessed 14 mai 2015].
- [28] biomech75, "Arduino+Servo+Potentiometer: Instructables," 2014. [Online]. Available: <http://www.instructables.com/id/ArduinoServoPotentiometer/>. [Accessed 14 mai 2015].
- [29] Proplastik OÜ, "Alumiiniumi lehed: Proplastik," [Online]. Available: <http://www.proplastik.ee/alumiinium-lehed>. [Accessed 14 mai 2015].
- [30] S. f. k. λ. UVI, "Stall torque for servo, kg/cm? : StackExchange," 25 mai 2010. [Online]. Available: <http://electronics.stackexchange.com/questions/2749/stall-torque-for-servo-kg-cm>. [Accessed 10 mai 2015].



## **Lisad ja tehnilised joonised**

## Ir sensori kasutamiseks loodud kood

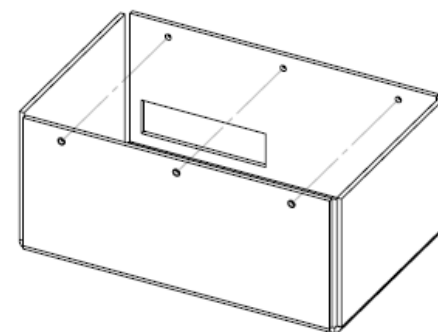
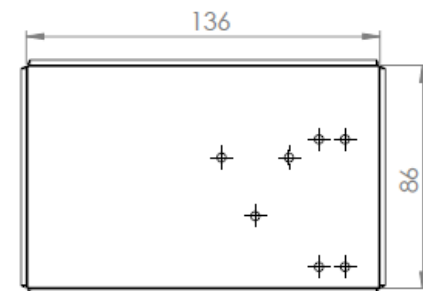
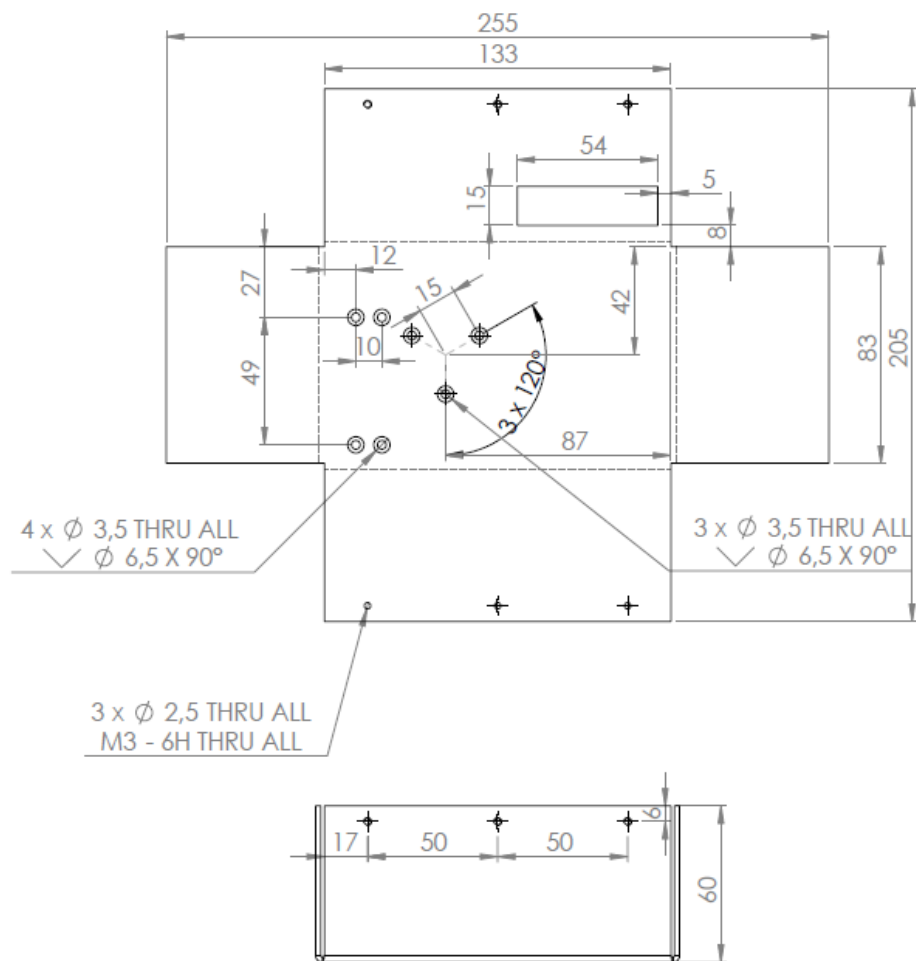
```
//define pins. I used pins 4 and 5
#define irLedPin 4          // IR Led on this pin
#define irSensorPin 5      // IR sensor on this pin

int irRead(int readPin, int triggerPin); //function prototype

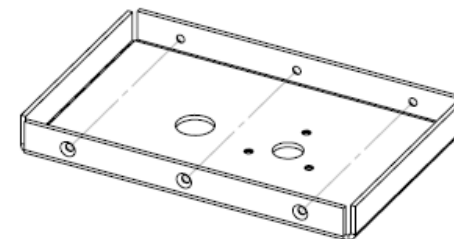
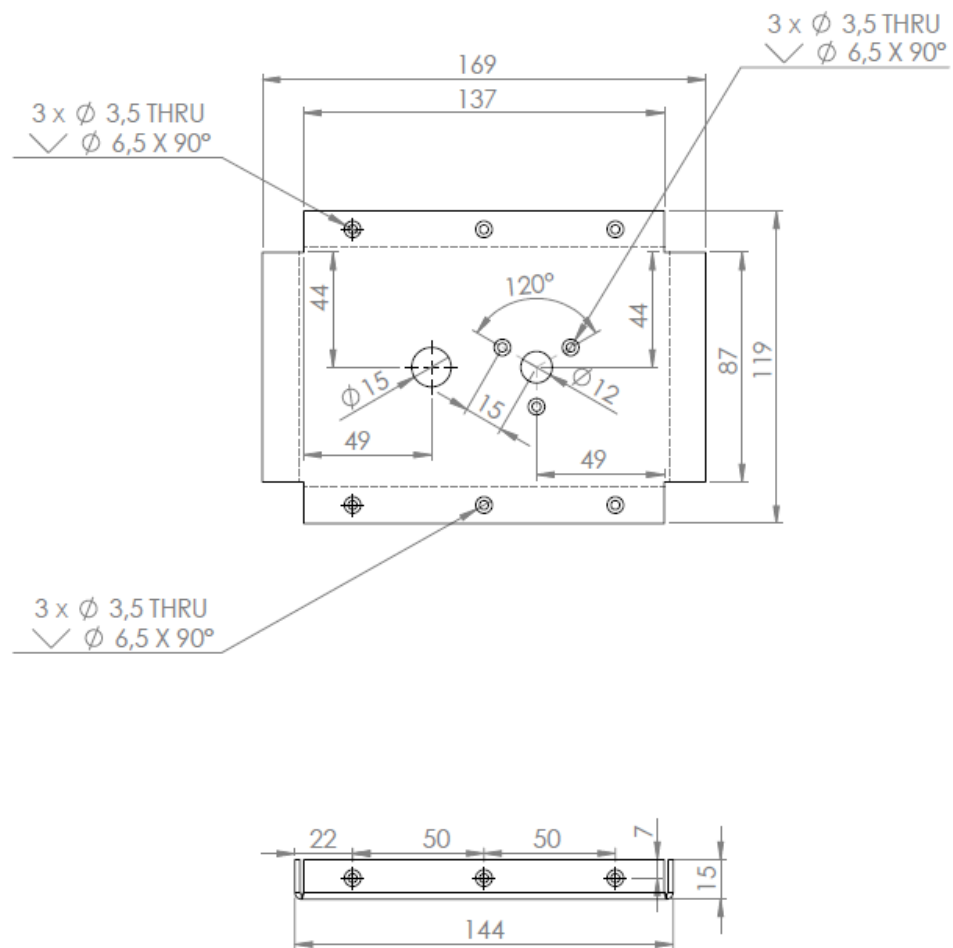
void setup()
{
  pinMode(irSensorPin, INPUT);
  pinMode(irLedPin, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
  // prints title with ending line break
  Serial.println("Program Starting");
  // wait for the long string to be sent
  delay(100);
}

void loop()
{
  Serial.println(irRead(irSensorPin, irLedPin)); //display the results
  delay(10); //wait for the string to be sent
}

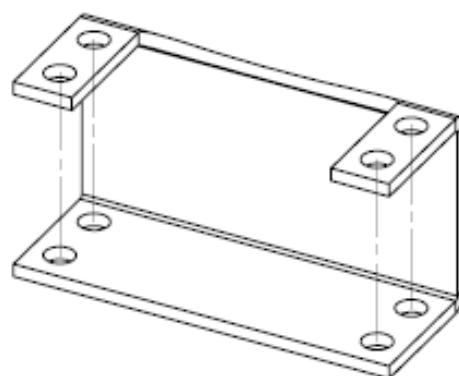
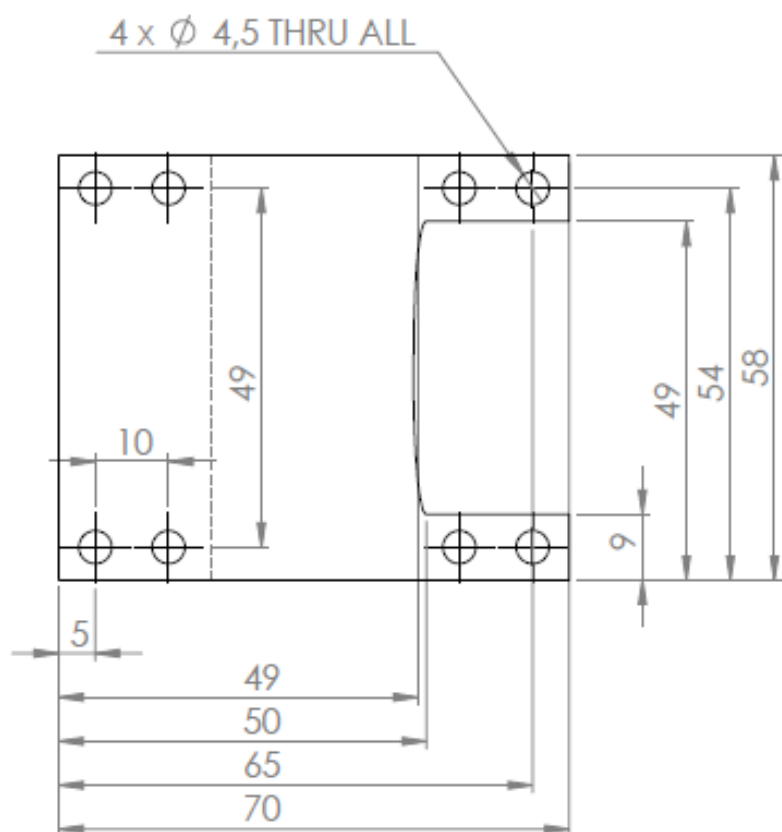
/.....
* This function can be used with a panasonic pna4602m ir sensor
* it returns a zero if something is detected by the sensor, and a 1 otherwise
* The function bit bangs a 38.5khZ waveform to an IR led connected to the
* triggerPin for 1 millisecond, and then reads the IR sensor pin to see if
* the reflected IR has been detected
...../
int irRead(int readPin, int triggerPin)
{
  int halfPeriod = 13; //one period at 38.5khZ is aproximately 26 microseconds
  int cycles = 38; //26 microseconds * 38 is more or less 1 millisecond
  int i;
  for (i=0; i <=cycles; i++)
  {
    digitalWrite(triggerPin, HIGH);
    delayMicroseconds(halfPeriod);
    digitalWrite(triggerPin, LOW);
    delayMicroseconds(halfPeriod - 1);    // - 1 to make up for digitalWrite overhead
  }
  return digitalRead(readPin);
}
```



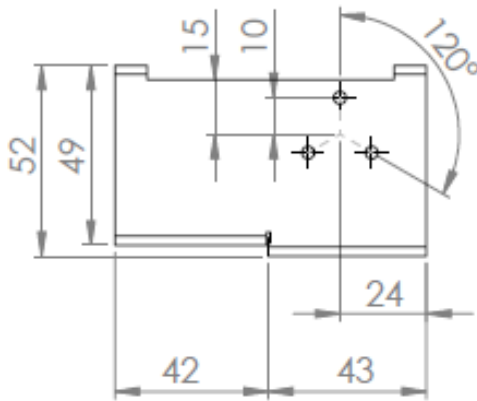
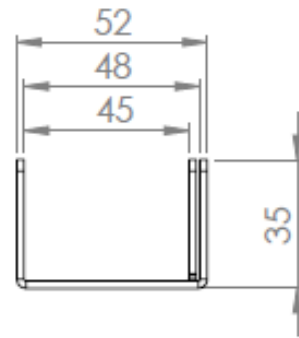
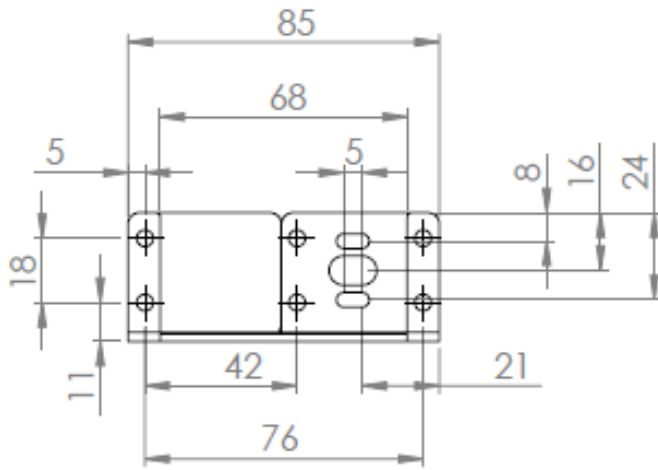
	Bakalaureusetöö MHE40LT	Materjal A1050	Möötkava 1:2	Mass
Koostaja	Margus Teearu	01- Korpused alumine		
Juhendaja	Priit Põdra			
	TALLINNA TEHNIKAÜLICOOL MEHHAANIKATEADUSKOND	123503MAHB	Tallinn 2015	



	Bakalaureusetöö MHE40LT	Materjal	A1050	Mõõtkava	Mass
	Koostaja	Margus Teearu	02-Korpuse kaas		
Juhendaja	Priit Põdra				
	TALLINNA TEHNIKAÜLICOOL MEHANIKA TEADUSKOND	123503MAHB	Tallinn 2015		



	Bakalaureusetöö MHE40LT	Materjal	A1050	Mõõtkava	1:1	Mass
Koostaja	Margus Teearu	03-Mootorikinnitus				
Juhendaja	Priit Põdra					
	TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL MEHHAANIKATEADUSKOND		123503MAHB	Tallinn 2015		

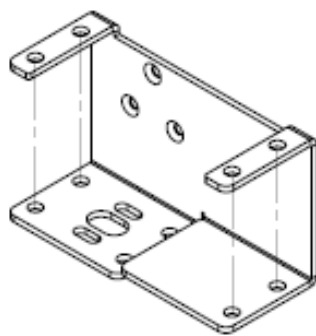
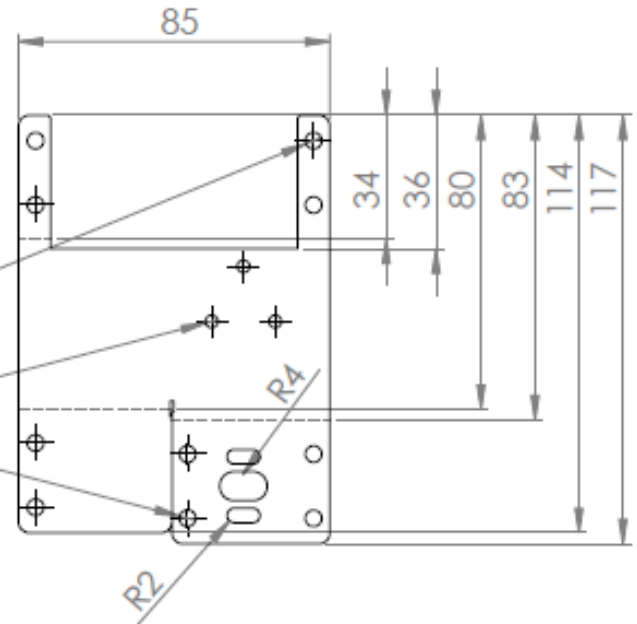


4 x  $\phi$  4,5 THRU ALL

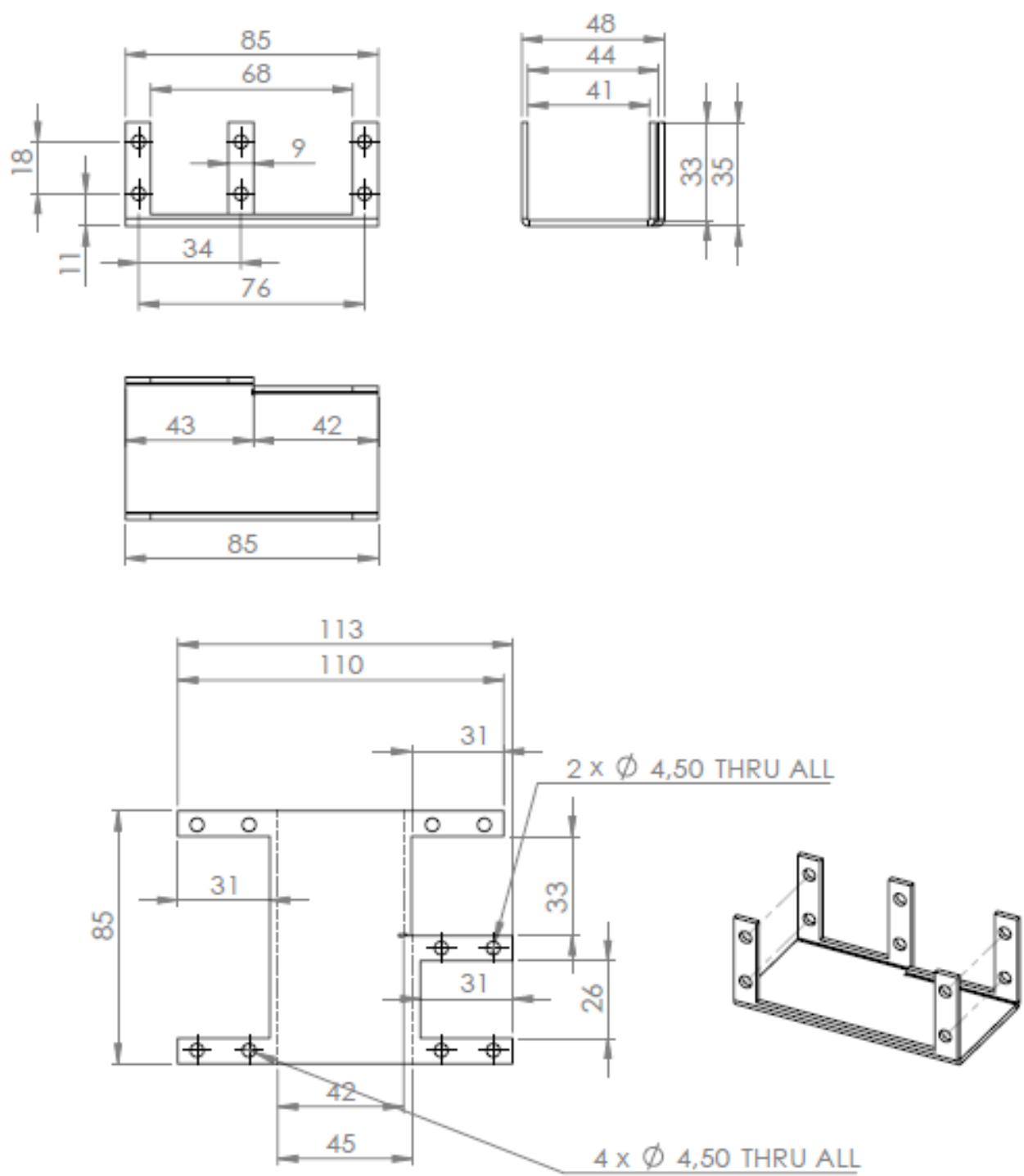
3 x  $\phi$  3,5 THRU ALL

$\surd$   $\phi$  6,5 X 90°

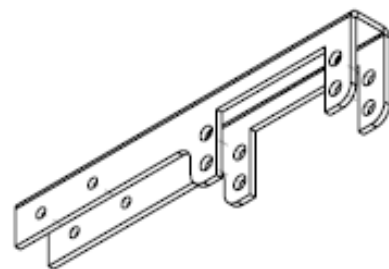
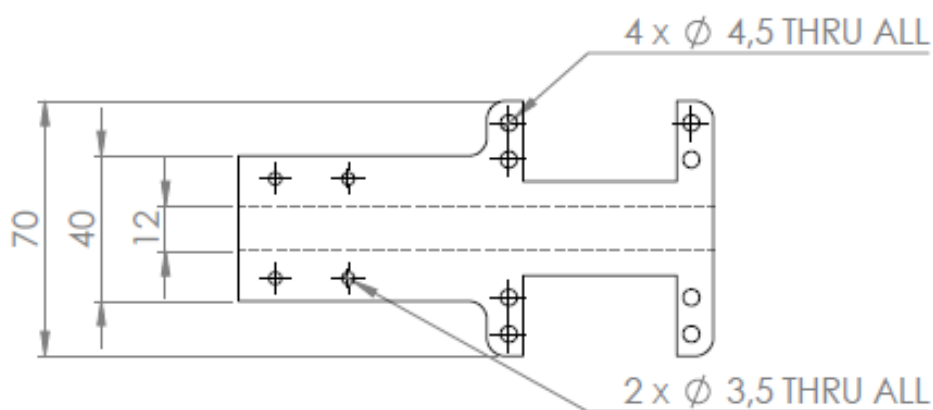
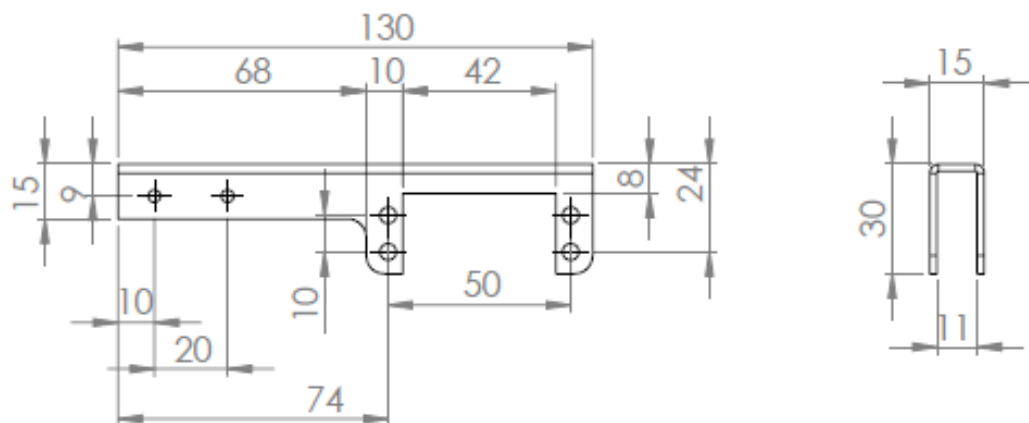
2 x  $\phi$  4,5 THRU ALL



	Bakalaureusetöö MHE40LT	Materjal	A1050	Mõõtkava	Mass
Koostaja	Margus Teearu	04-Mootori alumine korpus			
Juhendaja	Priit Põdra				
	TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL MEHANIKA TEADUSKOND		123503MAHB	Tallinn 2015	

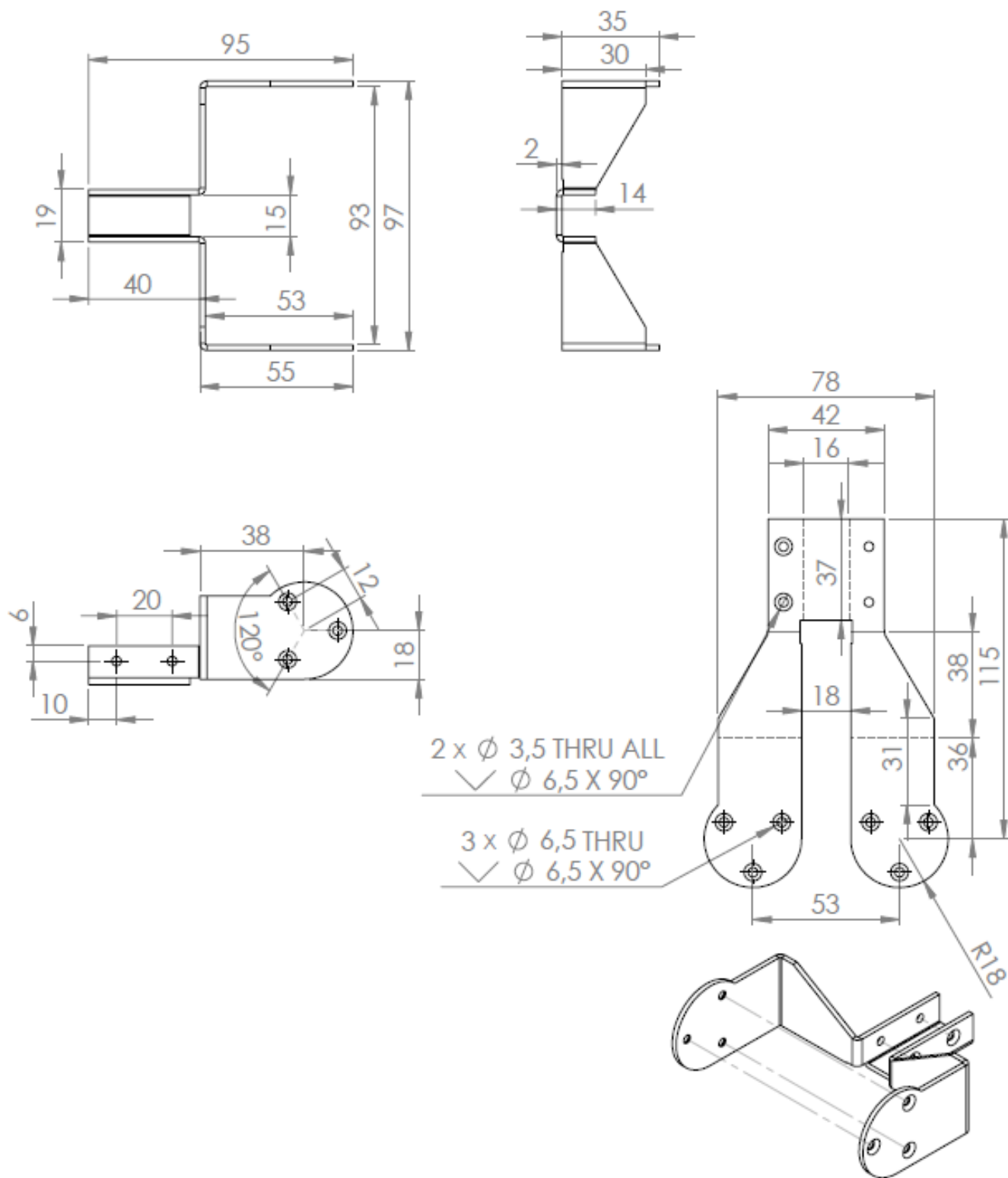




	<b>Bakalaureusetöö MHE40LT</b>	<b>Materjal</b> A1050	<b>Möötkava</b> 1:2	<b>Mass</b>
<b>Koostaja</b>	Margus Teearu	<b>05-Mootori ülemine korpus</b>		
<b>Juhendaja</b>	Priit Põdra			
TALLINNA TEHNIKAÜLICOOL MEHAAKATEADUSKOND	123503MAHB		Tallinn 2015	

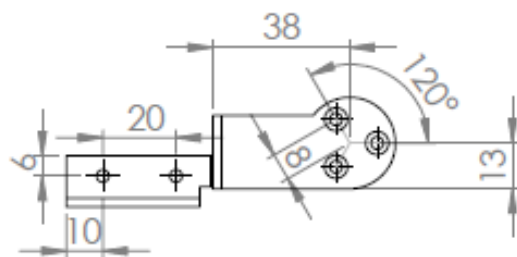
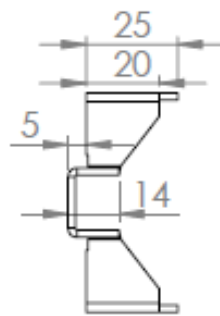
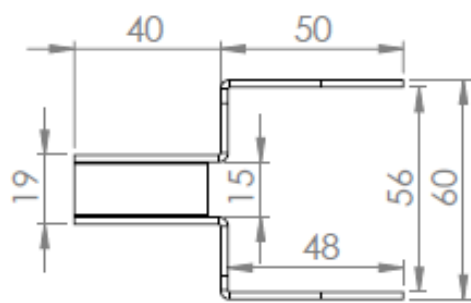


	Bakalaureusetöö MHE40LT	Materjal	A1050	Mõõtkava	1:2	Mass
Koostaja	Margus Teearu	06-Ligend				
Juhendaja	Priit Põdra					
	TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL MEHAANIKATEADUSKOND		123503MAHB	Tallinn 2015		

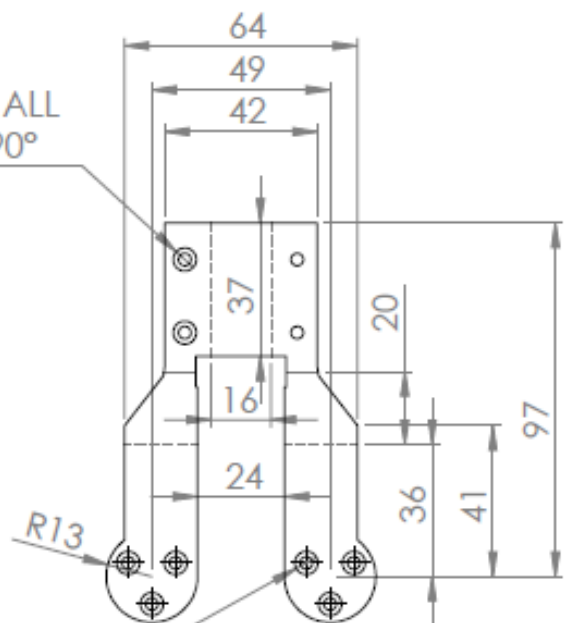




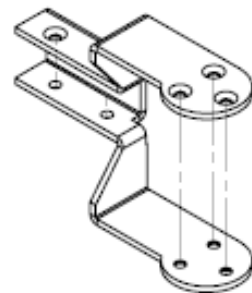
	Bakalaureusetöö MHE40LT	Materjal	A1050	Mõõtkava	Mass
Koostaja	Margus Teearu	07-L1 kinnitus			
Juhendaja	Priit Põdra				
	TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL MEHHAANIKATEADUSKOND		123503MAHB	Tallinn 2015	





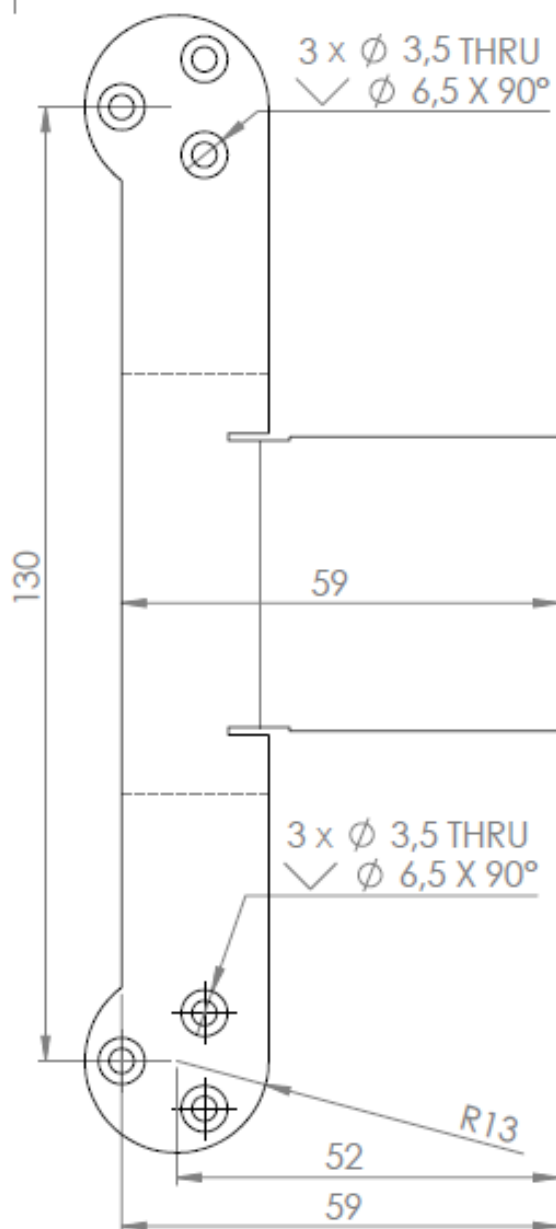
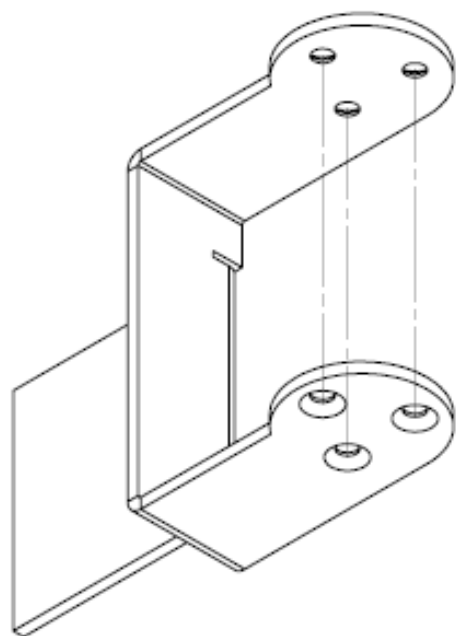
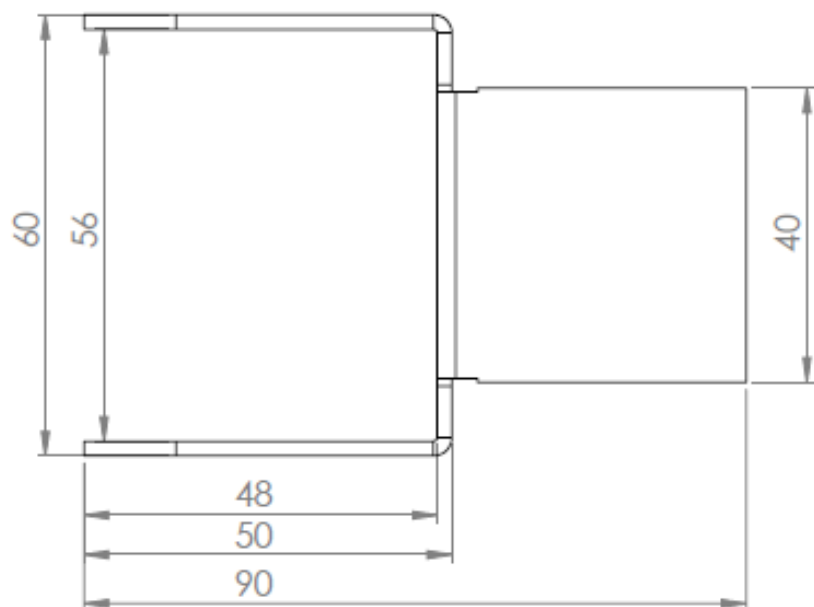
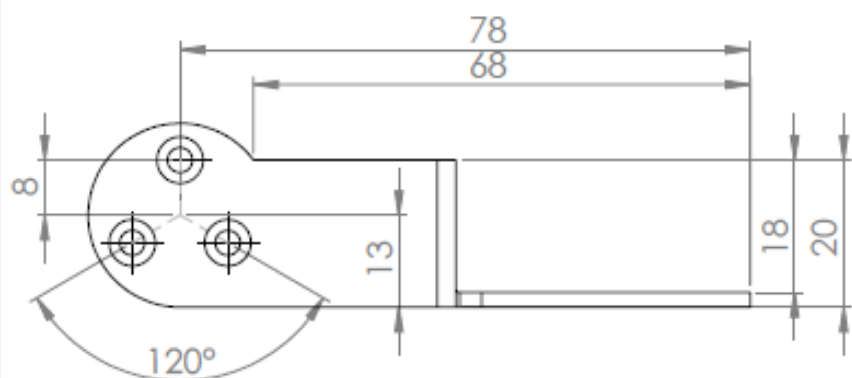
2 x  $\phi$  3,5 THRU ALL  
 $\surd$   $\phi$  6,5 X 90°



3 x  $\phi$  3,5 THRU  
 $\surd$   $\phi$  6,5 X 90°



	Bakalaureusetöö MHE40LT	Materjal	A1050	Mõõtkava	Mass
Koostaja	Margus Teearu	08-L2 kinnitus			
Juhendaja	Priit Põdra				
	TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL MEHHAANIKATEADUSKOND		123503MAHB	Tallinn 2015	



	Bakalaureusetöö MHE40LT	Materjal	A1050	Mõõtkava	Mass
Koostaja	Margus Teearu	09-L3 liigend			
Juhendaja	Priit Põdra				
	TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL MEHHAANIKATEADUSKOND		123503MAHB	Tallinn 2015	