



EESTI MAAÜLIKOOL  
Metsanduse ja inseneeria instituut

**Matio Ansip**

**ROBOTMANIPULAATORI JA KONVEIERI  
KOOSTÖÖSÜSTEEMI ARENDUS 3D PRINTIMISEKS**

DEVELOPMENT OF ROBOT MANIPULATOR AND  
CONVEYOR CO-OPERATION SYSTEM FOR 3D PRINTING

Rakenduskõrgharidusõppe lõputöö  
Tehnotroonika õppekava

Juhendaja: Indrek Virro, *MSc*

Tartu 2022

# LÜHIKOKKUVÕTE

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51006	Rakenduskõrgharidusõppe lõputöö lühikokkuvõte		
Autor: Matio Ansip	Õppekava: Tehnotroonika		
Pealkiri: Robotmanipulaatori ja konveieri koostöösüsteemi arendus 3D printimiseks			
Lehekülgi: 31	Jooniseid: 25	Tabeleid: 1	Lisaid: 3
Õppetool: Biomajandustehnoloogiate õppetool ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood: CERCS: T125 Automatiseerimine, robotika, control engineering Juhendaja(d): Indrek Virro, MSc Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2022			
Käesoleva lõputöö eesmärk on projekteerida koostöösüsteem robotmanipulaatori UR3 ja konveieri vahel. Antud lõputöös uuriti suuremõõtmeliste detailide printimise protsessi robotiga. Projekteeriti konveier ja uuriti võimalusi ühendada robotmanipulaator ning konveier ühiseks süsteemiks.			
Märksõnad 3D printimine, tööstusrobot, konveier, prototüüpimine			

# ABSTRACT

Estonian University of Life Sciences		Professional Higer Education Thesis	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51006			
Author: Matio Ansip		Curriculum: Technotronics	
Title: Development of robot manipulator and conveyor co-operation system for 3D printing			
Pages: 31	Figures: 25	Tables: 1	Appendixes: 3
Chair: Chair of Biosystems Engineering			
Field of research and (CERC S) code:CERCS: T125 Automation, robotics, control engineering			
Supervisors: Indrek Virro, MSc			
Place and date: Tartu 2022			
Goal of this research project is to design co-operation system between robot manipulator UR3 and a conveyor. In this dissertation, process of large scale 3D printing with robot was researched. Conveyor was designed and different methods of communications were researched to connect conveyor with robotmanipulator.			
Keywords: 3D printing, automation, robot manipulator, conveyor, prototyping			

## Sisukord

LÜHIKOKKUVÕTE.....	2
ABSTRACT.....	3
SISSEJUHATUS.....	5
1. 3D PRINTIMINE.....	6
1.1 Suuremõõtmeliste 3D printerite vajadus prototüüpide valmistamiseks.....	6
1.2 Suuremõõtmeliste 3D printerite komponendid.....	7
1.3 Olemasolevad lahendused suurte detailide printimiseks.....	8
1.4 Robotmanipulaatori kasutamine koos konveieriga.....	10
2. 3D PRINTIMINE ROBOTMANIPULAATORIGA.....	12
2.1 Näiteid robotite kasutamisest 3D printimises.....	12
2.1.1 Ehitiste 3D printimine.....	12
2.1.2 3D metalli printimine traat keevitusega.....	13
2.2 3D printimine robotiga UR3 ja tööraja genereerimine.....	15
2.2.1 3D printimise eeltöö.....	15
2.2.2 Mudeli kihistamine ning kihtide nihutamine.....	15
2.2.3 Konveierile printimine.....	16
2.3 Printimispea robotile UR3.....	17
2.3.1 Printimispea kiirvahetussüsteem.....	17
2.3.2 Kuumutuspea ja otsik, nende kinnitus.....	18
2.3.3 printimispea tööpõhimõte ning asend tööpinna suhtes.....	19
3. KONVEIER.....	21
3.1 Konveieri konstruktsioon.....	21
3.2 Konveieri printimispinna valik.....	22
3.3 Konveieri aluspinna kuumutamine.....	22
3.4 Konveieri pingutusmehhanism.....	23
3.5 Konveieri lindi liigutamine, mootor.....	24
4. ROBOTI JA KONVEIERI JUHTIMINE.....	26
4.1 Konveieri seadistamine ja juhtimine.....	26
4.1.1 Konveieri seadistamine.....	26
4.1.2 Konveieri juhtimine digitaalsete sisendite ja väljundite abil.....	26
4.1.3 Modbus konveieri juhtimiseks.....	27
4.2 Printimisprotsessi ülevaade.....	27
4.2.1 Tööraja genereerimine, konveieri seadistus.....	27
4.2.2 RoboDK tarkvara seadistus.....	28
4.3 Roboti ja konveieri tööala.....	29
4.3.1 Roboti ja konveieri omavaheline paigutus.....	29
4.3.2 Roboti ja konveieri tööruum.....	29
4.4 3D printimise koostöösüsteemi edasise arendamise võimalused.....	30
4.4.1 Robot Operating System.....	30
4.4.2 LinuxCNC.....	30
KOKKUVÕTE.....	31
KASUTATUD KIRJANDUS.....	32
LISAD.....	35
LISA A – Konveieri tehnilised joonised.....	36
LISA B – 3D printimise tööriista tehnilised joonised.....	37
LISA C – Lihtlitsents.....	38

## SISSEJUHATUS

Antud lõputöö eesmärk on arendada robotmanipulaatori ja konveieri koostöösüsteemi 3D printimiseks. Sellise 3D printimissüsteemi eesmärgiks on printida suuremõõtmelisi prototüüpe kiirelt ja odavalt.

Töö esimeses osas uuriti suuremõõtmelist 3D printimist. Leiti suuremõõtmeliste detailide printimise eripärad ning otsiti olemasolevaid lahendusi. Võrreldi 3D printimise kiiruseid erinevate otsikumõõtude juures. Toodi välja ka eelised, miks kasutada robotit konveierile printimiseks.

Töö teises osas leiti protsess, kuidas valmistada ette mudel 3D printimiseks konveierile robotiga. Leiti kuidas peaks konveier töötama koos robotiga ning kuidas kasutada RoboDK tarkvara 3D printimiseks.

Töö kolmandas osas uuriti robotmanipulaatori UR3 kinemaatikat ning tööala. Selles osas projekteeriti ka konveier. Otsiti sobivad materjalid konstruktsiooni ehitamiseks ning projekteeriti erinevad mootorikinnitused ja reguleerimissõlmed. Leiti ka sobiv konveieri materjal, millele saab 3D printida. Samuti leitakse lahendus ühtlaseks aluspinna kuumutamiseks ning konveierilindi liigutamiseks.

Töö neljandas osas projekteeritakse seadistus konveieri ja robotmanipulaatori optimaalseks koostööks. Kirjeldatakse 3D printimiseks vajaliku eeltööd ning roboti võimekust. Samuti pakutakse välja arenguvõimalusi ning alternatiive töös käsitletud ühendus ja suhtlusmeetoditele.

# 1. 3D PRINTIMINE

## 1.1 Suuremõõtmeliste 3D printerite vajadus prototüüpide valmistamiseks

Suuremõõtmelised 3D printerid on eelkõige vajalikud seadmete ja masinate prototüüpimiseks. 3D printimine on odav ja kiire meetod erinevate keeruliste katete ja masinaelementide valmistamiseks. Enamlevinud suurusega tööladega 3D printerite puhul tuleb suuremad detailid jagada väiksemateks elementideks mis tuleb hiljem kokku liimida. Probleeme võib tekkida detailide kokkusobitamisel – tekivad ebatäpsused ja nõrgad kohad. Suuremõõtmeliste printeritega seda probleemi ei ole kuna prinditud detailid on monoliitsed.

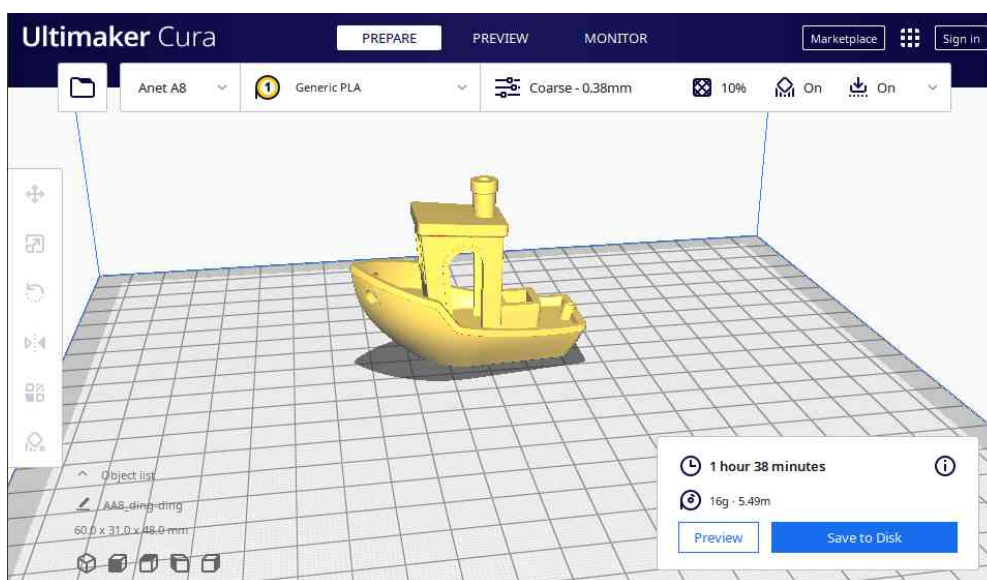
Suurte detailide puhul on võimalik, et detailide ebaühtlase jahtumise ja kuumutamise tõttu tekivad pinged. Need pinged võivad detaili deformeerida ning halvemal juhul ka printimise ajal detaili aluspinnalt lahti tõmmata.

Mudeli kihistamine tuleb samuti seadistada korrektselt. Olenevalt detaili eesmärgist, peab valima sobiva kihi kõrguse ja täitematerjali hulga. Parema pinnakvaliteedi saavutamiseks kulub rohkem aega. Kihi kõrgusest sõltub detaili pinnakvaliteet. Eelnevalt kujutatud tabelis 1 on näha kui palju sõltub printimise aeg kihi kõrgusest.

Suuremõõtmeline 3D printimine ei ole üldjuhul mõeldud hästi viimistletud detailide printimiseks, küll aga on see ideaalne viis kiirelt ja odavalt prototüüpe valmistada.

## 1.2 Suuremõõtmeliste 3D printerite komponendid

Suurte detailide puhul kulub printimiseks palju aega. Kiirendamiseks printimist, tuleb valida sobivad printeri detailid. Alustada tuleb 3D printeri otsiku valikust. Valida tuleks võimalikult suure avaga otsik. Suurem otsik laseb läbi rohkem materjali, mistõttu saab kihi kõrgus olla suurem. Kasutades Ultimaker Cura tarkvara, võrreldi erinevat mõõtu otsikute kiiruseid. Kasutatud mudel on laialt levinud *Benchy* millega katsetatakse erinevaid 3D printereid. [1] Joonisel 1 on kujutatud mudel ning tarkvara. All paremas nurgas on näha printimiseks kuluv aeg rämeda seadistuse juures.



Joonis 1. Benchy mudel ning tarkvara Ultimaker Cura.

Seadistus on tarkvara enda poolt pakutud. Seadistatud printeri otsiku ava läbimõõt on 0,4 mm ning kihi kõrgus on 0,32 mm. Printimiseks kuluv aeg on 1 tund ja 38 minutit. Kihi kõrgus valiti Mikolas Zusa poolt kirjutatud artikli järgi, mille kohaselt soovitatakse maksimaalseks kihi kõrguseks valida 80% otsiku ava läbimõödust. [2] Kui kihi kõrgus on liiga suur, tekib probleeme kihtide kokkukleepumisega. Tarkvaras muudeti otsikute ava läbimõõtu ning kihi kõrgust. Andmeid koguti 0,4 mm, 0,6 mm, 0,8 mm ja 1 mm otsiku kohta. Tabelis 1 on toodud erinevate otsikute ja vastavalt printimiseks kuluva aja andmed

Kogutud andmetest koostati tabel, mille abil on lihtne võrrelda printimiseks kuluvat aega.

**Tabel 1.** Printimiseks kuluv aeg sõltuvalt otsikust ja kihi kõrgusest

Otsiku ava läbimõõt (mm)	Kihi kõrgus (mm)	Kuluv aeg (min)
0,4	0,32	98 min
0,6	0,48	1 min
0,8	0,64	31 min
1	0,8	29 min

On näha, et kuluv aeg 1 mm ja 0,8 mm otsiku vahel ei erine väga palju. Seda väikse mudeli tõttu. Suuremate mudelite puhul on see erinevus suurem. Lisaks veel, pole tarkvaras täpselt seadistatud liikumiskiiruseid ja materjali vooluhulkasid – kõiki neid seadistusi korigeerides saaks printimist kiirendada oluliselt.

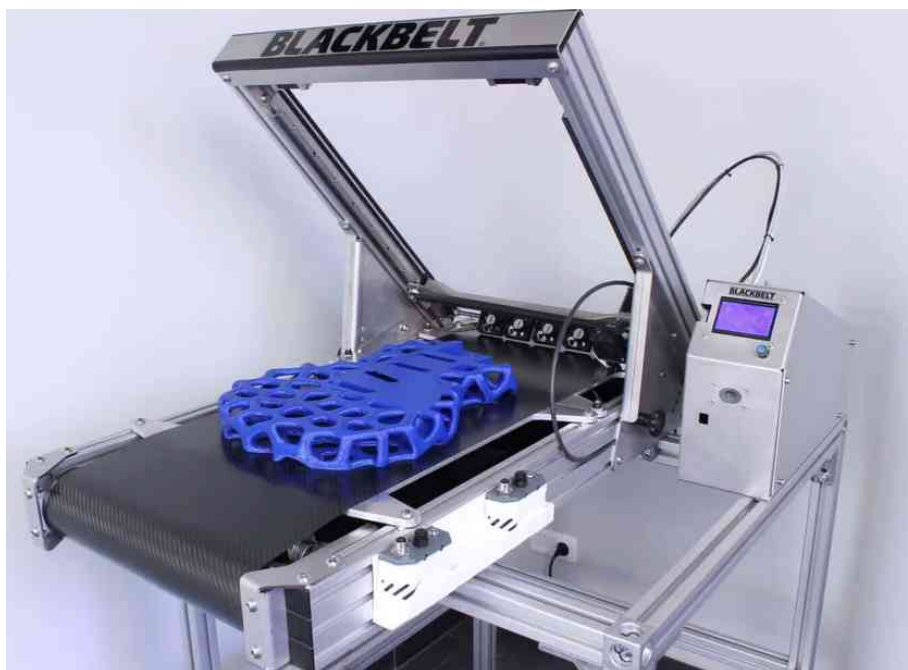
### 1.3 Olemasolevad lahendused suurte detailide printimiseks

Suure töömahuga 3D printereid on saadaval. Printerid lihtsalt suure tööalaga. Suurte 3D printerite tootjaid on mitmeid. Näiteks tootja *BigRep* valmistab suuri 3D printereid, mille printimisruumi mõõdud on 1005mm X, Y ja Z teljes. [3]. Joonisel 2 on pilt nende 3D printerist.



**Joonis 2.** BigRep 3D printer.[3]

Arengujärgus on ka konveieriga 3D printerid. Joonisel 3 on näha BlackBelt 3D printer. [4] Antud 3D printeri Z telg on asendatud horisontaaltasapinnas asetseva konveieriga. Printeri Y teljeks on kaldu asetsev telg. Nurk Y ja Z telje vahel on 45 kraadi.



**Joonis 3.** BlackBelt 3D printer. [4]

Konveier võib sellist tüüpi printeril olla väga pikk. Sellise printeriga saab printida väga pikki või automaatselt printida mitmeid väiksemaid detaile. Joonisel 4 on näha kuidas konveierprinteril on pooleli pika detaili printimine.

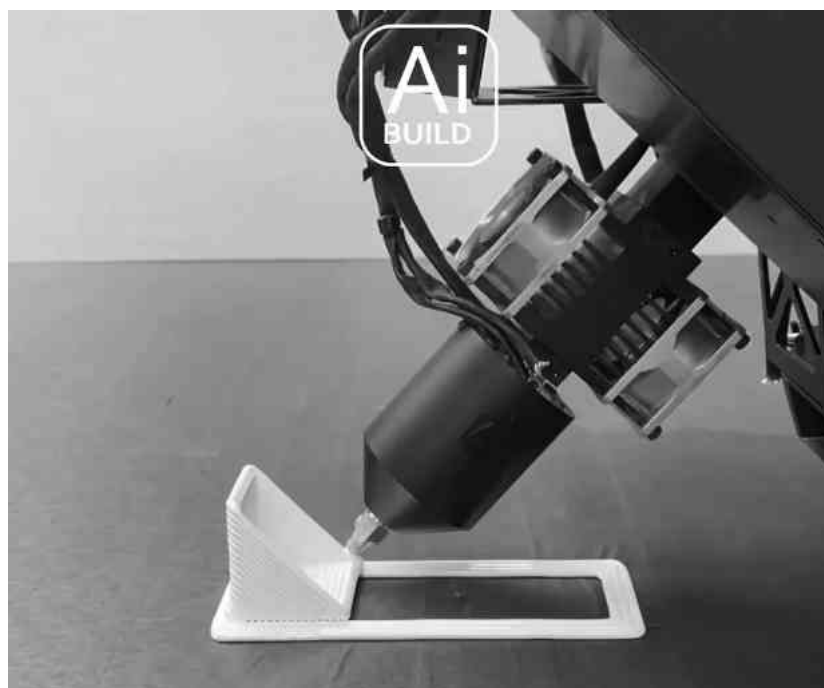


**Joonis 4.** Pikk detail konveierprinteril. [5]

Valmisolev osa on konveieri aluspinnast üle. Valmis detailid tulevad konveieri lõpus selle pinnalt ise lahti ning kukuvad kogumiskasti. Saab korraldada väikeseeria tootmist.

#### 1.4 Robotmanipulaatori kasutamine koos konveieriga

Võimalik on kasutada 3D printimiseks ka tööstusroboteid millele on seadistatud sobiv tööriist. Sellise printimismeetodi eeliseks on võimalus muuta otsiku nurka detaili suhtes. Sellisel juhul saab printida üleval poolt laienevaid detaile tuge kasutamata. Samuti saab ka parandada külgliseinte kvaliteeti. Robotitooja ABB pakub robotite tööriistu ja tarkvaralahendust 3D printimiseks. [6] Kogu protsess on simuleeritav ja visualiseeritav nende poolt pakutavas tarkvaras. *Ai Build* tarkvara võimaldab genereerida keerulisi tööradu 3D printimiseks. [7] Joonisel 5 on näha 45 kraadise nurga all 3D printimine.



**Joonis 5.** Printimine 45 kraadise nurga all. [8]

Sarnast võimekust prooviti arendada ka käesolevas lõputöös. Vabavaraline lahendus oleks kõige parem akadeemilisse keskkonda ning prototüüpide valmistamiseks. See annab võimaluse arendada uusi tööriistasid ja meetodeid paremaks printimiseks. Ühendades

roboti 3D printimisvõimekuse ning konveieri, saab printida suuri detaile hea kvaliteediga. Robotitel on võimalik lisada ka tööriista automaatne vahetus – robotit saab panna kasutama suurel hulgal erinevaid filamente ja otsikuid. Iga filamenti jaoks on erinev tööriist. Saab kasutada täitefilamente, erinevaid materjale ja värve. Traditsiooniliste 3D printerite puhul ei mahu piisavalt otsikuid tööpea juurde, või peab kasutama filamenti tükeldamise ja liitmise seadmeid.

Roboti eeliseks on ka skaleerimisvõimalus. Töödates välja kergesti paigaldatava süsteemi ning lihtsalt valmistatavad komponendid, saab suurendada tootlust mitmeid kordi. Ühte konveierit saaks kasutada mitu robotit, mis suurendaks tööala kasulikkust.

## 2. 3D PRINTIMINE ROBOTMANIPULAATORIGA

### 2.1 Näiteid robotite kasutamisest 3D printimises

#### 2.1.1 Ehitiste 3D printimine

Üks suuremõõtmelise 3D printimise väljunditest on tervete hoonete printimine. Selleks kasutatakse termoplastide asemel betooni. [9] Printimiseks kasutatakse modifitseeritud kraanasid või lihtsasti demonteeritavatest raamidest valmistatud suuri 3D printereid. Joonisel 6 on näha prinditud struktuur, samuti on näha 3D printeri suurt raami.



**Joonis 6.** 3D prinditud betoonist struktuur.[9]

Sellise ehitusmeetodi eeliseks on materjali säästmine ning võimalus automatiseerida lihtsate elementide ja ehitiste tootmine.

### 2.1.2 3D metalli printimine traat keevitusega

Roboteid kasutatakse keevitustööde juures palju. Paljud robotitootjad pakuvad lahendusi robotitega keevitamiseks. Robotitootja *Kuka* pakub sama võimalust. [10] Joonisel 7 on näha robotit keevitamas detaili.



**Joonis 7.** Kuka robot keevitamas detaili

Traatkeevitust kasutades saab ka 3D printida sobivaid detaile. Keevitustraaditootja *Böhler* on arendanud sobiva keevitustraadi just 3D printimiseks kasutades traatkeevitust. [11] Joonisel 8 on traatkeevitusega 3D prinditud detail. Joonisel 9 on näha robotit koos keevituspõletiga 3D printimas toodet.



**Joonis 8.** Traatkeevitusega 3D prinditud detail [12]



**Joonis 9.** Keevituspõletiga robot [12]

Sellised tootmismeetodid võimaldavad toota detaile, mida tavaliste töötlemismeetoditega

toota ei ole võimalik. Samuti saab kiirendada keeruliste detailide tootmist. Näiteks *Relativity Space* võttis eesmärgiks 3D printida kosmoserakett .[13] Ettevõtte sõnul saab 3D printimise puhul konstrueerida raketi osi lihtsamalt – ei pea kinni pidama tavatöötamise nõuetest. Näiteks suured õõnsad detailid saab printida õõnsana. Ei pea koostama suurt masinaosa väiksematest osadest. Joonistel 10 ja 11 on näha õõnsat detaili, mida robot 3D prindib.



**Joonis 10.** 3D prinditav raketiosa.[14]



**Joonis 11.** 3D prinditav detail, alustati järgmise seina printimisega.[14]

Pildil on näha, et detail on seest õõnes, ning robot prindib seda kinni. Joonisel 12 on näha detaili siis kui see on peaaegu valmis.



**Joonis 12:** Peaaegu valmis detail. [14]

Detail on seest õõnes, kuid üks suur detail. Varem oleks pidaanud see koosnema mitmest väiksemast omavahel keevisliitega seotud osast

## 2.2 3D printimine robotiga UR3 ja tööraja genereerimine

### 2.2.1 3D printimise eeltöö

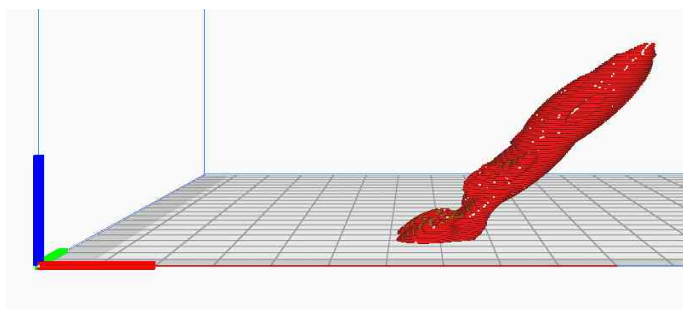
Et alustada 3D printimist, on vaja detailist mudelit. Mudel kihistatakse. Iga kiht koosneb ühes tasapinnas asuvast töörajast, mida mööda liigub otsik ning mille järgi jaotatakse materjali aluspinnale ning detailile.

Konveieriga printimise eripäraks on telgede asetus. Z teljeks on horisontaalne konveier ning Y telg asub selle tasapinna suhtes nurga all. Antud juhul valitakse nurgaks 35 kraadi. X telg on risti Z teljega ning Y teljega. Eelnevalt toodud joonisel 2 on telgede asetus näha.

### 2.2.2 Mudeli kihistamine ning kihtide nihutamine

Mudeli kihistamiseks kasutati *Slic3r* tarkvara [15] *Slic3r* tarkvara on vabavara ning seda saab muuta vastavalt oma vajadustele. *Slic3r* tarkvara kasutab ka *RoboDK* tarkvara mudelite kihistamiseks. Peale mudeli kihistamist, on vajalik kihid viia nihkesse vastavalt Y telje nurgale. Selleks leiti programm, mille koostas kasutaja Wm Steele [16].

Programmi töö koostamise jooksul käivitada ei suudetud, mistõttu kasutati olemasolevat näitefaili „*AstroBotShifted.gcode*“. Mudeli oli nihutatud 35 kraadise nurga alla. Joonisel 13 on näidatud kihistatud mudeli töörada mida on nihutatud selliselt, et Y telg oleks kaldu 35 kraadi Z telje suhtes.



**Joonis 13.** Kihistatud ja nihutatud töörada.

Edasiseks arenguks tuleks kirjutada vajalik skript lihtsuse mõttes Python programmeerimiskeeles. Abina saab kasutada olemasoleva programmi lähtekoodi.[16] Ajapuuduse tõttu seda töö käigus ei jõutud teha.

### 2.2.3 Konveierile printimine

Detaili edukaks printimiseks tuleb liigutada konveierit täpselt ja korratavalt. Roboti UR3 kasutusjuhendi uurimisel leiti, et reaalaajas konveieri ja roboti enda juhtimine pole võimalik. [17] Reaalaajas juhtimine oleks vajalik siis, kui soovitakse kõiki telgi juhtida sünkroonselt – näiteks asendada üks telgedest konveieriga. Samuti oleks reaalaajas juhtimine vajalik juhul kui kasutatakse pöördlauda või mingit muud lisatelge.

Lahenduseks tuleb tööraja koodi edasi töödelda. Kuna kihid on ühes tasapinnas ning kihtide vahetamine ei pea olema reaalaajas, siis võib asendada tööraja koodis kõik Z liigutused programmiga, mis teevad selle liigutuse, ning annavad robotile tagasiside, et liigutus on tehtud.

RoboDK tarkvaras on olemas võimekus lugeda NC (*Numeric Control*) failist M koodi ning selle järgi käivitada skripti. NC failis on selleks koodiks „*M\_RunCode*“.[18]

Selle käsuga saab käivitada programmi, mis liigutab konveierit sobiliku vahemaa võrra. Konveieril on väike kontrolleri koos tagasisidega. Suhtlus UR3 kontrolleri ja konveieri kontrolleri toimub läbi digitaalsete sisendite ja väljundite.

## 2.3 Printimispea robotile UR3

### 2.3.1 Printimispea kiirvahetussüsteem

3D printimiseks on vaja projekteerida robotile UR3 vajalik tööriist. Lihtsustamaks tööriistade kiiret vahetust, otsiti sobilik tööriistade kiirvahetussüsteem. Oma lihtsuse ja mudelite kättesaadavuse tõttu valiti ATI's QC-7 kiirvahetussüsteem. [19] Joonisel 14 on kujutatud kiirvahetussüsteem. Kiirvahetussüsteemi ja roboti vahele konstrueeriti sobilik flans, mille joonis asub lisas B.



**Joonis 14.** Kiirvahetussüsteem roboti UR3 küljes.

Kasutades kiirvahetussüsteemi, saab lisada veeslahustuvate täitematerjalide kasutamise võimaluse ning filamendi vahetamise töö käigus.

### 2.3.2 Kuumutuspea ja otsik, nende kinnitus

3D printimise kuumutusosaks ja otsikuks valiti tootja E3D V6 [20] stiilis. Komponentid on odavad ning kergesti kättesaadavad erinevatelt internetikaubanduse lehekülgedelt. Joonisel 15 on kujutatud antud kuumutuspea koos kaasasolevate katetega. Projekti käigus konstrueeriti teistsugused kuumutuspea katted.



**Joonis 15.** Kuumutuspea E3D V6.  
[14]

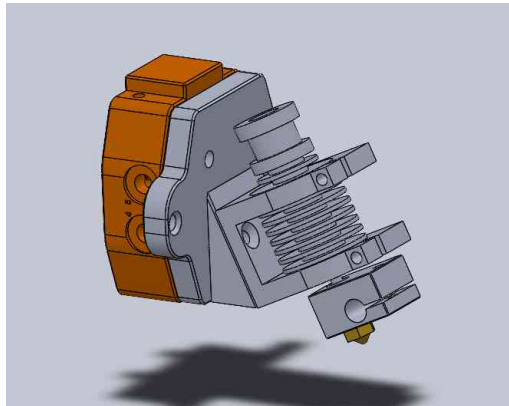
Kuumutuspea kinnitamiseks projekteeriti kuumutuspea hoidik. Selle joonis asub lisa B. Joonisel 15 nähtav plastikkate koos ventilaatoriga on vajalik veel konstrueerida. Suuremate otsikute tarbeks tuleks kasutada teistsugust küttekeha ning hoidikut. Tootja *Bondotech* valmistab suure voolamishulgaga 3D printimise otsikuid [21]. Joonisel 16 on toodud otsiku pilt.



**Joonis 16.** Bondotech CHT otsik. [21]

Sellise otsiku suurim ava läbimõõt on 1,8 mm, mis suurendaks printimise kiirust oluliselt. Kiirvahetussüsteemi tööriistapoolse osa külge on vaja kinnitada kuumutuspea ja otsik.

Selleks konstrueeriti kuumutuspea flans ning kuumutuspea hoidik. Joonisel 17 on kujutatud järjekorras kiirvahetussüsteemi tööriistapoolne osa, kuumutusotsiku vaheplaat, kuumutusotsiku kinnitus ning kuumutusotsik.

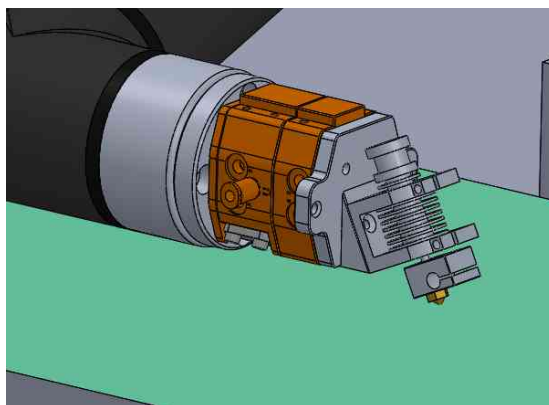


**Joonis 17.** Kuumutuspea kinnitus.

Lisas B on kuumutuspea flansi ning kuumutuspea hoidiku joonised. Samuti on seal koostu joonis koos vajalike kinnitusvahenditega. Pildil pole kujutatud filamenditoru, ventilaatorit ning ventilaatori katet.

### 2.3.3 printimispea tööpõhimõte ning asend tööpinna suhtes

Robot peab 3D printimist läbi viima kindlas asendis. Joonisel 18 on näha robot tööasendis. Sinakasrohelistel on kujutatud tööpind. Lihtsuse mõttes pole seda antud töös välja mudelleeritud.



**Joonis 18.** Robot tööasendis.

Kuna printimine toimub 35 kraadise nurga all, siis on ka printimispea sobiva nurga alla projekteeritud. See kindlustab, et printimispea ei põrkuks kokku juba prinditud osaga. Lisas B on näha kogu printimispea koost. Joonisel 19 on näide mitteplanaarsest 3D printimisest.



**Joonis 19.** Mitteplanaarne 3D printimine. [22]

Sellise tööriistanurga abil saab samuti printida mitteplanaarselt, muutes otsiku nurka prinditava detaili suhtes.

## 3. KONVEIER

### 3.1 Konveieri konstruktsioon

Konveier projekteeriti kasutades *MiniTec* alumiiniumprofile [23]. Sellised profiilid on laialt levinud tööstuses. Joonisel 20 on näha profiil, mida kasutati projekteerimisel.



**Joonis 20.** Konveieri projekteerimisel kasutatud profiil.

Profiilide liitmiseks valiti samuti *MiniTec* pakutud nurgatükid. [24] Nendega ehitatakse konveiereid, laudu, kappe ning muid tööseadmeid. Konveieri projekteerimisel kasutati ka selliseid profile just laialase leviku ning koostamise lihtsuse tõttu. Mootori kinnitused ning lindi pingutusmehhanism projekteeriti samuti pidades silmas tootmise lihtsust ning kiirust. Projekteeritud detailide kinnitamiseks alumiiniumprofiili külge kasutati standardseid polte ning *MiniTec* poolt pakutavaid nelikantmuttreid. [25]

### 3.2 Konveieri printimispinna valik

Konveieri printimispinna materjalist sõltub kui tugevalt jäävad detailid pinna külge. Liiga nõrga nakkumise puhul võib detail printimise ajal lahti tulla. Liiga tugeva nakkumise puhul on raske detaili peale printimist lahti saada. Eriti raske on detaili lahti saada siis kui detail on suure pindalaga.

Antud juhul valiti konveieri materjaliks roostevaba teras. Materjal on piisavalt paindlik ning seda on võimalik saada pikkade ribadena. Samuti on teras ka keevitav ning liimitav. Teras on ka hea soojusjuht, mis aitab detaili nakkumisega.

Eelnevalt kujutatud joonisel 4 on näha konveieripinnaks sinisest paberteibist tehtud lint. Selline pinna eluiga ei ole väga pikk, kuid seda on odav vahetada. Ka seda on võimalik kasutada, kui roostevabast terasest linti ei ole võimalik saada.

### 3.3 Konveieri aluspinna kuumutamine

Konveieri aluspinda on ka vaja kuumutada, et nakkumine oleks ühtlane. Kuumutatud aluspind väldib liiga kiire materjali tahkumise. Konveierilindi alla on sobitatud alumiiniumplaadid, mille küljes on küttemendid ning temperatuuriandurid. Temperatuuri mõõdab ja juhib kontrollor Sobilikuks küttemendiks on näiteks 3D printeritel levinud küttelement [26]. Joonisel 21 on näha toodud element.

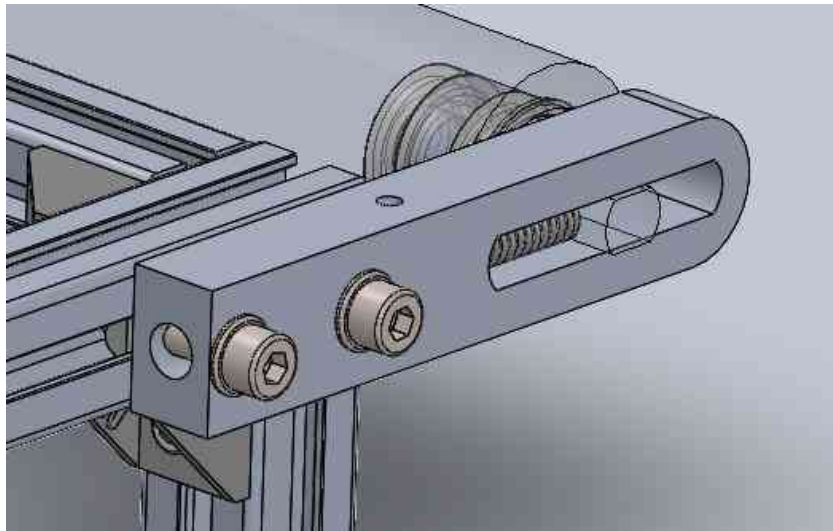


**Joonis 21.** Küttelement, alumine pool ja liimitav pool

Kuna konveier on pikk, siis peab kasutama mitut elementi. Elementid liimitakse kuumutuspinna alumisele poolele.

### 3.4 Konveieri pingutusmehhanism

Konveieri lint on pingutatud vedrude abil. Vedrud valitakse Lesjöfors AB olemasolevate vedrude kataloogist [27]. Vedrude pingutusjõuks kokku võetakse umbes 50 N, kumbi vedru 25 N. Kataloogist leiti standartne vedru tootekoodiga 1416. Vedru on 65 mm pikk. Vedru pinge on 1,3 N mm – ehk, et saavutada pinge 25 N, on vajalik vedru kokku suruda 19,3 mm. Vedru pingsust on võimalik reguleerida pinguti asendi reguleerimisega raami küljes. Joonisel 22 on näha, et kui lahti kruvida kinnituspoldid, siis saab nihutada pingutid piki raami.



**Joonis 22.** Pinguti raami küljes.

Pingutil on näha pikiava mis läbib pingutit. Selles asetseb vedru. Pinguti pealmises osas on näha ava. See ava on keermestatud ning seal sees on seadekrugi mis ei lase vedrul pingutist välja tulla.

### 3.5 Konveieri lindi liigutamine, mootor

Konveierilindi liigutamiseks kasutatakse samm-mootorit millel on tagasiside jaoks enkooder. Mootoriks on Leadshne samm-mootor NEMA 34 korpuses. Mootori hoidemoment on 4,0 Nm [28] Joonisel 23 on näidatud valitud mootor. Mootori mõõtmed projekti tarbeks tootja kodulehelt.



**Joonis 23.** Valitud samm-mootor. [28]

Samm-mootorit juhib vastav toite-juhtplokk, mis kontrollib, et samm-mootor ei jätaks samme vahele. Toite-juhtplokil on olemas ka enkooderi väljund, mille abil saab kontrollida konveieri asukohta. Liigutuse vahemaad juhib ja kontrollib UR3 roboti kontrollerist eraldi olev konveieri kontroller. Kontroller võib olla loodud esialgu Arduino arendusplaadile. Arduino on lihtsasti programmeeritav ja muudetav, mistõttu on see sobiv valik antud konveieri juhtimiseks.

Mootor on kinnitatud konveieri raami külge. Konveieri veorull ja mootor on omavahel seotud trapetsliistuga. Vastav soon võlli sisse on tõugatud spetsiaalse tööriistaga.

Alternatiivina võib ka kasutada seadekruve. Lisas A on näha mootori kinnitusplaadi joonis. Konveieri veorulli ja veorulli toe joonised on samuti toodud lisas A.

Konveierilindi rulli jaoks kasutatakse SKFi 16002 moodsid kinniseid laagreid.[29] Lager on lukustatud sobiva standardse lukustusrõngaga, mis vastab DIN472 standardile.

## 4. ROBOTI JA KONVEIERI JUHTIMINE

### 4.1 Konveieri seadistamine ja juhtimine

#### 4.1.1 Konveieri seadistamine

Konveieri kontroller, milleks on *Arduino* arendusplaat, on ühendatud arvutiga läbi *serial* pesa. Selle kaudu toimub algne seadistus ja suhtlus arvutiga. Arvuti eesmärgiks on genereerida programm UR3 robotile ning seadistada konveier. Konveieri seadistamiseks tuleb kasutada programmi või skripti, mis saadab kontrollerile vajalikud andmed. Vajalikeks andmeteks on liikumise samm ning aluspinna temperatuur. Programm vajab väljatöötamist. Sobivaks programmeerimiskeeleks on näiteks *Python*, kuna see on kasutusel kasutusel nii *RoboDK* tarkvaras kui ka UR3 robotikontrolleril.

#### 4.1.2 Konveieri juhtimine digitaalsete sisendite ja väljundite abil

Konveieri kontrollerile sobivaid käsked saadab UR3 roboti kontroller digitaalsete sisendite ja väljundite abil. Ühe sammu liigutamiseks saadetakse konveierile signaal ühe digitaalse väljundi kaudu. Sammu eduka läbimise järel saadetakse signaal tagasi UR3 kontrollerile. Sel hetkel jätkab UR3 robot liikumist ning sama tegevus kordub niikaua, kuni detail on prinditud. Peale printimist saadetakse konveierile käsk liikuda kas tee lõppunkti või uuesti algusesse. Liikumisi saab seadistada vastavalt vajadusele.

Suhtlust saab optimiseerida, kui kasutada näiteks viite sisendit ja väljundit. Sisenditest või väljunditest neli vastavad neljale bitile, ja üks on kirjutamisbit mis näitab, et sel hetkel tuleb lugeda sisendite või väljundite väärtist ning käivitada vasta funktsioon. Selline suhtlus kasutab ainult kümme sisendit ja väljundit kokku, ning selle kaudu saab saata 16 erinevat numbrit, mis vastavad erinevatele funktsioonidele.

### **4.1.3 Modbus konveieri juhtimiseks**

Tööstuses on laialt levinud *Modbus* sidesüsteem. Robotil UR3 on võimekus suhelda *Modbus* abil teiste võrgus olevate seadmetega.[30] Samuti saab luua konveieri kontrolleri võimekus suhelda teiste seadmetega *Modbus* võrgus, mis aitaks kaasa konveieri ja roboti printimissüsteemi skaleerimisele. Saaks kasutada tööstuskontrollerit, et juhtida mitmeid konveiereid ja tööstusroboteid korraga. Töö käigus ei keskendutud sellisele suhtlussüsteemile, kuna see on oboDK ja UR3 roboti juures vähe dokumenteeritud ning vajab põhjalikumalt uurimist ja katsetamist.

## **4.2 Printimisprotsessi ülevaade**

### **4.2.1 Töörija genereerimine, konveieri seadistus**

Printimisprotsess algab mudeli koostamisega vabalt valitud tarkvaras. Sellele järgneb peatükis 1 kirjeldatud mudeli kihistamine ning mudeli nihutamine vajaliku nurga alla. Mudeli kihistamise parameetrit tuleb optimeerida nurga all printimiseks. Mudel tuleb sobivalt toetada ning valida sobivad kihtide kõrgused. Peale mudeli nihutamist tuleb asendada kõik Z telje liigutused peatükk 1 mainitud spetsiaalse M koodiga. Saadakse sobiv tööraja fail, mis sisestatakse RoboDK tarkvarasse.

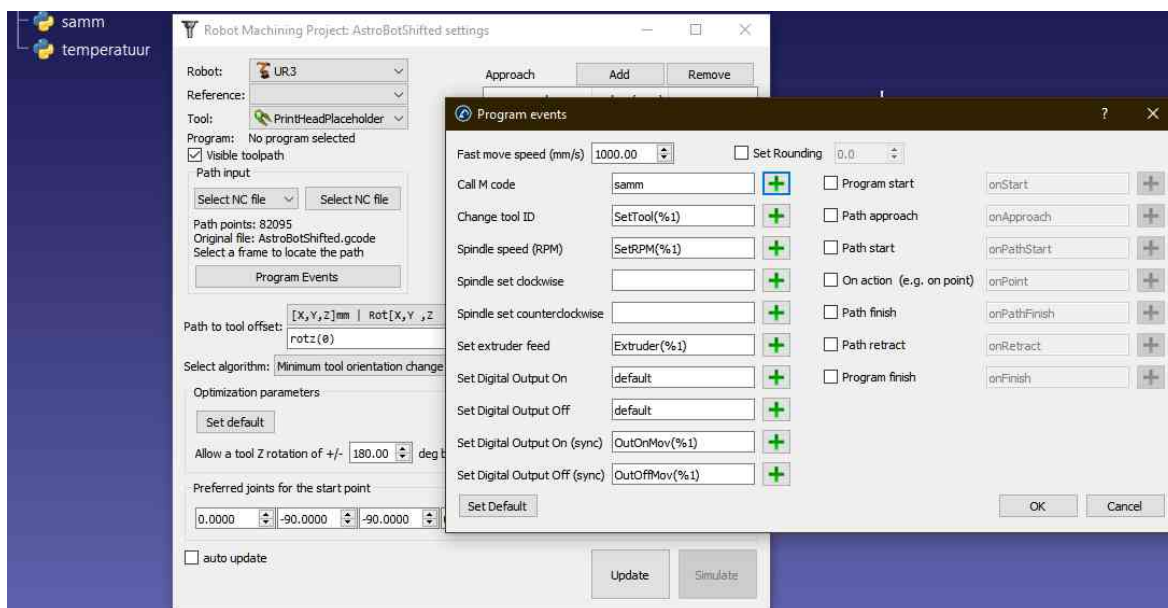
Samal ajal liigutatakse eraldi programmiga või skriptiga konveier algpositsioonile ning saadetakse andmed sammu suuruse kohta ning aluspinna temperatuuri kohta. Konveier jääb ootama sisendeid UR3 kontrollerielt.

## 4.2.2 RoboDK tarkvara seadistus

RoboDK tarkvaras tuleb eelnevalt sisestada robot UR3 koos sobiva printimispeaga. Seda tehakse tarkvara dokumentatsiooni järgi [31] Selle juhis järgi seadistatakse ka ekstruuderi alamprogrammid. Seejärel leitakse roboti vabalt liigutamise printimise alguspositsioon konveieri suhtes. Mõõdetakse sobiv esimese kihi kõrgus konveieri pinnast ning tarkvaras salvestatakse see positsioon.

RoboDK tarkvarasse sisestatakse eelnevalt tekitatud tööraja fail. Töörada paigutatakse sobivasse punkti roboti suhtes ning kontrollitakse simulatsiooniga, et robot ei proovi liikuda läbi konveieri.

Suhtluseks konveieriga on vaja luua RoboDKs *Python* programmeerimiskeeles kirjutatud alamprogrammid, mis saadab käsud konveieri liigutamiseks ning temperatuuri muutmiseks. Joonisel 24 on näidatud aken, kus on näha tööraja seadistus. Vasakul nimekirjas on võimalikud programmid.



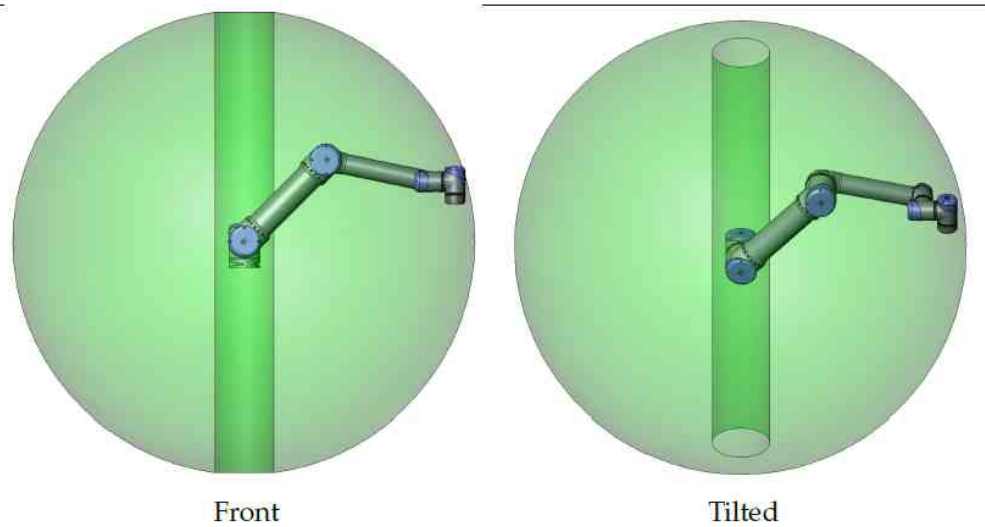
**Joonis 24.** Tööraja seadistus. Vasakul on näha programmide nimed.

Töörada tuleb seadistada selliselt, kus M koodini jõudmisel toimub sammumise programmi käivitus. Peale edukat sammu jätkub tööraja järgimine ning printimine.

## 4.3 Roboti ja konveieri tööala

### 4.3.1 Roboti ja konveieri omavaheline paigutus

Roboti UR3 tööala on ulatusega 500mm oma aluspinnast. Joonisel 25 on roboti kujutatud tööala.



**Joonis 25.** Roboti tööala, kujutatud roheliselt. Vasakul on vaade eest. Paremalt on kallutatud vaade [32]

Konveier peaks asetsema robotile võimalikult lähedal, et saaks kasutada konveierilindi laiust täielikult. Konveierilinti ei ole mõtetkas teha laiemat, kui on roboti tööulatus.

### 4.3.2 Roboti ja konveieri tööruum

Robot UR3 ja konveier võiksid asetseda kinnises tööalas, kus on kindlustatud temperatuuri ühtlus. See vähendab printitavas detailis temperatuuri muutusest tingitud deformatsioone. Ajapuuduse tõttu ei jõutud sobiliku tööruumi projekteerida.

## 4.4 3D printimise koostöösüsteemi edasise arendamise võimalused

### 4.4.1 Robot Operating System

Lihtsustamaks seadistust ning suhtlust erinevate seadmete vahel, oleks sobilik kasutada *ROS* ehk *Robot Operating System* operatsioonisüsteemi [33]. Süsteem on mõeldud erinevate tootjate tööstusrobotite koostöö kordineerimise lihtsustamiseks. Kuna tegu on keerulise ning spetsiifilise operatsioonisüsteemiga siis antud töö käigus ei keskendutud selle kohandamiseks projekteeritud 3D printimissüsteemile. *ROS* operatsioonisüsteem aitaks parandada skaleeritavust veelgi. Selle abil saaks lisada mitmeid roboteid ühe konveieri peale, ilma, et peaks tekitama keerulisi suhtluskanaleid robotite ja ühe konveieri vahel.

### 4.4.2 LinuxCNC

*LinuxCNC* [34] operatsioonisüsteem on mõeldud juhtima reaalaja arvjuhtimispinke. *LinuxCNC* operatsioonisüsteem on vabavara ning tasuta kättesaadav. Süsteemiga on juhitud palju erinevaid isetehtud arvjuhtimisega tööpinke. Võimalik on arendada robotmanipulaator, mis on juhtav täielikult *LinuxCNC* kaudu – kõik liigendid on otse juhitud selle operatsioonisüsteemi läbi. Lisades veel reaalajas tagasisidega konveier juhtimise, saab printida veelgi keerulisemaid detaile. Saab tekitada konveieri ja roboti koordineeritud reaalajas liikumisi mis laiendavad printimisvõimekust veelgi enam, kui lihtsalt töös projekteeritud koostöösüsteem.

## KOKKUVÕTE

Lõputöö esimese osa käigus saadi ülevaade robotmanipulaator UR3 võimekusest 3D printimiseks. Leiti, et robot on võimeline 3D printima. Samuti uuriti millised võimalused on hetkel olemas suuremõõtmeliste detailide printimiseks. Leiti, et on olemas konveierprinterid, mille Y telg ja Z telg on vahetuses, ning Y telg on Z telje suhtes kaldu. Konveier on lõpmatuks Z teljeks.

Töö teises osas uuriti olemasolevaid 3D printivaid roboteid. Leiti, et neid kasutatakse betoonist hoonete 3D printimiseks. Samuti kasutatakse roboteid 3D printimiseks traatkeevitusmeetodit kasutades. Leiti, et selliselt saab toota keerulisi detaile, mis tavatöötuse puhul võtaks kaua aega ja koosneksid paljudest väiksematest detailidest. Töö teises osas töötati välja meetod kuidas UR3 robotiga 3D printida. Leiti meetod, kuidas kihistada soovitud detaili mudel. Leiti, et kuna roboti kontrollerit ja konveierit ei saa reaalselt sünkroonselt liigutada. Lahenduseks leiti meetod, kust tuleb asendada reaalselt olemas Z telje liigutused programmiga, mis nihutab konveierit vajalike sammude võrra. Teises osas projekteeriti ka robotile 3D printimise tööriista prototüüp.

Töö kolmandas osas projekteeriti konveier. Raam projekteeriti kasutades *MiniTec* alumiiniumprofiile. Samuti leiti ka sobiv aluspind printimiseks. Selleks valiti õhuke roostevaba terasleht. Seda oma hea soojusjuhtivuse ja suhtelise odavuse ning kättesaadavuse tõttu. Konstrueeriti ka lindi pingutusmehhanism, mille eesmärgiks on hoida linti piisava pinge all. Aluspinna kuumutamiseks valiti alumiiniumist plaat, mille külge liimitakse kuumutuselemendid. Leiti ka sobiv sammootor.

Neljandas osas töötati välja printimisprotsess ja vajalikud selleks vajalikud sammud. Leiti, et vajalik on luua mitmeid väikseid programme, mis seadistavad konveierit ning suhtlevad konveieriga printimise ajal. Kirjeldati konveieri ja roboti omavahelist suhtlust kasutades digitaalseid sisendeid ja väljundeid ning *Modbusi*.

Töö eesmärgid saavutati osaliselt. Konveierit ja koostöösüsteemi valmis ei ehitatud, kuid seadmed projekteeriti ning eeltöö ja protsess printimiseks sai välja töödatud.

## KASUTATUD KIRJANDUS

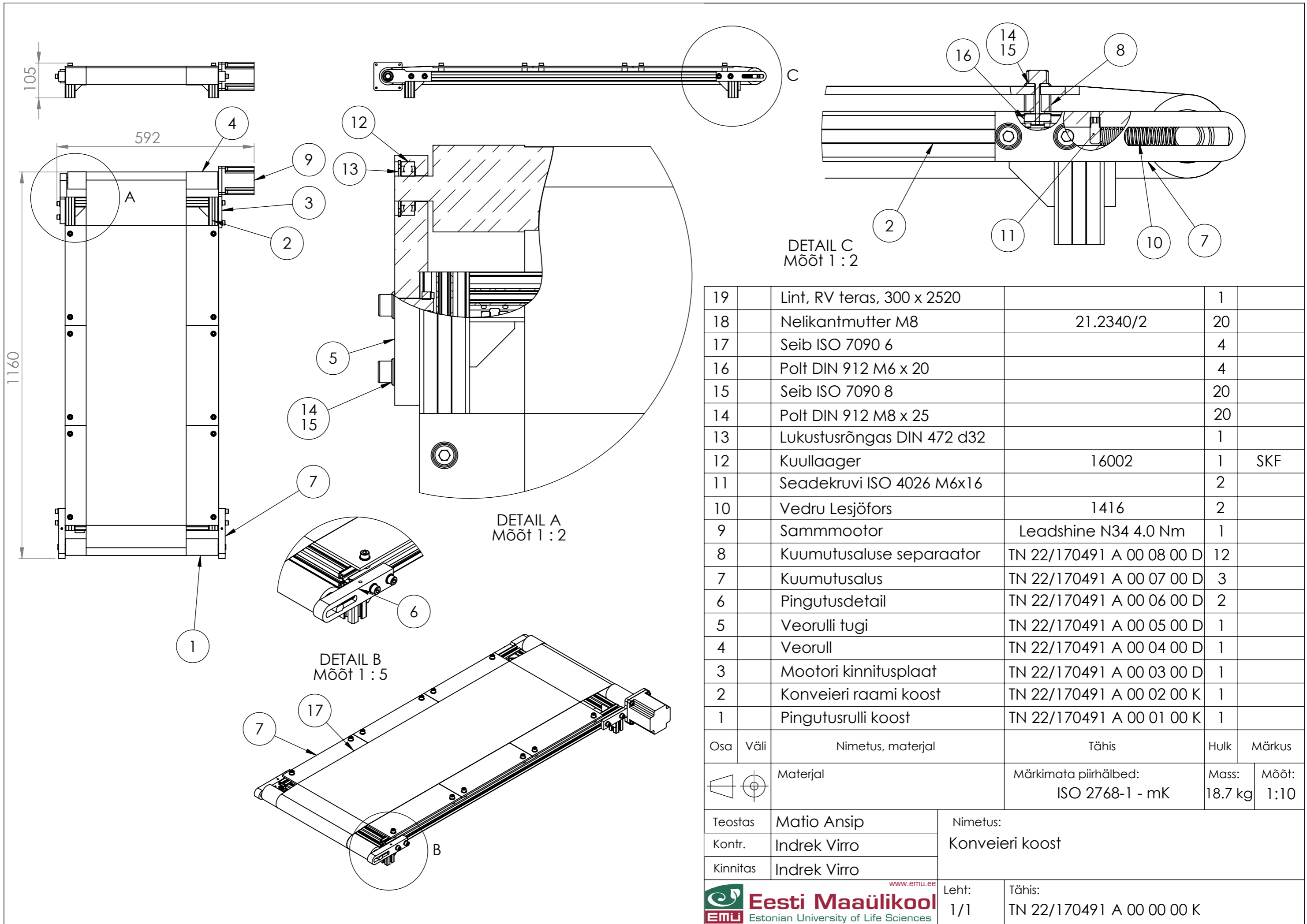
1. 3D Benchy [www] <https://www.3dbenchy.com> (22.05.2022)
2. “Everything about nozzles with a different diameter”, **Mikolas Zuza**, (2018) [blogi] [https://blog.prusa3d.com/everything-about-nozzles-with-a-different-diameter\\_8344/](https://blog.prusa3d.com/everything-about-nozzles-with-a-different-diameter_8344/) (22.05.2022)
3. Bigrep one. [www] <https://bigrep.com/bigrep-one/> (26.05.2022)
4. „Updated: Blackbelt 3D Printer „Changing Paradigms“ of FDM Technology“ (2017) [e-ajakiri] <https://all3dp.com/blackbelt-3d/>
5. Conveyor Belt 3D printer DIY 14" long print timelapse [video] <https://www.youtube.com/watch?v=WgG7kFYmb1Y> (26.05.2022)
6. RobotStudio 3D Printing PowerPac [www] <https://new.abb.com/products/robotics/application-software/3d-printing-powerpac> (26.05.2022)
7. Ai Build [www] <https://ai-build.com/> (26.05.2022)
8. Ai Build's Post [video] <https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:6833764119309500416> (26.05.2022)
9. “3D Concrete printing – The Ultimate Guide”, **Ile Kauppila** [e-ajakiri] <https://all3dp.com/1/3d-concrete-printing-guide/> (26.05.2022)
10. Kuka arc welding robots [www] <https://www.kuka.com/en-de/industries/metal-industry/arc-welding/kuka-arc-welding-robots> (26.05.2022)
11. Best quality wire alloys for a revolutionary technology [www] <https://www.voestalpine.com/welding/Brands/Boehler-Welding/3Dprint> (26.05.2022)
12. Wire Welding in additive 3D metal printing manufacturing, Leif Andersen [.pdf] <https://teandersen.com/uploads/ozKS6QPR/Technicalupdate-WireWeldinginadditive3Dmetalprintingmanufacturing.pdf> (26.05.2022)
13. Watch a Robot 3D Printing the Rocket for Relativity Space's First Orbital Launch, **Jason Dorrier** (e-ajakiri) <https://singularityhub.com/2021/03/28/watch-a-robot-3d-printing-the-rocket-for-relativity-spaces-first-orbital-launch/> (26.05.2022)
14. Timelapse of printing the Terran 1 rocket's second stage. **Eric Berger** [video] <https://www.youtube.com/watch?v=ZFhniqvugGs> (26.05.2022)
15. Slic3r Open source 3D printing toolbox [www] <https://slic3r.org/> (23.05.2022)

16. Tilted Conveyor FDM Printer Post Processor [www] <https://www.thingiverse.com/thing:2358314> (22.05.2022)
17. Universal Robots User Manual [.pdf] [https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/ur-support-site/32340/UR3\\_User\\_Manual\\_en\\_Global-3.5.5.pdf](https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/ur-support-site/32340/UR3_User_Manual_en_Global-3.5.5.pdf) (22.05.2022)
18. Program Events [www] <https://robotk.com/doc/en/Robot-Machining.html#MachiningEvents> (23.05.2022)
19. ATI's QC-7 Robotic Tool Changer [www] <https://www.atia.com/company/NewsArticle2.aspx?id=1798472188> (24.05.2022)
20. V6 All-Metal HotEnd [www] <https://e3d-online.com/products/v6-all-metal-hotend> (24.05.2022)
21. Bondotech CHT Coated Brass Nozzle [www] <https://www.bondtech.se/product/bondtech-cht-coated-brass-nozzle/> (26.05.2022)
22. Non-planar 3D printing usin Yaskawa Motoman GP12, CAM USC Viterbi [video] <https://www.youtube.com/watch?v=HaOvKdOUBPE> (26.05.2022)
23. MiniTec [www] <https://www.minitec.de/en/produkte/profile-system> (22.05.2022)
24. Mounting angle 30 GD-Z [www] <https://www.minitec.de/en/product/mounting-angle-30-gd-z> (22.05.2022)
25. Square-Nut 30 M08 with position-fixing [www] <https://www.minitec.de/en/product/square-nut-30-m-08-with-position-fixing> (25.05.2022)
26. Silicone Resistance 3D Printer Heat Bed [www] <https://www.jaye-heater.com/silicone-rubber-heater/3d-printer-silicone-heater/best-silicone-resistance-3d-printer-heat-bed.html> (23.05.2022)
27. Lesjöfors AB, stock springs, [www] <https://www.lesjoforsab.com/products/stock-springs/> (24.05.2022)
28. NEMA 34 Closed Loop Stepper System 4.0 Nm [www] <https://www.damencnc.com/en/nema-34-closed-loop-stepper-system-4-0nm/a1243> (25.05.2022)
29. Deep groove ball bearings, 16002, SKF, [www] <https://www.skf.com/group/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/productid-16002> (26.05.2022)
30. Using the Modbus TCP Client Interface of the UR Robot, Universal Robots A/S [.pdf] [https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/ur-support-site/66329/UR%20Modbus\\_bba\\_mods\\_0.1.4.pdf](https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/ur-support-site/66329/UR%20Modbus_bba_mods_0.1.4.pdf) (27.05.2022)
31. Robot 3D Printing Project [www] <https://robotk.com/doc/en/Robot-Machining-Robot-3D-Printing-Project.html> (24.05.2022)

32. Universal Robots User Manual. I-23 lk. [.pdf] [https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/ur-support-site/32340/UR3\\_User\\_Manual\\_en\\_Global-3.5.5.pdf](https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/ur-support-site/32340/UR3_User_Manual_en_Global-3.5.5.pdf) (22.05.2022)
33. ROS - Robot Operating System [www] <https://www.ros.org/> (25.05.2022)
34. LinuxCNC [www] <http://linuxcnc.org/> (25.05.2022)

**LISAD**

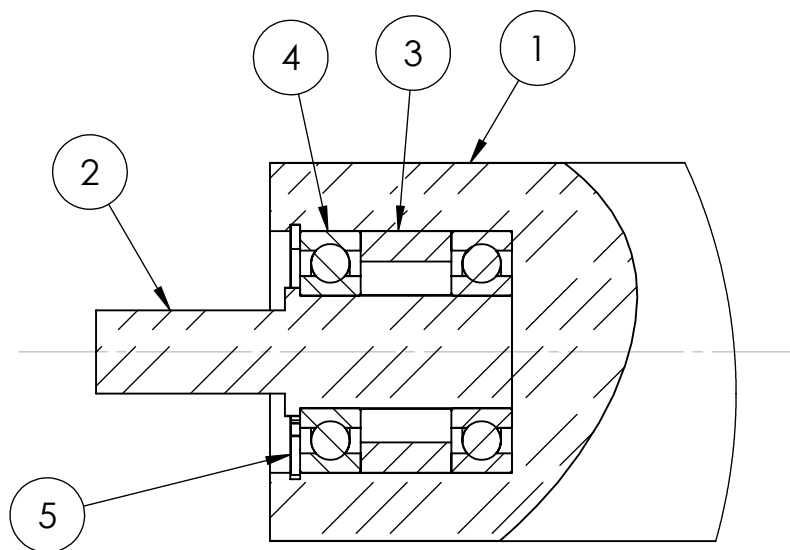
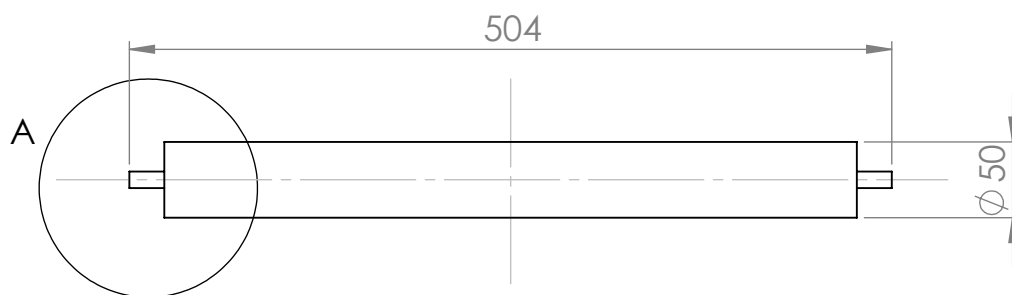
## **LISA A – Konveieri tehnilised joonised**



19	Lint, RV teras, 300 x 2520		1	
18	Nelikantmutter M8	21.2340/2	20	
17	Seib ISO 7090 6		4	
16	Polt DIN 912 M6 x 20		4	
15	Seib ISO 7090 8		20	
14	Polt DIN 912 M8 x 25		20	
13	Lukustusrõngas DIN 472 d32		1	
12	Kuullaager	16002	1	SKF
11	Seadekruvi ISO 4026 M6x16		2	
10	Vedru Lesjöfors	1416	2	
9	Sammmotor	Leadshine N34 4.0 Nm	1	
8	Kuumutusalusse separaator	TN 22/170491 A 00 08 00 D	12	
7	Kuumutusalus	TN 22/170491 A 00 07 00 D	3	
6	Pingutusdetail	TN 22/170491 A 00 06 00 D	2	
5	Veorulli tugi	TN 22/170491 A 00 05 00 D	1	
4	Veorull	TN 22/170491 A 00 04 00 D	1	
3	Mootori kinnitusplaat	TN 22/170491 A 00 03 00 D	1	
2	Konveieri raami koost	TN 22/170491 A 00 02 00 K	1	
1	Pingutusrulli koost	TN 22/170491 A 00 01 00 K	1	

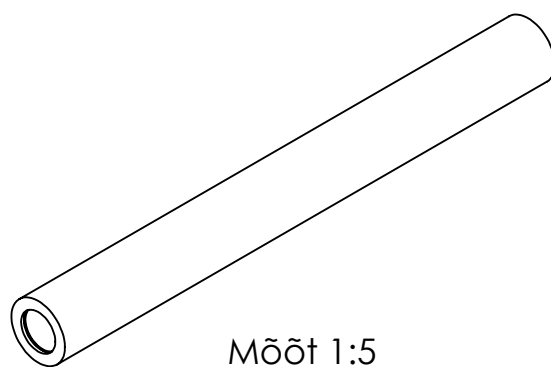
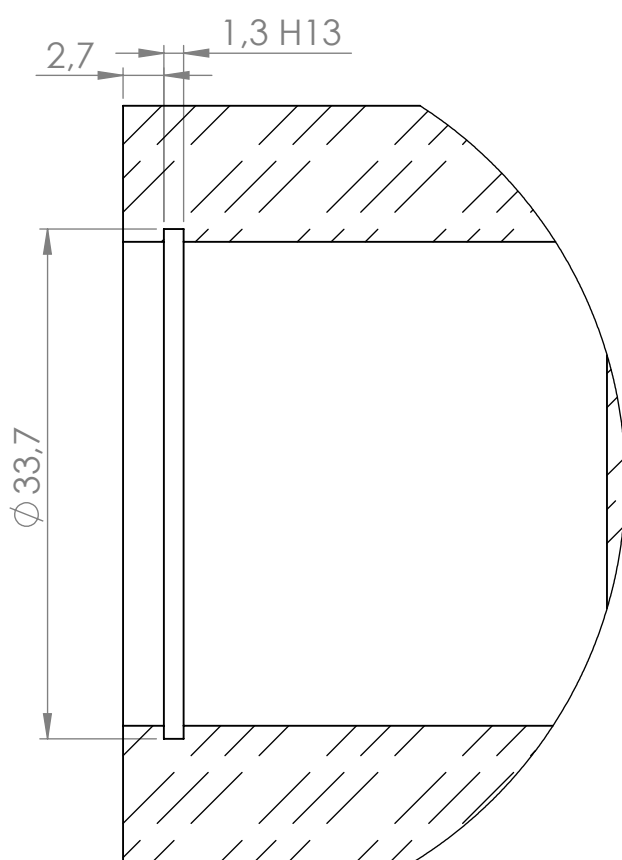
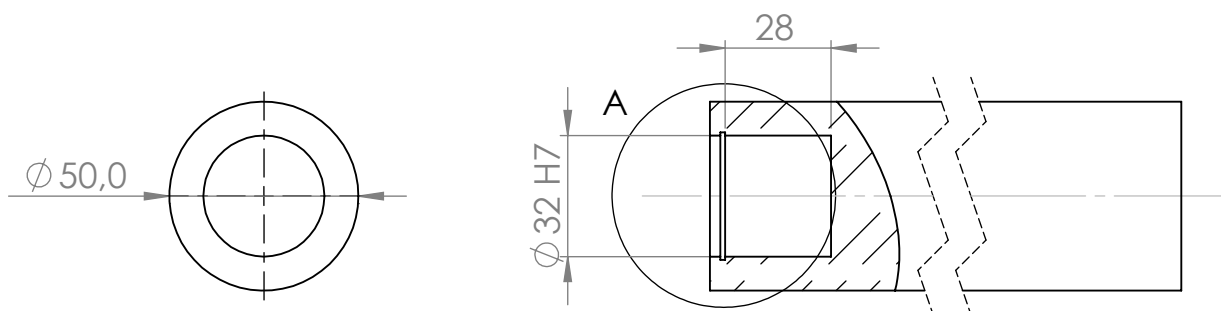
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
		Materjal	Märkimata piirhälbed: ISO 2768-1 - mK	Mass: 18.7 kg	Mõõt: 1:10

Teostas	Matio Ansip	Nimetus: Konveieri koost
Kontr.	Indrek Virro	
Kinnitas	Indrek Virro	



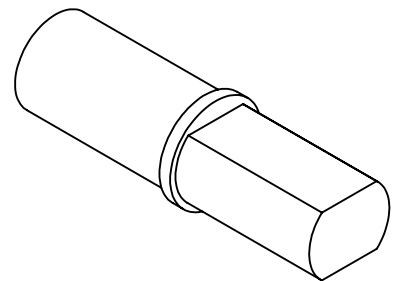
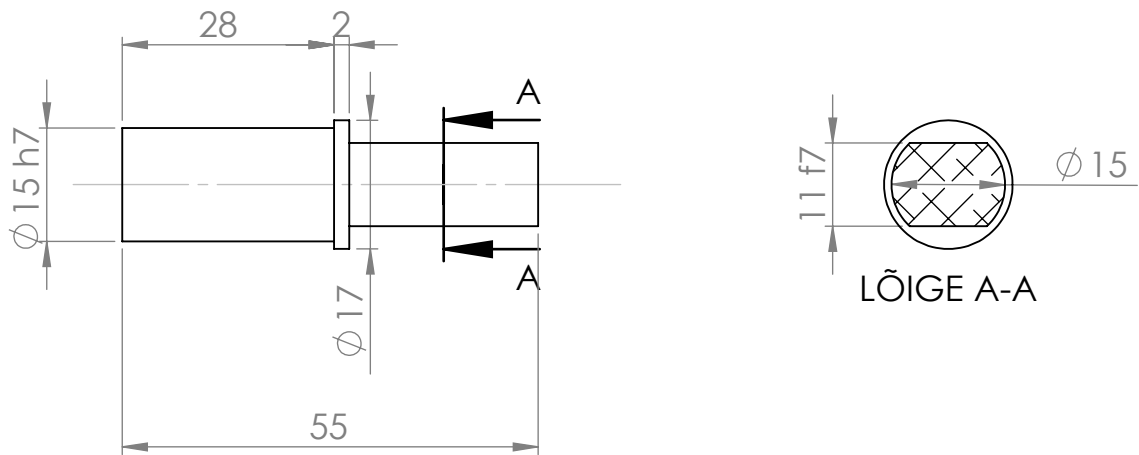
DETAIL A  
MÕõt 1 : 1

5		Vabajooksu rulliku võll	DIN472 d32	2	
4		Kuullaager	16002	2	
3		Laagrite separaator	TN 22/170491 A 00 01 03 D	2	
2		Vabajooksu rulliku võll	TN 22/170491 A 00 01 02 D	4	SKF
1		Vabajooksu rullik	TN 22/170491 A 00 01 01 D	1	
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
		Materjal	Märkimata piirhälbed: ISO 2768-1 - mK	Mass: 2.37 kg	Mõõt: 1:5
Teostas	Matio Ansip	Nimetus: Pingutusrulliku koost			
Kontr.	Indrek Virro				
Kinnitas	Indrek Virro				
		Leht: 1/1	Tähis: TN 22/170491 A 00 01 00 K		

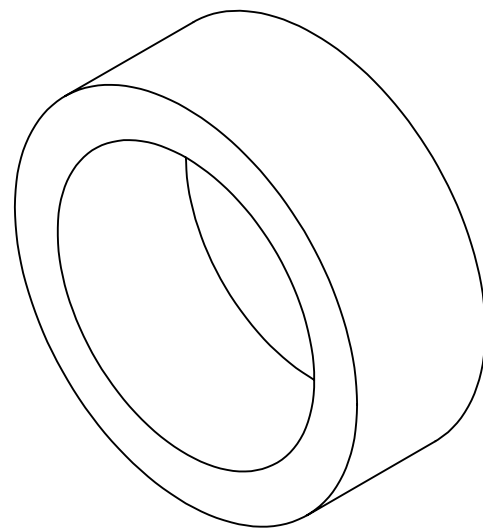
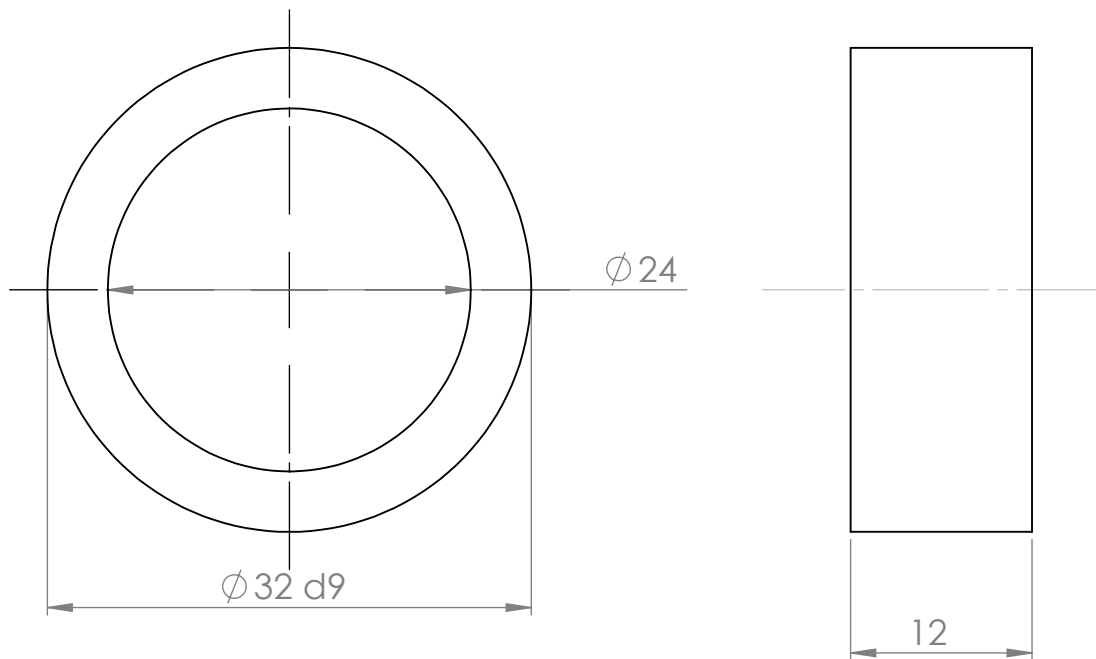


DETAIL A  
Mõõt 2 : 1

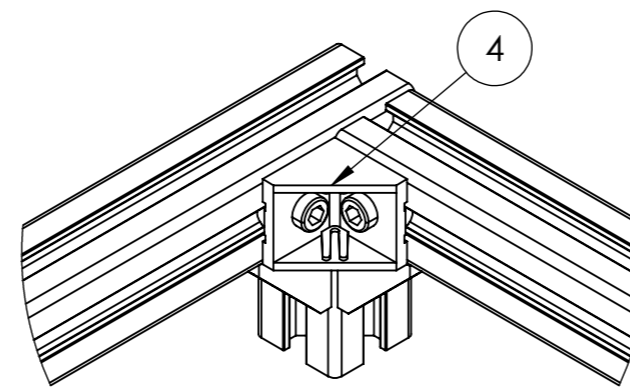
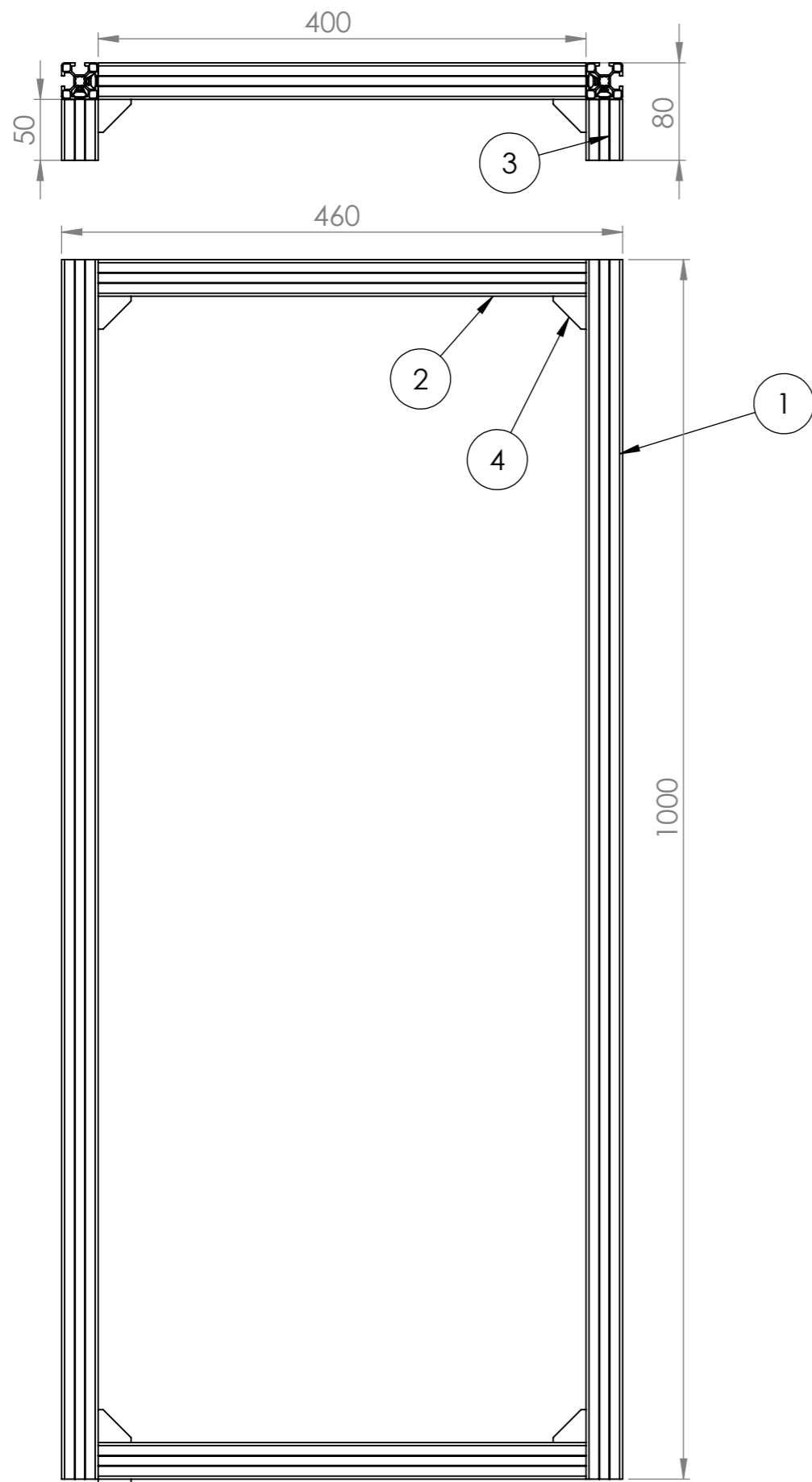
	Materjal <b>Alumiinium 3003</b>		Märkimata piirhälbed: ISO 2768-1 - mK		Mass: 2.30 kg	Mõõt: 1:2
	Teostas Matio Ansip	Nimetus: <b>Vabajooksu rullik</b>				
Kontr. Indrek Virro						
Kinnitas Indrek Virro						
		Leht: 1/1	Tähis: TN 22/170491 A 00 01 01 D			



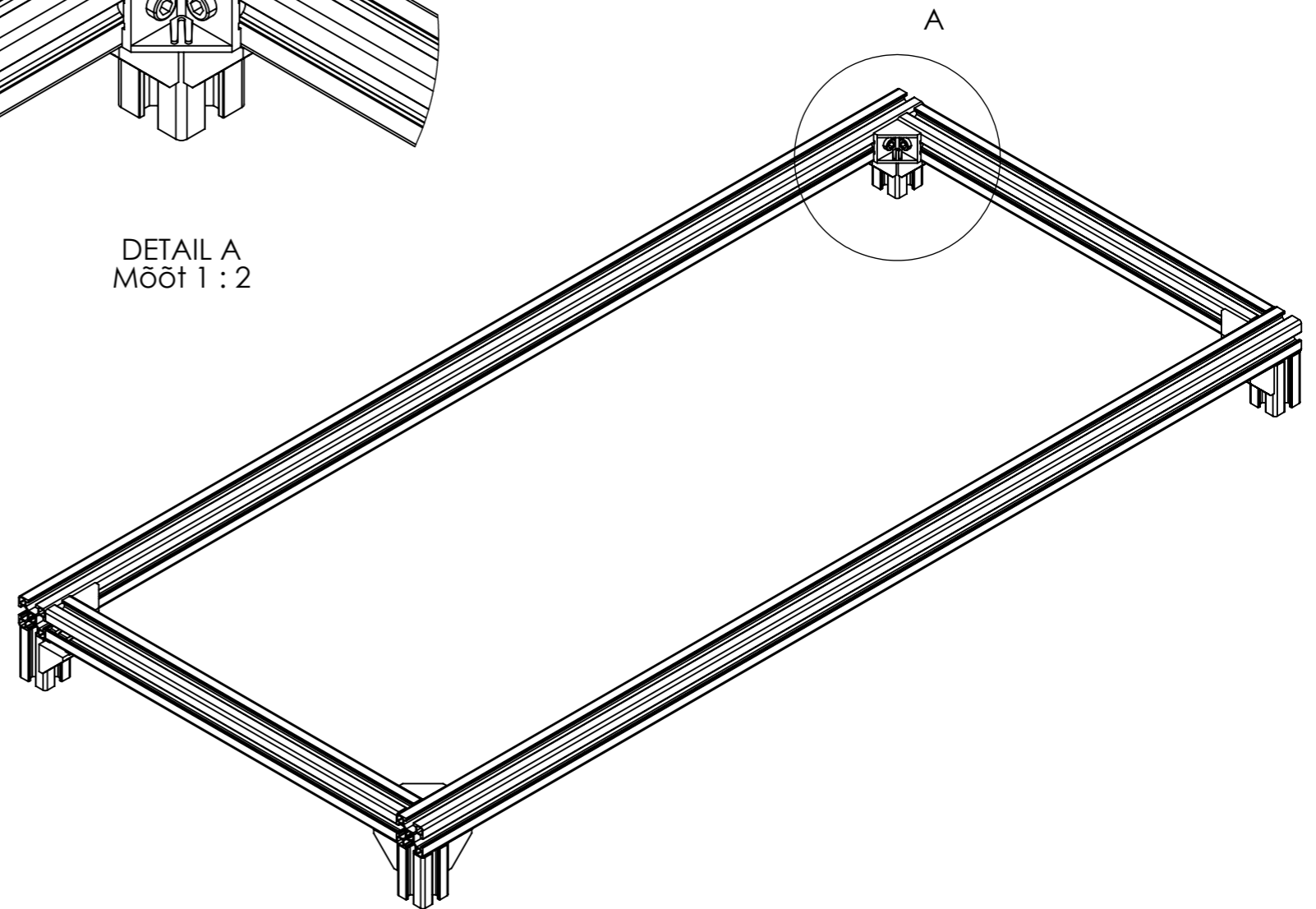
	Materjal <b>Alumiinium 3003</b>	Märkimata piirhälbed: ISO 2768-1 - mK	Mass: 25 g	Mõõt: 1:1
Teostas	Matio Ansip	Nimetus: <b>Vabajooksu rulliku võll</b>		
Kontr.	Indrek Virro			
Kinnitas	Indrek Virro			
	Leht: 1/1	Tähis: TN 22/170491 A 00 01 02 D		



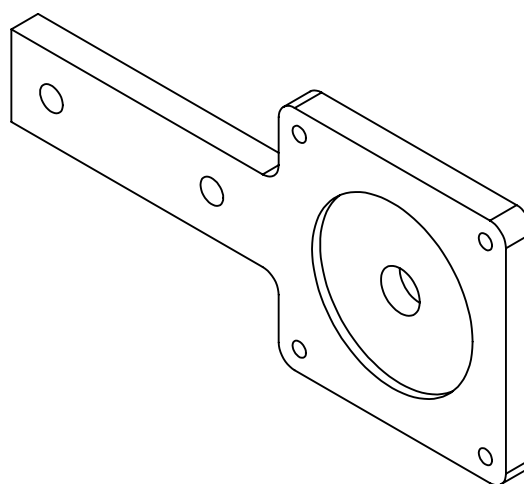
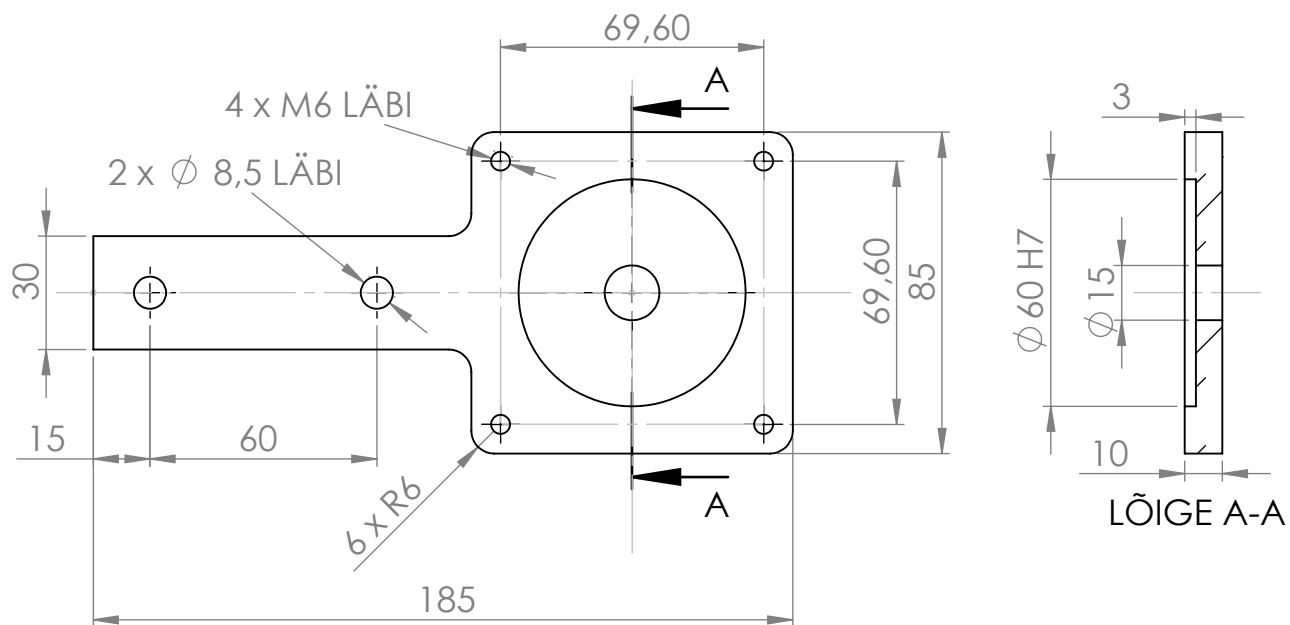
	Materjal <b>Alumiinium 3003</b>	Märkimata piirhälbed: <b>ISO 2768-1 - mK</b>	Mass: <b>4 g</b>	Mõõt: <b>2:1</b>
Teostas	<b>Matio Ansip</b>	Nimetus: <b>Laagrite separaator</b>		
Kontr.	<b>Indrek Virro</b>			
Kinnitas	<b>Indrek Virro</b>			
	Leht: <b>1/1</b>	Tähis: <b>TN 22/170491 A 00 01 03 D</b>		



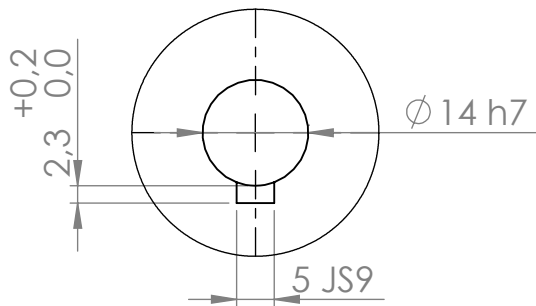
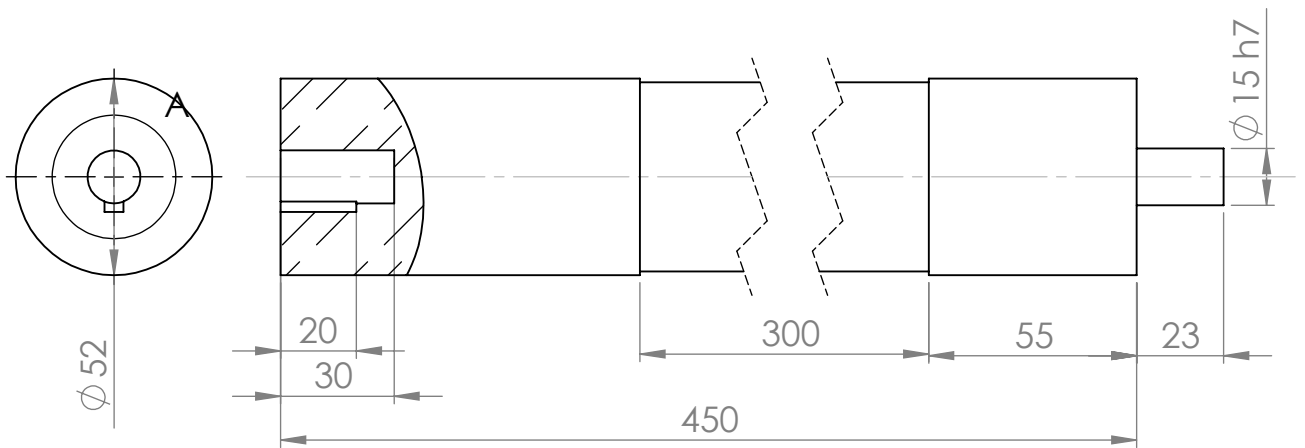
DETAIL A  
Mõõt 1 : 2



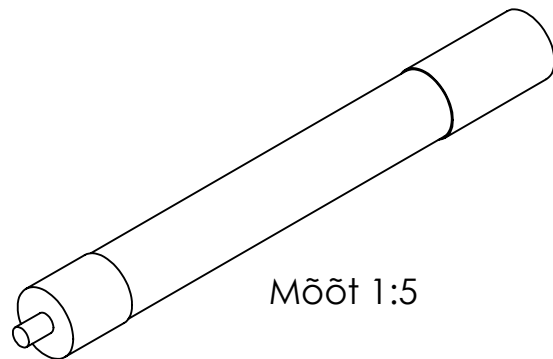
4	MiniTec kinnitusnurga komplekt	21.0905/0	12	MiniTec	
3	MiniTec profiil 30x30 1000 mm	20.1068/0	4	MiniTec	
2	MiniTec profiil 30x30 400 mm	20.1068/0	2	MiniTec	
1	MiniTec profiil 30x30 1000 mm	20.1068/0	2	MiniTec	
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
		Materjal	Märkimata piirhälbed: ISO 2768-1 - mK	Mass: 2.15 kg	Mõõt: 1:5
Teostas	Matio Ansip	Nimetus: Koneveieri raami koost			
Kontr.	Indrek Virro				
Kinnitas	Indrek Virro				
		Leht: 1/1	Tähis: TN 22/170491 A 00 02 00 K		



	Materjal Alumiinium 3003	Märkimata piirhälbed: ISO 2768-1 - mK	Mass: 244 g	Mõõt: 1:2
Teostas	Matio Ansip	Nimetus: Mootori kinnitusplaat		
Kontr.	Indrek Virro			
Kinnitas	Indrek Virro			
	<a href="http://www.emu.ee">www.emu.ee</a> <b>Eesti Maaülikool</b> Estonian University of Life Sciences	Leht: 1/1	Tähis: TN 22/170491 A 00 03 00 D	

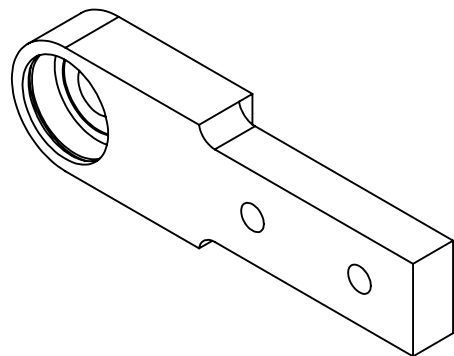
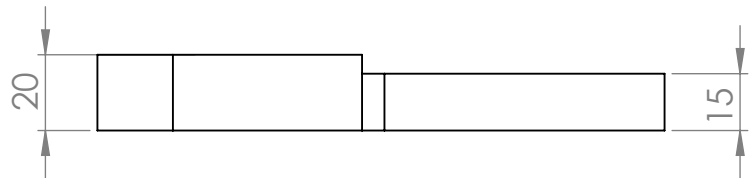
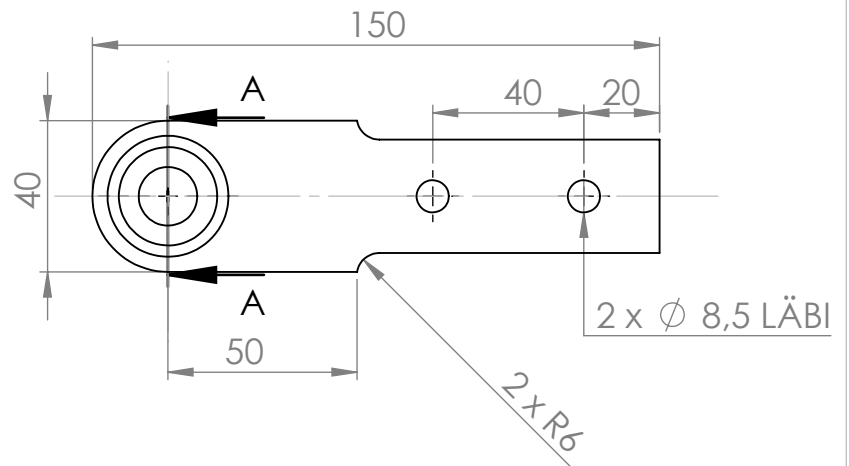
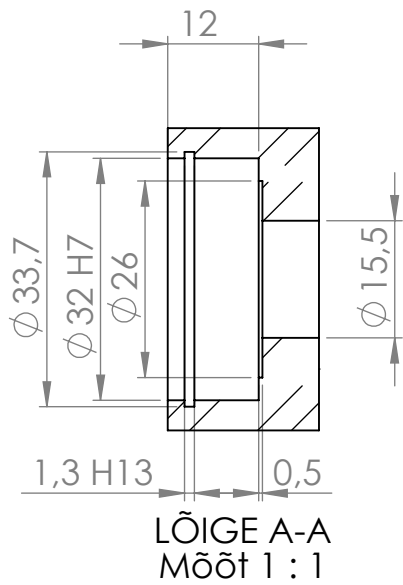


DETAIL A  
Mõõt 1 : 1

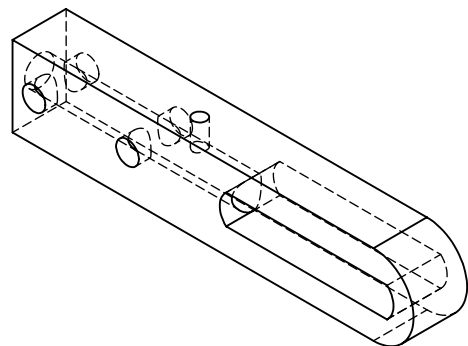
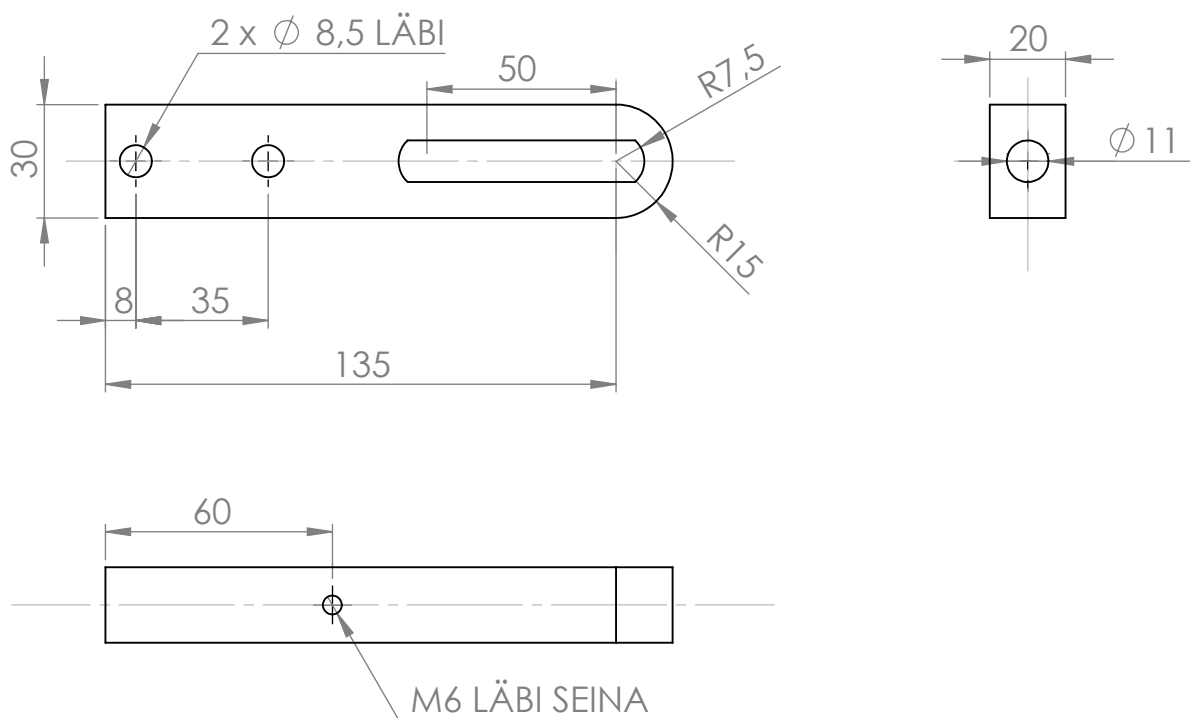


Mõõt 1:5

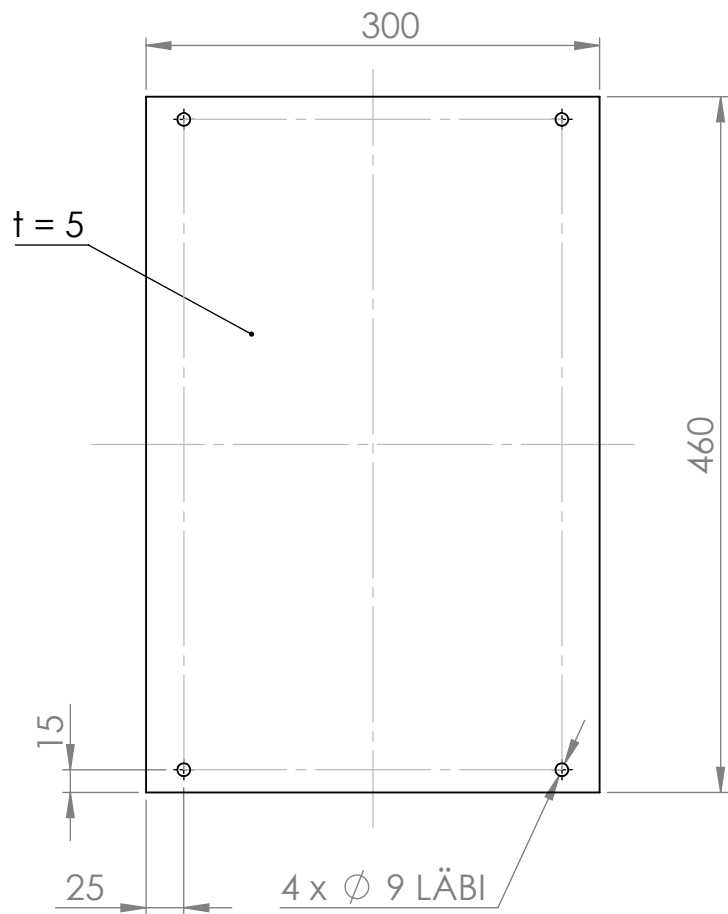
	Materjal <b>Alumiinium 3003</b>		Märkimata piirhälbed: ISO 2768-1 - mK		Mass: 2.45 kg	Mõõt: 1:2
	Teostas Matio Ansip	Nimetus: <b>Veorull</b>				
Kontr. Indrek Virro						
Kinnitas Indrek Virro						
		Leht: 1/1	Tähis: TN 22/170491 A 00 04 00 D			



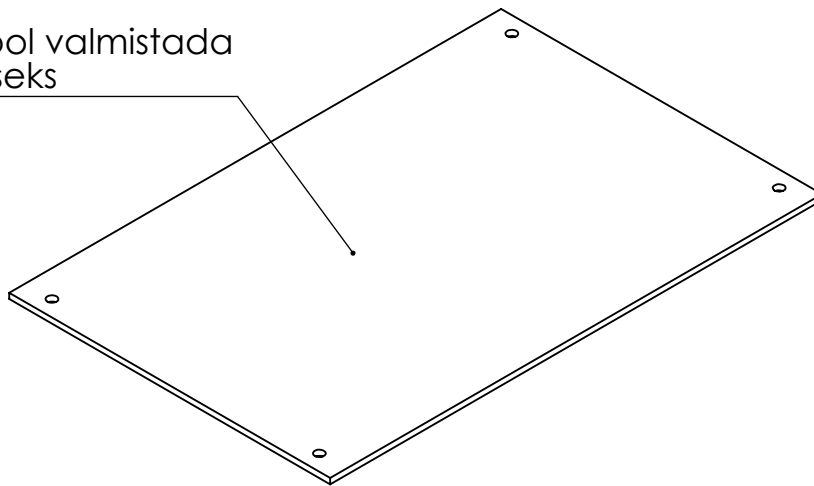
	Materjal Alumiinium 3003	Märkimata piirhälbed: ISO 2768-1 - mK	Mass: 204 g	Mõõt: 1:2
Teostas	Matio Ansip	Nimetus: Veorulli tugi		
Kontr.	Indrek Virro			
Kinnitas	Indrek Virro			
	<a href="http://www.emu.ee">www.emu.ee</a> <b>Eesti Maaülikool</b> Estonian University of Life Sciences	Leht: 1/1	Tähis: TN 22/170491 A 00 05 00 D	



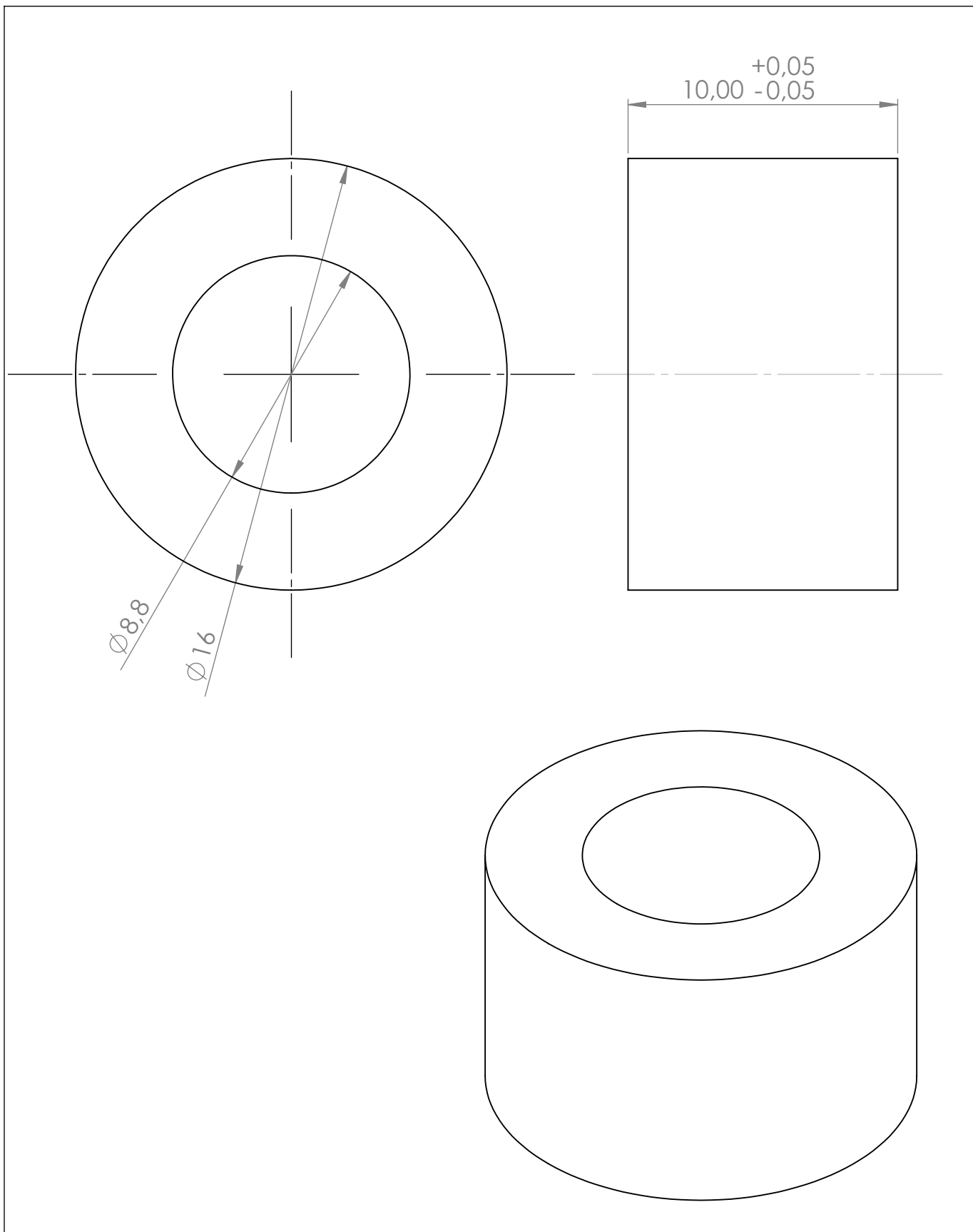
	Materjal <b>Alumiinium 3003</b>		Märkimata piirhälbed: ISO 2768-1 - mK		Mass: 176 g	Mõõt: 1:2
	Teostas Matio Ansip	Nimetus: <b>Pingutusdetail</b>				
Kontr. Indrek Virro						
Kinnitas Indrek Virro						
		Leht: 1/1	Tähis: TN 22/170491 A 00 06 00 D			



Alumine pool valmistada ette liimimiseks

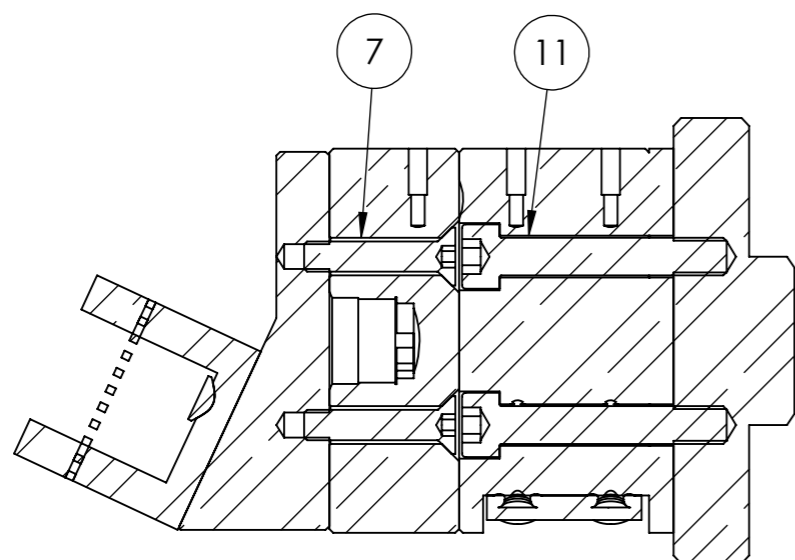
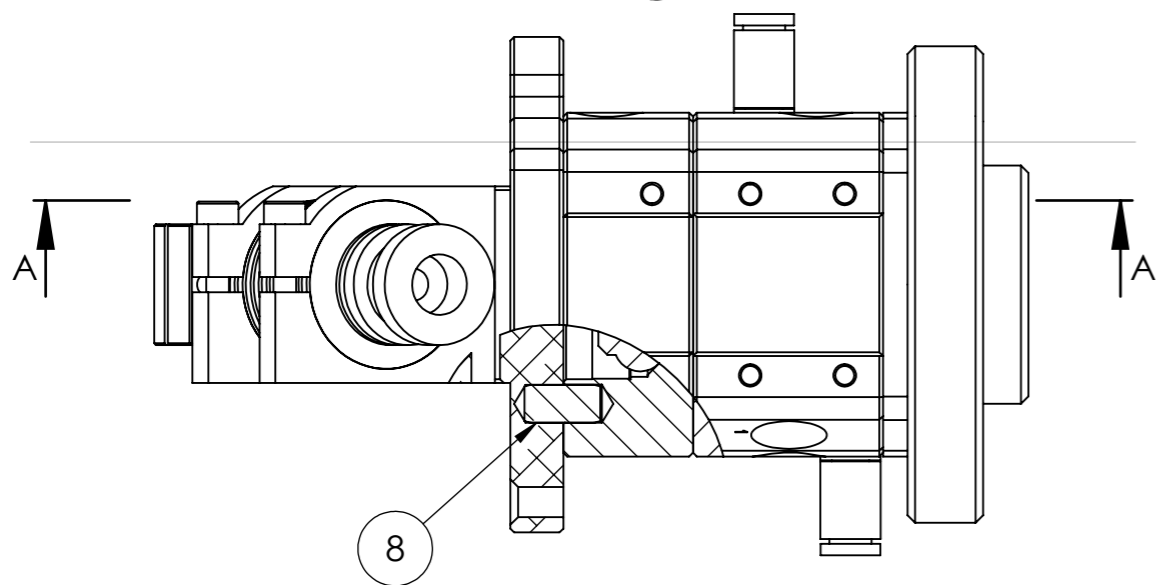
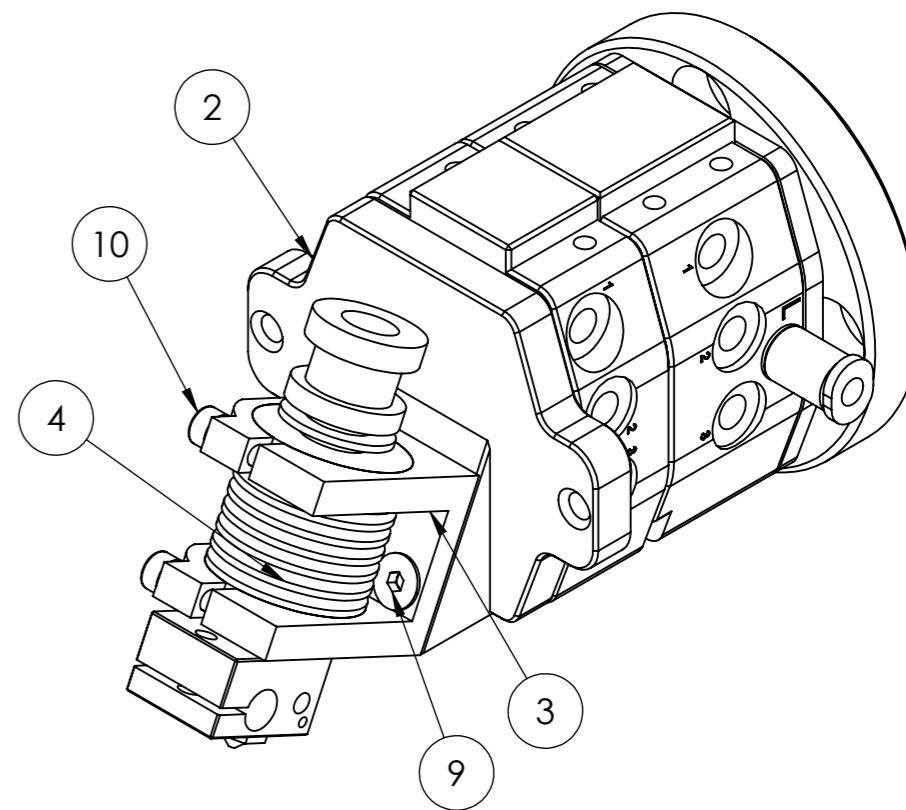
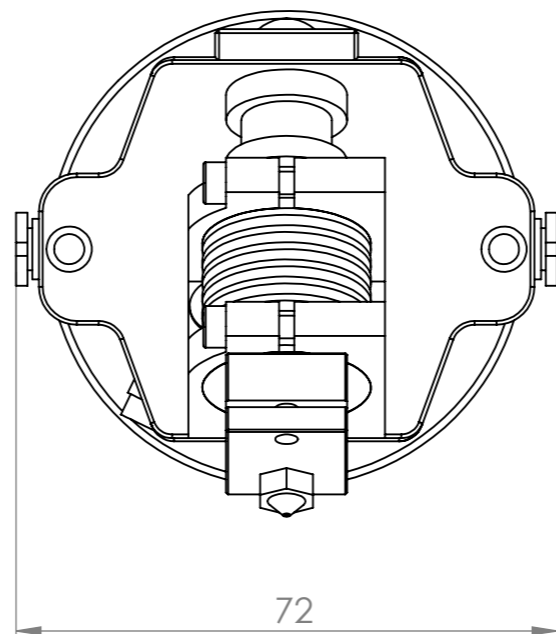
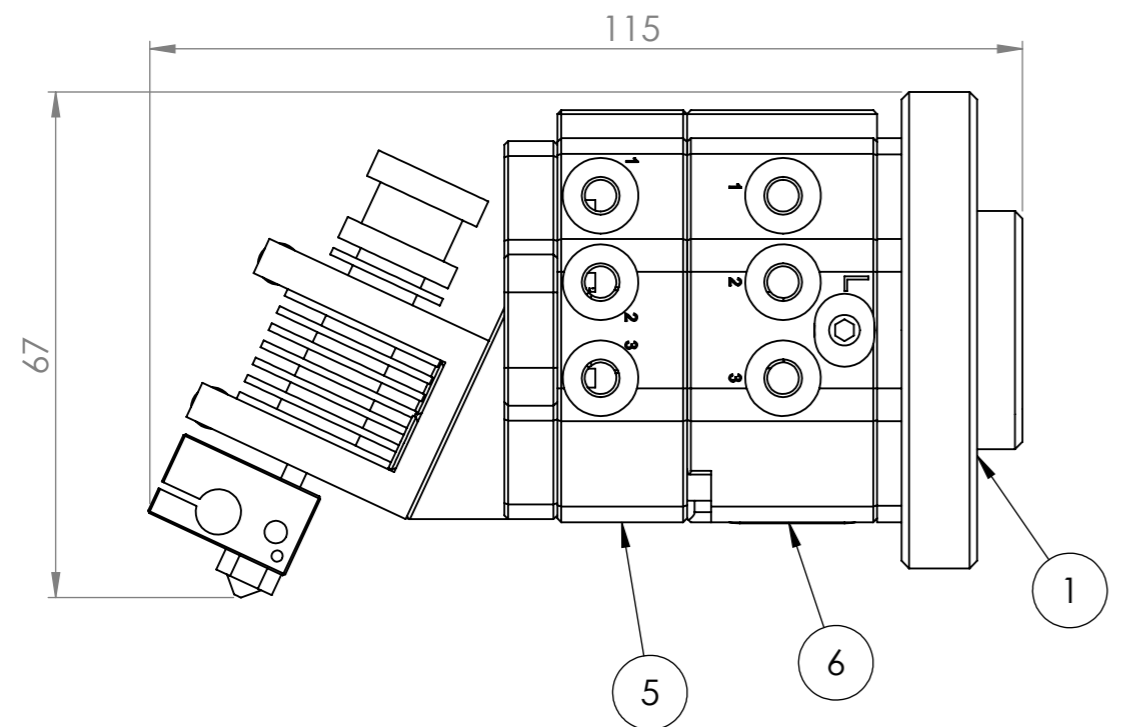


	Materjal Alumiinium 3003	Märkimata piirhälbed: ISO 2768-1 - mK	Mass: 1.86 kg	Mõõt: 1:1
	Teostas Matio Ansip	Nimetus: Kuumutusplaat		
Kontr. Indrek Virro				
Kinnitas Indrek Virro				
	Leht: 1/1	Tähis: TN 22/170491 A 00 07 00 D		



	Materjal <b>Alumiinium 3003</b>	Märkimata piirhälbed: <b>ISO 2768-1 - mK</b>	Mass: <b>4 g</b>	Mõõt: <b>5:1</b>
Teostas	<b>Matio Ansip</b>	Nimetus: <b>Kuumutusalususe separaator</b>		
Kontr.	<b>Indrek Virro</b>			
Kinnitas	<b>Indrek Virro</b>			
 <b>Eesti Maaülikool</b> Estonian University of Life Sciences	Leht: <b>1/1</b>	Tähis: <b>TN 22/170491 A 00 08 00 D</b>		

## **LISA B – 3D printimise tööriista tehnilised joonised**



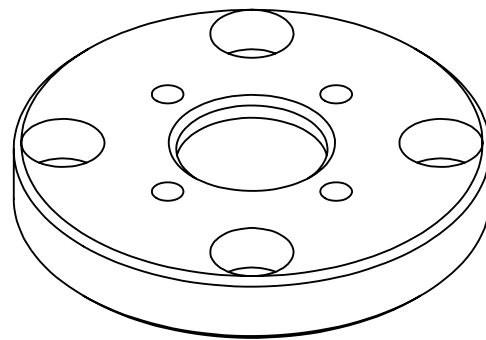
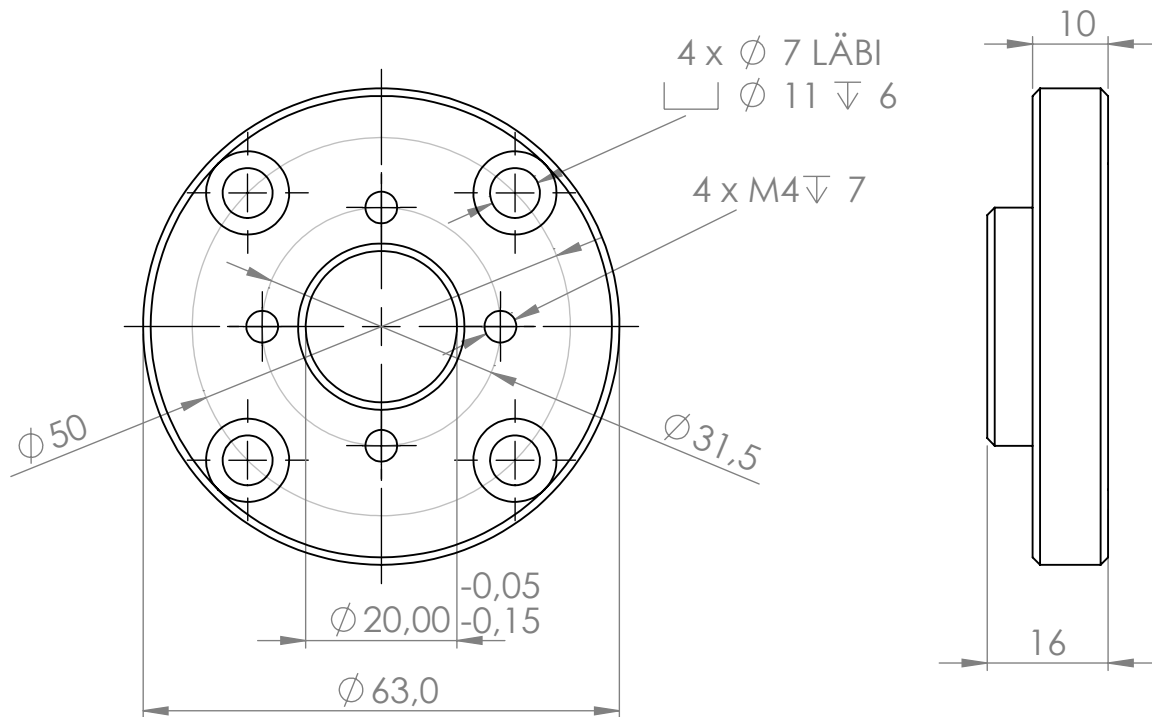
LÕIGE A-A

11	Kruvi DIN 912 M5 x 30		4	
10	Kruvi DIN 912 M3 x 12		2	
9	Kruvi DIN 7991 M4 x 8		2	
8	Tihvt ISO 2338 M6 x 10		2	
7	Kruvi DIN 7991 M4 x 20		4	
6	Kiirvaheti B osa	ATI's QC-7	1	
5	Kiirvaheti A osa	ATI's QC-7	1	
4	Kuumutuspea	E3D V6	1	
3	Kuumutuspea hoidik	TN 22/170491 B 01 03 D	1	
2	Kuumutuspea flants	TN 22/170491 B 01 02 D	1	
1	Ühendusflants	TN 22/170491 B 01 01 D	1	

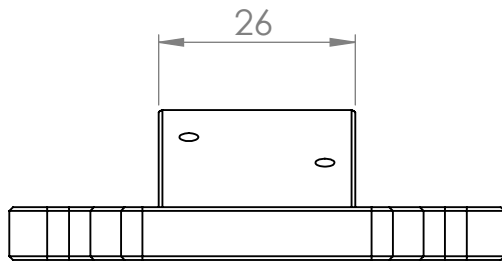
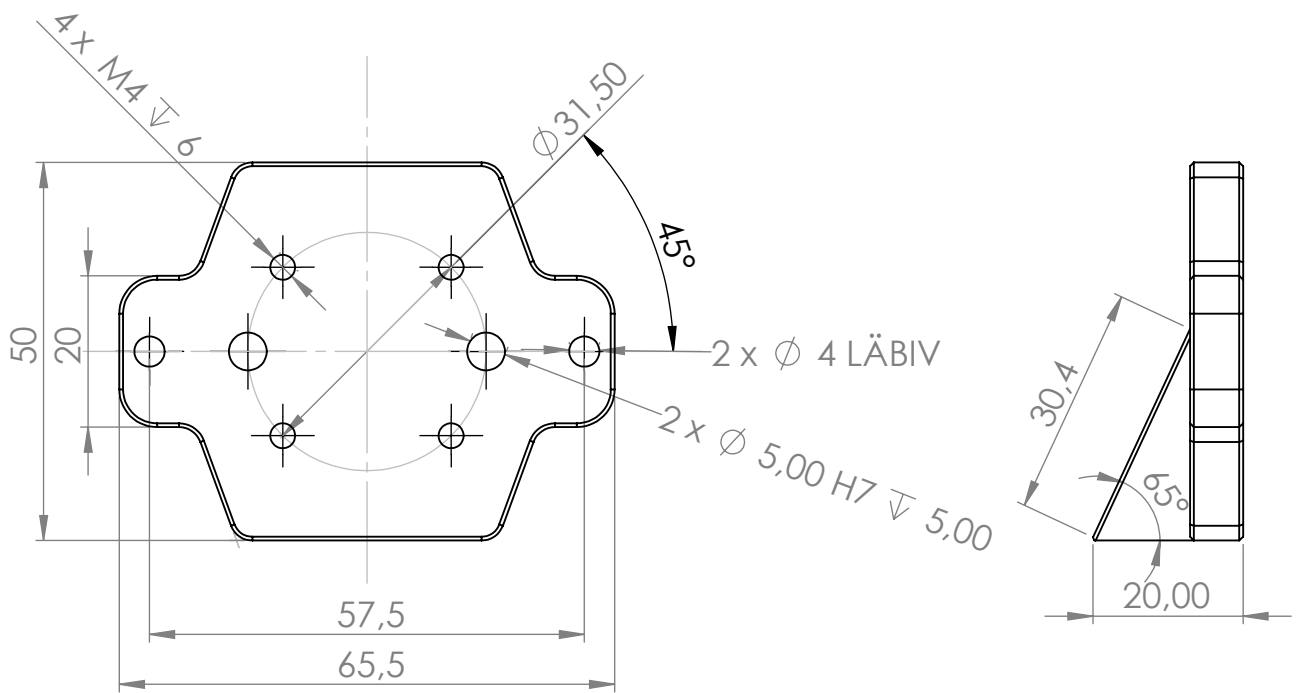
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
		Materjal Alumiinium 3003	Märkimata piirhälbed: ISO 2768-1 - mK	Mass: 195 g	Mõõt: 1:1

Teostas	Matio Ansip	Nimetus: 3D printimise tööriista koost
Kontr.	Indrek Virro	
Kinnitas	Indrek Virro	

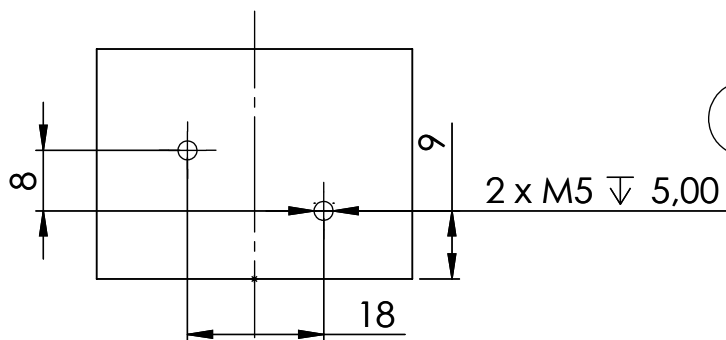
	<b>Eesti Maaülikool</b> Estonian University of Life Sciences	Leht: 1/1	Tähis: TN 22/170491 B 01 00 K
--	-----------------------------------------------------------------	--------------	----------------------------------



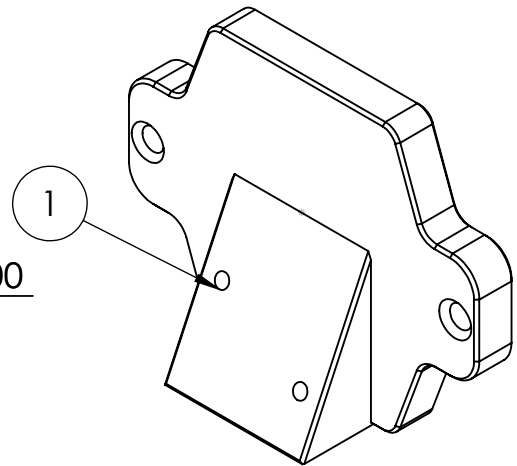
	Materjal Alumiinium 3003		Märkimata piirhälbed: ISO 2768-1 - mK	Mass: 85 g	Mõõt: 1:1
	Teostas Kontr. Kinnitas	Matio Ansip Indrek Virro Indrek Virro	Nimetus: Ühendusflants		
		Leht: 1/1	Tähis: TN 22/170491 B 01 01 D		



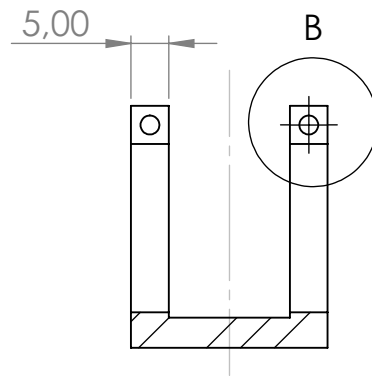
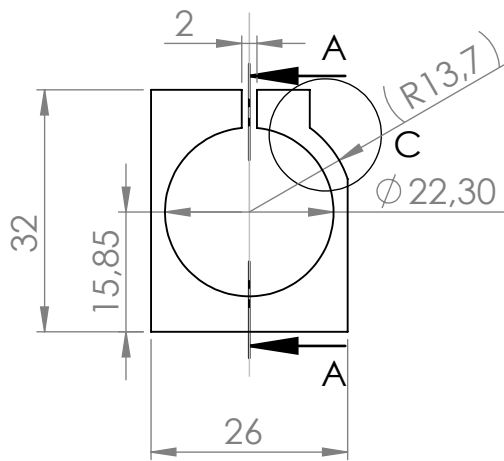
Avade asetus pinnal 1  
Mõõt 2:1



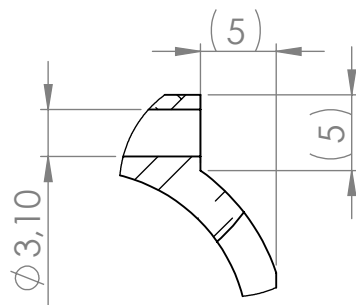
Mõõdud enne faasimist  
Faas 0,5 mm



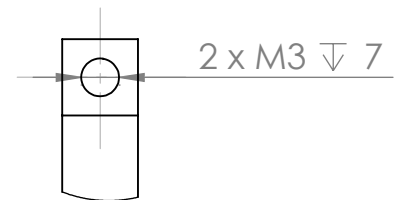
	Materjal Alumiinium 3003	Märkimata piirhälbed: ISO 2768-1 - mK	Mass: 58 g	Mõõt: 1:1
Teostas	Matio Ansip	Nimetus: Kuumutuspea flants		
Kontr.	Indrek Virro			
Kinnitas	Indrek Virro			
	<a href="http://www.emu.ee">www.emu.ee</a> <b>Eesti Maaülikool</b> Estonian University of Life Sciences	Leht: 1/1	Tähis: TN 22/170491 B 01 02 D	



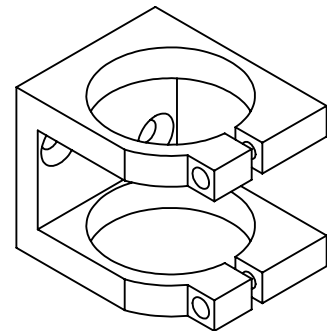
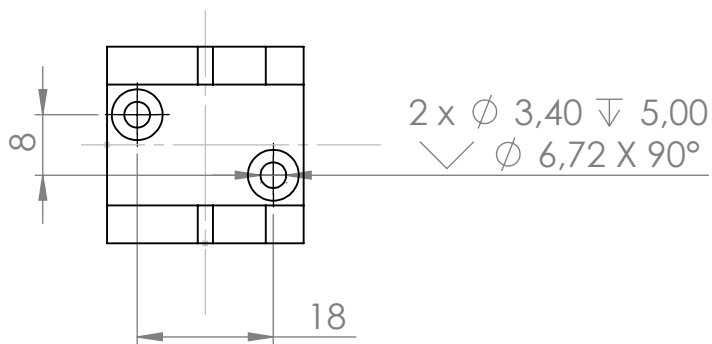
LÕIGE A-A



DETAIL C  
MÕÖT 2 : 1



DETAIL B  
MÕÖT 2 : 1



	Materjal Alumiinium 3003	Märkimata piirhälbed: ISO 2768-1 - mK	Mass: 14 g	Mõõt: 1:1
Teostas	Matio Ansip	Nimetus: Kuumutuspea hoidik		
Kontr.	Indrek Virro			
Kinnitas	Indrek Virro			
	Leht: 1/1	Tähis: TN 22/170491 B 01 03 D		

## **LISA C - Lihtlitsents**

## **Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Matio Ansip (*autori nimi*)  
sünniaeg 21.03.1997

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö  
Robotmanipulaatori ja konveieri koostöösüsteemi arendus 3D printimiseks  
(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja(d) on Indrek Virro  
(*juhendaja(te) nimi*)

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
  - 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
  - 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks
- kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
  3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor \_\_\_\_\_  
(*allkiri*)

Tartu, \_\_\_\_\_  
(*kuupäev*)

---

### **Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Luban lõputöö kaitsmisele.

\_\_\_\_\_  
(*juhendaja nimi ja allkiri*)

\_\_\_\_\_  
(*kuupäev*)

\_\_\_\_\_  
(*juhendaja nimi ja allkiri*)

\_\_\_\_\_  
(*kuupäev*)