



EESTI MAAÜLIKOOL
Tartu Tehnikakolledž

Sander Kütt

3D-PRINTERI TÖÖLAUA ARENDUS
DEVELOPMENT OF THE 3D-PRINTER BUILD PLATE

Rakenduskõrgharidusõppe lõputöö
Tehnotroonika

Juhendaja: Nooremteadur Kaarel Soots, PhD

Tartu 2018

LÜHIKOKKUVÕTE

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Rakenduskõrgharidusõppe lõputöö lühikokkuvõte	
Autor: Sander Kütt		Õppekava: Tehnotroonika	
Pealkiri: 3D-printeri töölaua arendus			
Lehekülgi: 55	Jooniseid: 28	Tabeleid: 4	Lisaid: 17
Osakond: Tehnikakolledž ETIS-e teadusvaldkond: 4.13 Mehhanotehnika, automaatika, tööstustehnoloogia, CERC S-i kood: T125 Automatiseerimine, robotika, control engineering Juhendaja: Kaarel Soots Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu, 2018			
<p>Käesoleva lõputöö eesmärgiks on projekteerida kaughaldusega juhitud lisaseade 3D-prinditud detaili eemaldamiseks 3D-printeri töölaualt. Vajadus lisaseadme tarbeks tulenes autori isiklikest kogemustest. Detaili valmimisel tuleb 3D-printeri opertaatoril sekkuda ja töölaualt valminud objekt manuaalselt eemaldada. Käesolevas lõputöös projekteeritud lisaseademe tähtsamad komponendid on juhtarvuti, 3D-prinditavad kronsteinid, elektrimootor ja polüvinüülkloriid transportöörlint. Töö käigus viis autor läbi turu-uuringu, valis 3D-printeri, millele lisaseadet projekteerima hakatakse, püstitas nõuded projekteeritavale lisaseadmele, modifitseeris vabavaralist tarkvara ja projekteeris lisaseadme mehaanilise osa.</p>			
Märksõnad: 3D-printimine, Raspberry Pi, vabavara, töölaud			

ABSTRACT

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Bachelor's Thesis	
Author: Sander Kütt		Speciality: Technotronics	
Title: Development of the 3D-printer build plate			
Pages: 55	Figures: 28	Tables: 4	Appendixes: 17
Department: Technology College ETIS-e teadusvaldkond: 4.13 Mechanical Engineering, Automation Technology and Manufacturing Technology CERC S-i kood: T125 Automation, robotics, control engineering Supervisors: Kaarel Soots Place and date: Tartu, 2018			
<p>The purpose of this thesis is to design a remote control accessory for removing the 3D-printed objects from the 3D-printers build plate. The need for an accessory came from the author's personal experiences. When the printing of 3D-object is completed, the 3D-printer operator must interfere and remove the object from the build plate manually. The most important components of the designed auxiliary device are a computer, 3D-printable brackets, an electric motor and a polyvinyl chloride conveyor belt. During the work, the author carried out a market survey, chose a 3D-printer to which the auxiliary device will be designed, set up the requirements for the projected accessory, modified the freeware software, and engineered the mechanical parts of the auxiliary device.</p>			
Keywords: 3D-printing, Raspberry Pi, freeware, build plate			

SISUKORD

LÜHIKOKKUVÕTE	2
ABSTRACT	3
SISUKORD	4
MÕISTED JA LÜHENDID	5
SISSEJUHATUS	6
1. KIRJANDUSE ANALÜÜS	7
1.1 Juhtarvuti riistvara	7
1.2 FDM tehnoloogia.....	9
1.3 Hetkel turul olevad tooted	10
2. MATERJAL JA METOODIKA.....	12
2.1 Printeri valik	12
2.2 Komponentide valik	13
3. TULEMUSED JA ARUTELU	15
3.1 Juhtarvuti tarkvara	15
3.2 Tarkvara täiendused.....	18
3.3 Töölaud.....	22
3.4 Elektroonika	28
3.5 Maksumus.....	30
KOKKUVÕTE	32
KIRJANDUSE LOETELU	33
LISAD	35
LISA A	36

MÕISTED JA LÜHENDID

<i>GPIO</i>	- Sisend/väljund ühenduspistikud
<i>Micro-SD</i>	- Mälukaardi formaat
<i>SSH</i>	- <i>Secure Shell</i> ehk turvaline võrguprotokoll
<i>G-Kood</i>	- Programmeerimiskeel, mida kasutatakse arvjuhtimisega tööpinkidel
<i>FDM</i>	- <i>Fused deposition modeling</i> ehk 3D-printimine plastiktraati sulatades
<i>SDRAM</i>	- Muutmälu
<i>Bash skript</i>	- Bash kooriku skript on tekstifail, mis sisaldab kooriku käske
<i>PVC</i>	- Polüvinüülkloriid
<i>VCC</i>	- Toitepinge viik
<i>GND</i>	- Maandus
<i>PLA</i>	- Maisist või suhkruroost valmistatud biolagunev printeri niit

SISSEJUHATUS

3D-printimise tehnoloogia sai alguse juba aastal 1983 kui Chuck Hull leiutas esimese 3D detailide loomise tehnika stereolitograafia (SLA). Esimene FDM printer pärineb aastast 1991, ettevõtte Stratasys poolt. Aastal 2007 tuli turule esimene kommerts tarbeks valmistatud printer, mille hind jäi alla 10 000 dollari. Sellest ajast alates on turule tulnud sadu erinevaid printereid, hinnaga alates 150 €. [21]

Printimistööd võivad tihti kesta mitmeid tunde kuni ööpäev ja nii nädalaid järjest. Kaua kestvate printimistööde puhul on keeruline planeerida lõpuaega nii, et printer töötaks minimaalsete seisakutega. Peale printimise lõppemist, tuleb valminud detail käsitsi alusplaadilt eemaldada ja seejärel printer uuesti käivitada.

Projekteeritav lisaseade tekitab printeri haldajale võimaluse eemaldada alusplaadilt valminud detaili ja alustada uuega, füüsiliselt printeri läheduses viibimata, kasutades selleks veebiliidest.

Töökäigus kasutati järgnevat tarkvara: joonestusprogramm Solidworks 2017, 3D printeri juhtarkvara OctoPi 0.15, SSH klientprogramm Putty, mälukaardi haldus tarkvara Etcher ja võrgu skaneerimiseks mõeldud Androidi programmi Fing.

Käesoleva lõputöö eesmärgiks on projekteerida kaughaldusega juhitud lisaseade 3D-printitud detaili eemaldamiseks 3D-printeri töölaualt.

Eesmärgi saavutamiseks seatud ülesanded:

1. Kirjanduse analüüs;
2. Turu-uuringu läbiviimine;
3. 3D-printeri valimine;
4. Juhtarvuti valimine;
5. Lisaseadme tarkvara väljatöötamine;
6. Mehaanika projekteerimine.

1. KIRJANDUSE ANALÜÜS

1.1 Juhtarvuti riistvara

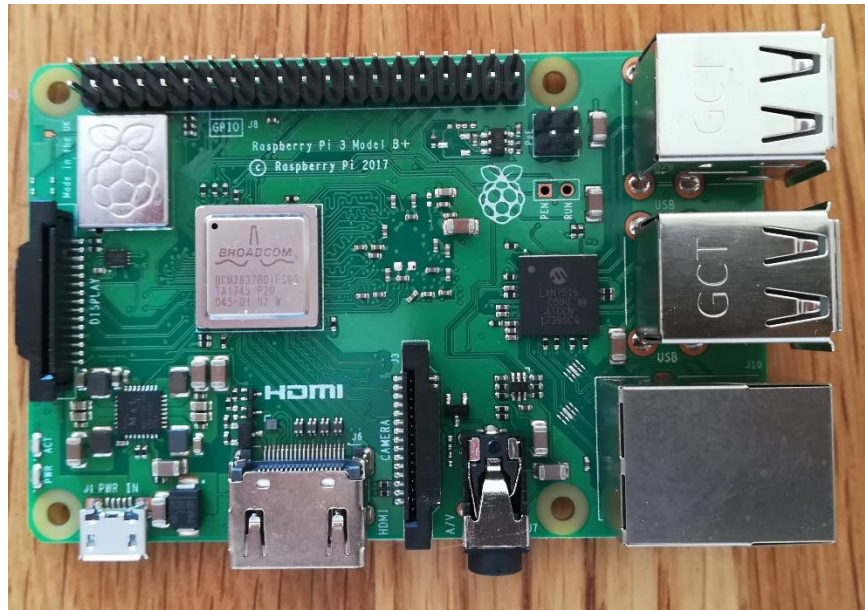
Raspberry Pi on umbes pangakaardi suurune arvuti, mis koosneb ainult ühest trükkplaadist. Tegemist on väikese ja võimeka arvutiga, millega saab kasutada tavalisele personaalarvutile sarnaseid funktsioone: arvutustabelid, tekstitöötlus, veebisirvimine ja lihtsamate mängude mängimine. [1]

Esimene versioon raspberryst tuli müügile veebruaris 2012 hinnaga 25 dollarit. 2018 aasta märtsi kuus ilmus Raspberry Pi 3 Model B+, mis oli järjekorras juba kolmeteistkümnes Raspberry Pi Fondi poolt väljaantud arvuti. [1]

Raspberry Pi 3 Model B+ märkimisväärsemad omadused:

- a) 1,4 GHz 64-bitine neljatuumaline protsessor;
- b) 1GB LPDDR2 SDRAM operatiivmälu;
- c) 4 x USB 2.0 pesa;
- d) 40 sisendit ja väljundit(*GPIO*);
- e) 2,4 GHz ja 5 GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac wifi, Bluetooth 4.2;
- f) Micro SD mälukaardi pesa operatsioonisüsteemi ja andmete hoiustamiseks [1];
- g) Mõõdud 85,6 mm x 56,5 mm x 17 mm;
- h) Voolutarve tavaolekus 0,4 A, koormuse all 1,13 A [2] [3];
- i) Hind 41.90 € [4];

Raspberry Pi 3 Model B+ on väljatoodud joonisel 1.



Joonis 1. Raspberry Pi 3 Model B+.

Otsides alternatiive Raspberyllale, leidis autor veel mitmeid erinevaid potentsiaalseid variante, mis olid sarnaste näitajatega. Tabelis 1 võrdleb autor Raspberry't soodsama alternatiiviga.

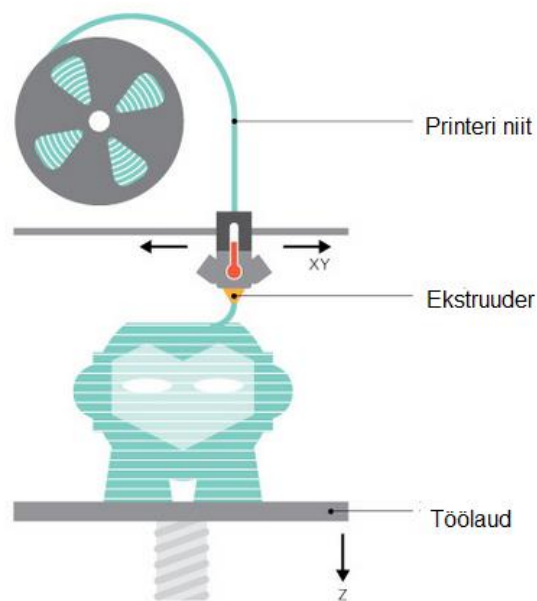
Tabel 1. Raspberry Pi võrdlus soodsama konkurendiga [19]

	Orange Pi Plus	Raspberry Pi 3 Model B+
Protsessor	1,6 GHz 32-bitine neljatuumaline protsessor	1,4 GHz 64-bitine neljatuumaline protsessor
Operatiivmälu	1 GB	1 GB
Mälukandja	MicroSD kuni 64 GB	MicroSD kuni 32 GB
USB pesad	3	4
Ühenduvus	Wifi	Wifi ja bluetooth
<i>GPIO</i> viikude arv	40	40
Mõõdud	85 mm x 55 mm x 17 mm	85,6 mm x 56,5 mm x 17 mm
Hind	24.90 €	41.90 €

Võrdluses selgub, et soodsamalt on võimalik saada samaväärselise riistvara miniarvuti, kuid kõik tagasisided hoitavad probleemse tarkvara seadmise eest ja seetõttu algajatele seda ei soovitata.

1.2 FDM tehnoloogia

3D-printimine on digitaalsest joonistest reaalse kolmemõõtmelise objekti valmistamine. Digitaalne fail muudetakse vastava tarkvara abil G-koodiks ning saadetakse printerisse, kas siis *USB*-liidese või välise mäluseadme abil. 3D-printimiseks on olemas mitmeid erinevaid tehnoloogiaid ja materjale, kuid põhimõte on neil kõigil sama, lisada prinditavale objektile kihte ükshaaval [20]. Joonisel 2 on välja toodud *FDM* tehnoloogia kirjeldus 3D-printimisel.



Joonis 2. *FDM* tehnoloogia kirjeldus [5].

Soodsa tehnoloogia tõttu on kõige levinumad *FDM* tüüpi printerid.

1.3 Hetkel turul olevad tooted

Esmalt uurin hetkel turul saadavaid tooteid, et näha milliseid tehnilisi lahendusi on kasutatud ja seejärel luua oma prototüüp.

Joonisel 3 on BLACKBELT 3D printer, millega saab teoreetiliselt printida lõpmatu pikkusega detaile.



Joonis 3. BLACKBELT 3D printer [6].

Põhiomadused:

1. Printimisala suurus: 340 x 340 x ∞ mm;
2. Materjalid: ABS/PLA/CO-Polüster;
3. Hind alates: 9500€;
4. Töölaua pinnakate: Süsinikkiuga komposiitmaterjal [6].

Infinite Z 3D Printer on leitav ainult YouTube keskkonnast ja kõik info sellest on videotena, kust pärineb kuvatõmmis joonisel 4.



Joonis 4. Kuvatõmmis printerist, kus tööpind on 45 kraadise nurga all [7].

1. Vajab Simplify3D tarkvara hinnaga \$149;
2. Ekstruuder peab olema võimeline liikuma X ja Y suunas;
3. Komponentide hind ja täpne koostamisjuhised on puudulik [8].

2. MATERJAL JA METOODIKA

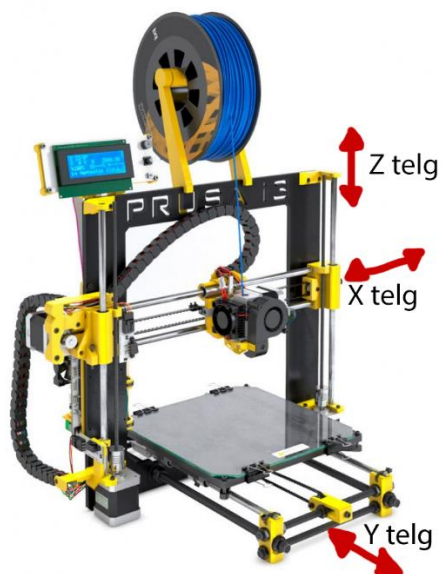
2.1 Printeri valik

Printeri valikul peetakse enamasti silmas kvaliteedi ja hinna suhet. Autorile jäi silma Bq Hephestos Prusa i3 printer, mis on toodetud Hispaanias, ettevõtte Bq Innovatsiooni ja Robootika osakonna poolt. Printeri nimes olev Prusa viitab Josef Prusale, kelle disainil antud printer põhinebki. Ekstruuder on võimeline liikuma Z ja X telgede suunas ning töölaud liigub Y telje suunas. Bq poolt on tehtud täiendusi nagu lõpulülite asukohad, kaablite paigutus ja detailsem dokumentatsioon [9]. Tabelis 2 on väljatoodud valitud 3D-printeri andmed.

Tabel 2. Bq Hephestos Prusa i3 andmed [10]

Printeri mõõtmed	460(X) x 383(Y) x 430 mm(Z)
Maksimaalne tööala	215(X) x 210(Y) x 180 mm(Z)
Minimaalne kihipaksus	60 µm
Maksimaalne kihipaksus	300 µm
Maksimaalne printimiskiirus	80 mm/s
Toiteallika sisendpinge	230 V AC
Toiteallika väljundpinge	12 V DC
Püsivara	Marlin
Ühenduvus	SD kaart/USB

Joonisel 5 näidatud 3D-printeril Bq Hephestos Prusa i3 on kollased detailid, kuid need võivad olla ka teist värvi, nagu on joonisel 6.



Joonis 5. Bq Hephastos Prusa i3 printeri teljed [10].



Joonis 6. Bq Hephastos Prusa i3 printeri Y telg [11].

Sarnast disaini kasutavad ka mitmekümned teiste ettevõtete poolt toodetud 3D-printerit. Autori poolt väljatöötatud lahendust on kergete modifikatsioonide abil võimalik kasutada ilmselt nende kõigi puhul [12].

2.2 Komponentide valik

Lahenduse väljatöötamisel on võetud eesmärgiks hoida kulusid võimalikult madalatenä. Kogu projekt sai planeeritud nii, et oleks võimalik kasutada võimalikult palju algupäraseid printeri osi. Kõiki plastmass detaile on võimalik 3D-printida ja ülejäänud rauakaubad ning kinnitusvahendid on ostetavad igast ehituspoest. Valitud komponendid on väljatoodud tabelis 3.

Tabel 3. Valitud komponendid

Komponent	Mark/valmistamistehnoloogia
Juhtarvuti	Raspberry Pi 3 Model b+
Kinnitusvahendid	Ostudetailid vastavalt standarditele
3D-printer	Bq Hephestos Prusa i3
Projekteeritavad konstruktsiooni elemendid	3D-printimine
Prinditavate konstruktsiooni elementide materjal	PLA
Tarkvara	OctoPi
Lintkonveier töölaua materjal	Polüvinüülkloriid

Käesoleva töö uudsus seisneb polüvinüülkloriid transportöörilindi kasutamisel 3D-printeri töölaua materjalina. Kirjanduse analüüsi käigus töö autor ei leidnud, et seda materjali oleks kasutatud 3D-printeri töölaua valmistamisel.

3. TULEMUSED JA ARUTELU

3.1 Juhtarvuti tarkvara

Raspberry Pi kasutamiseks tuleb seadmele valida operatsioonisüsteem ja paigaldada see Micro-SD mälukaardile. Kasutame tundmatu tootja mälukaarti, mille pealt võib lugeda, et tegemist on kaardiga millel on 16 GB mälu mahu ja kuulub kiiruseklassi 10.

Kasutame Raspbiani nimelisel operatsioonisüsteemil põhinevat tarkvara komplekti nimega OctoPi, mille saab allalaadida aadressilt: <https://octoprint.org/download/>. Allalaetud .zip fail on arhiiv, mis on kokkupakitud, et säästa andmemahutusi ja võimaldada kiiremat faili allalaadimist. Allalaetud arhiivi lahtipakkimisel avaneb ligipääs .img formaadis failile, milles paikneb tööks vajalik operatsioonisüsteem koos tarkvaraga. Antud komplekt sisaldab endas Raspbiani baas operatsioonisüsteemi, OctoPrint tarkvara, *MJPEG-Streamer* nimelist veebikaamera videotöötlus tarkvara ja CuraEngine 15.04 G-koodi genereerimiseks 3D-printerile, mis võimaldab mudeleid saata Octoprinti neid eelnevalt töötlemata.

OctoPi paigaldamiseks mälukaardile on tarvis vabavaralist tarkvara Etcher, mis on saadaval Windowsi, Linuxi ja Mac OS keskkondadele. Joonisel 7 näidatud Etcheri kasutajaliideses tuleb valida soovitud operatsioonisüsteemi .img fail, siht mälukaart ja seejärel vajutada „Start“.



Joonis 7. Etcher tarkvara kasutajaliides.

OctoPi lihtsaks ühendamiseks wifi-võrguga, tuleb mälukaardi peakaustas avada fail nimega „octopi-wpa-suppllicant.txt“. Antud fails saab määrata kasutatava võrguühenduse seaded. Ridadelt 27-30 tuleb eemaldada „#“ sümbolid, et muuta wifi kasutamine aktiivseks. „put SSID here“ tuleb asendada võrgu nime ja „put password here“ parooliga. Real 51 tuleb märkida kus riigis seadet kasutatakse ja selleks peab vaikeväärtuse „country=GB # United Kingdom“ asendama reaga „country=EE # Eesti“ nagu näidatud joonisel 8.

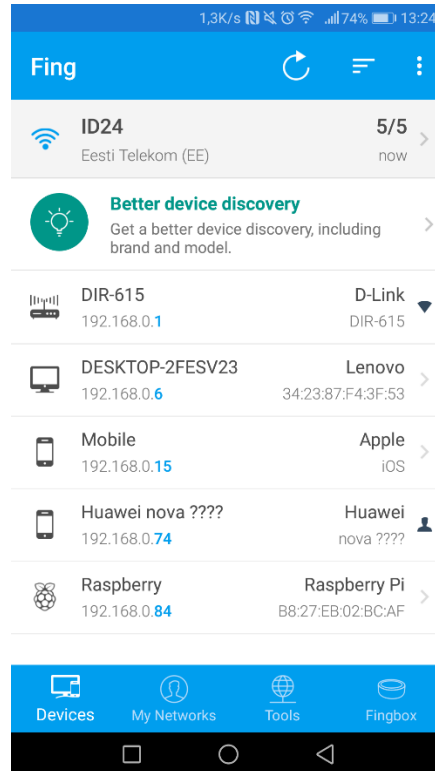
```
25
26  ## WPA/WPA2 secured
27  #network={
28  #   ssid="put SSID here"
29  #   psk="put password here"
30  #}
```

Joonis 8. Wifi-võrgu algseaded.

Järgnevalt tuleb eemaldada mälukaart arvutist ja paigaldada Raspberry Pi'sse. Vooluallikaks sobib Raspberryle näiteks mõni tahvelarvuti või uuema telefoni micro usb juhtmega laadija, mille väljundpinge on 5V ja voolutugevus vähemalt 2.5A. Mõne minuti möödudes on Rasperry töövalmis.

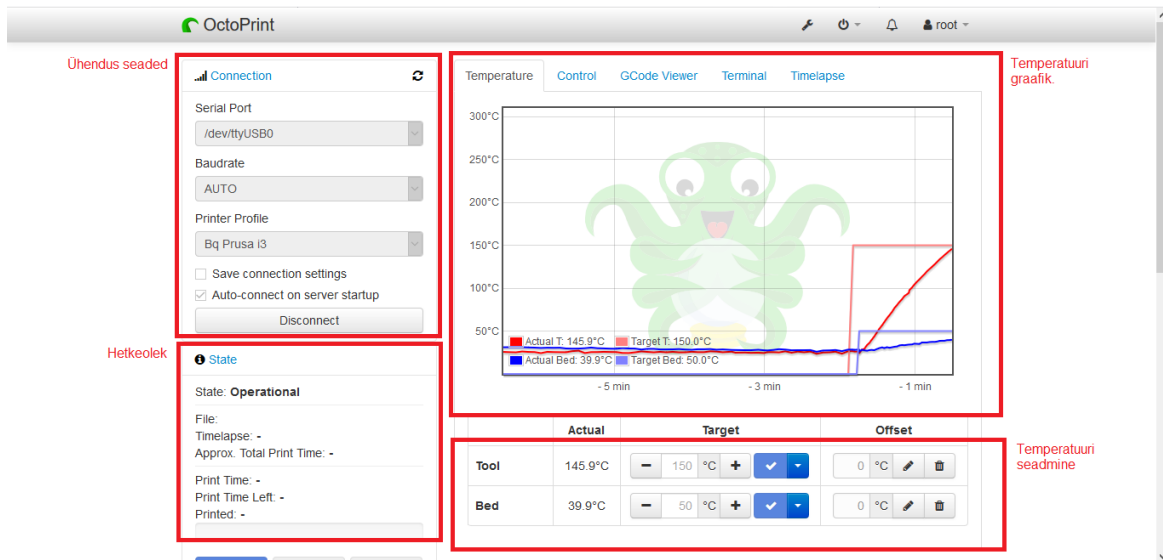
Octoprint tarkvara juhtimiseks on olemas veebiliides, millele pääseb ligi minnes mõne veebilehitsejaga Raspberry sisevõrgu IP-aadressile. IP-aadress on võimalik leida kas ruuteri

kontrollpaneelist või kasutades mõnda otsingu tarkvara, android seadmetele on selleks näiteks vabavaraline „Fing“. Ühendades telefon wifi-võrguga, on võimalik näha kõiki võrgus olevaid aktiivseid seadmeid nagu on joonisel 9.



Joonis 9. Võrgus olevate seadmete nimekirjast on Raspberry Pi kergelt eristatav.

Minnes veebilehitsejaga eelnevalt leitud *IP*-adressile <http://192.168.0.84>, avanebki OctoPrint tarkvara kasutajaliides, mis on näidatud joonisel 10.

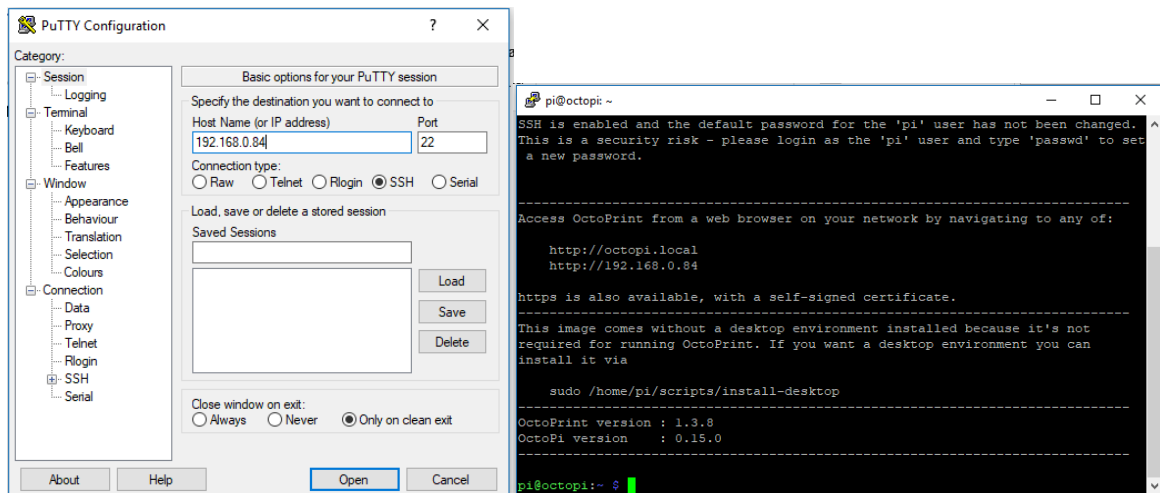


Joonis 10. Octoprint kasutajaliides.

Esmasel külastusel on soovitatav läbida seadistusjuhend, millega määratakse kasutajaliidese privaatsusseaded ja printeri parameetrid.

3.2 Tarkvara täiendused

Veebiliidestest detaili eemaldamiseks tuleb menüüsse lisada viide ja siduda see bash skriptiga. Selleks tuleb SSH võrguprotokolli kasutades sisselogida Raspberrysse. Windowsi keskkonnas sobib selleks Putty vabavaraline tarkvara, mis on näha ka joonisel 11.



Joonis 11. Putty käivitades ja peale sisselogimist.

„Host name (or IP address)“ lahtrisse tuleb kirjutada Rapsberry sisevõrgu IP, port on 22 ja „connection type“ SSH. Peale „Open“ nupule vajutamist kaob algne kasutajaliides ja asemele tuleb must käsuriida, kus küsitakse kasutajanime ja parooli. OctoPi operatsioonisüsteemi vaikeväärtusena on kasutajanimi „pi“ ja salasõna „raspberrypi“. Eduka sisselogimise järel on võimalik käsuterminali anda korraldusi.

```
pi@octopi:~ $ sudo nano .octoprint/config.yaml
```

Seejärel avaneb tekstiredaktor, millega lisame faili lõppu OctoPrint kasutajaliidese muudatused.

```
system:
```

```
actions:
```

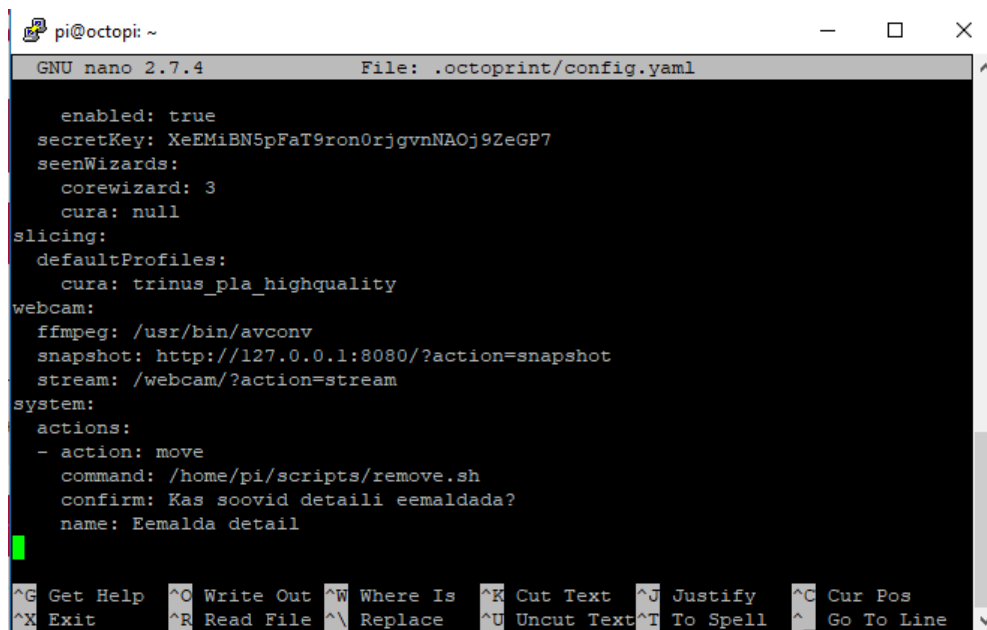
```
- action: move #Tegevuse nimi
```

```
command: /home/pi/scripts/remove.sh #Bash skripti asukoht
```

```
confirm: Kas soovid detaili eemaldada? #Kinnitus akna küsimus
```

```
name: Eemalda detail #Veebiliideses nähtava nupu kiri
```

Joonisel 12. on ära toodud kuvatõmmis config.yaml faili tehtud muudatustest.



```
pi@octopi: ~
GNU nano 2.7.4 File: .octoprint/config.yaml
enabled: true
secretKey: XeEMiBN5pFaT9ron0rjgvnNAOj9ZeGP7
seenWizards:
  corewizard: 3
  cura: null
slicing:
  defaultProfiles:
    cura: trinus_pla_highquality
webcam:
  ffmpeg: /usr/bin/avconv
  snapshot: http://127.0.0.1:8080/?action=snapshot
  stream: /webcam/?action=stream
system:
  actions:
    - action: move
      command: /home/pi/scripts/remove.sh
      confirm: Kas soovid detaili eemaldada?
      name: Eemalda detail
^G Get Help ^O Write Out ^W Where Is ^K Cut Text ^J Justify ^C Cur Pos
^X Exit ^R Read File ^\ Replace ^U Uncut Text ^T To Spell ^_ Go To Line
```

Joonis 12. Config.yaml faili lõppkuju.

Tekstiredaktorist väljumiseks tuleb vajutada klahve CTRL + X, kinnitada faili salvestamine vajutades klahvile Y ja seejärel vajutada klaviatuuril ENTER nupule, et salvestada fail. Liigume edasi järgmisesse kausta, kuhu loome faili mis juhib *GPIO* väljundeid.

```
pi@octopi:~ $ cd scripts
```

```
pi@octopi:~ $ sudo nano remove.sh
```

Avanenud tekstiredaktorisse tuleb lisada järgnevad read:

```
#!/bin/bash
```

```
gpio export 18 out # Määrame väljudviiguks GPIO18
```

```
gpio -g write 18 1 # Väljundviik tehakse aktiivseks
```

```
sleep 15 # Oodatakse 15 sekundit
```

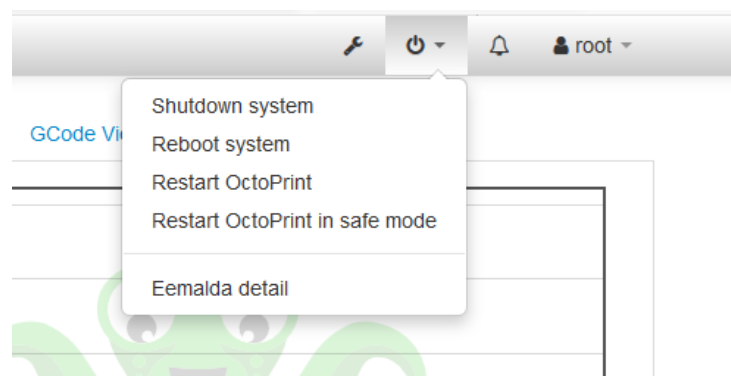
```
gpio -g write 18 0 # Väljundviik tehakse mitte aktiivseks
```

Seejärel salvestada sarnaselt eelmisele failile. Järgnevalt tuleb anda `remove.sh` failile käivitus õigused ja taaskäivitada OctoPrint minnes kirjutades käsureale:

```
pi@octopi:~ $ sudo chmod 755 remove.sh
```

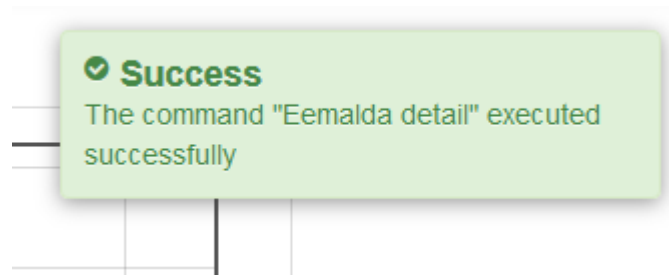
```
pi@octopi:~ $ sudo service octoprint restart
```

Minnes nüüd tagasi veebiliidesesse, on tekkinud süsteemi menüüsse uus valik kirjaga „Eemalda detail“ nagu joonisel 13.



Joonis 13. *Config.yaml* faili tehtud muudatused kajastuvad ka veebiliides.

Skripti lõppedes ilmub eduka käivitamise tulemusel roheline teadaanne nagu joonisel 14.

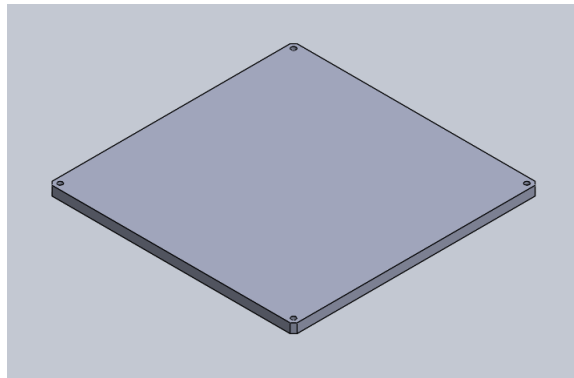


Joonis 14. Teade edukast skripti töö lõpetamisest.

Skripti edukal käivitamisel muutub *GPIO* 18 väljundpinge 3.3 voldile.

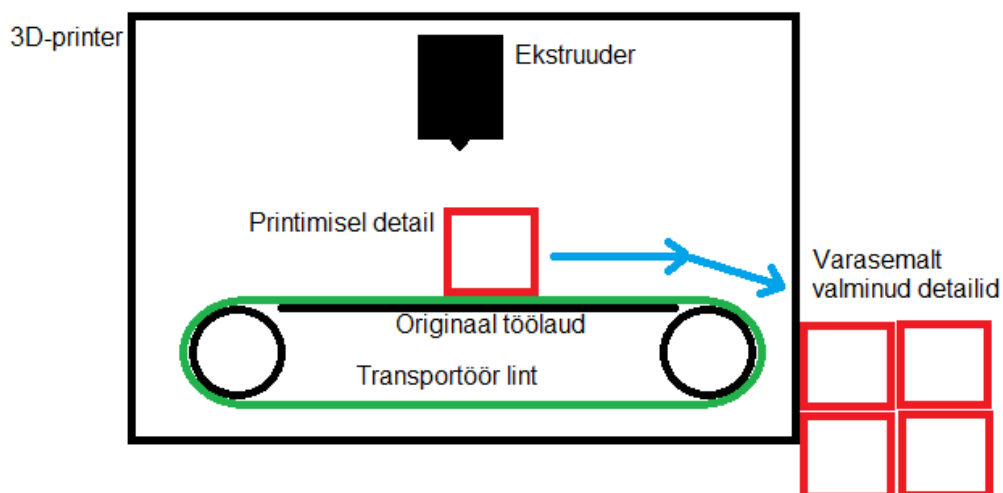
3.3 Töölaud

Töölauaks on 3D-printimisel tasapinnaline ala, millele prinditakse detaili. Valitud printeri töölaua mõõtmeteks on 210 x 210 mm. Joonisel 19 on näidatud printeri Bq Hephestos Prusa i3 originaal töölaud.



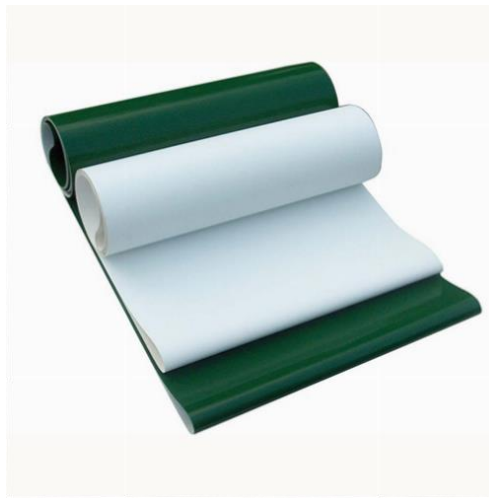
Joonis 15. Printeri originaal töölaud.

Joonisel 16 on kujutatud algset tootmismasina eskiisi. Tootmismasinad jagunevad tehnoloogilisteks-ja transpordimasinateks, millest andud eskiis kujutab konveierit ehk transpordimasinat. [23]



Joonis 16. Töölaua eskiis.

PVC konveierlindid on väga levinud kergemates tööstustes materjalide ja detailide transportimisel. Polüvinüülkloriid on heade mehaanilise omadusetega ja odav plast [22]. Antud transportöörlinte on võimalik vastavalt veetavale materjalile ja erinõuetele tellida erineva paksuse, kihtide arvu, pealispinna materjali ja teiste omaduste järgi. Autor sai päringu peale pakkumise transportöörlindile pikkusega 480 mm, laiusega 180 mm ja paksusega 2 mm hinnaga 35€ koos käibemaksuga. Joonisel 17 on näidatud *PU* ja *PVC* transportöörlindid.



Joonis 17. *PVC* transportöörlint (roheline) [13].

Polüvinüülkloriid lint kannatab temperatuuri kuni 150°C, kuid *FDM* printeri ekstruuderist väljub materjal temperatuuril 200-250°C, olenevalt prinditavast materjalist. Lindile kuumakindluse andmiseks tuleb katta lindi prinditav ala kuumaalustele mõeldud kapton teibiga. Kaptonist teip annab pinnale temperatuuri vastupidavuse kuni 250°C. Lisaks aitab teibiga katmine pikendada tööpinna eluiga, kuna kleebise vahetamine on oluliselt soodsam kui rikunud tööpinna enda.

Lahenduse väljatöötamisel tuli kõigepealt välja valida milliseid laagreid ja mootorit kasutada. Laagrite valimiseks tutvus autor SKF-i veebikataloogiga, kus seati tingimusteks sisemõõt 8 mm, maksimaalne välismõõt 30 mm ja laius 10 mm. Otsingu tulemusena jäi silma „608“ tüüpi laagrid, mille sisemõõt oli 8 mm, välismõõt 22 mm ja laius 7 mm nagu näidatud joonisel 18. Kuna projekteeritava lisaseadme veerelaagrid töötavad lühiajaliselt, madalatel pöörlemissagedustel ja koormustel, siis otsustati kasutada prototüübi valmistamiseks olemasolevaid 608zz *ABEC* 9 laagreid.



Joonis 18. ABEC standard laager [14] [15].

Seejärel tuli leida mootor, mis oleks võimeline PVC lintkonveierit käitama. Mootori valikuna oli autori seatud tingimusteks:

1. Sisendpinge: 12 või 220 volti;
2. Aeglane ülekanne;
3. Väikesed mõõtmed.

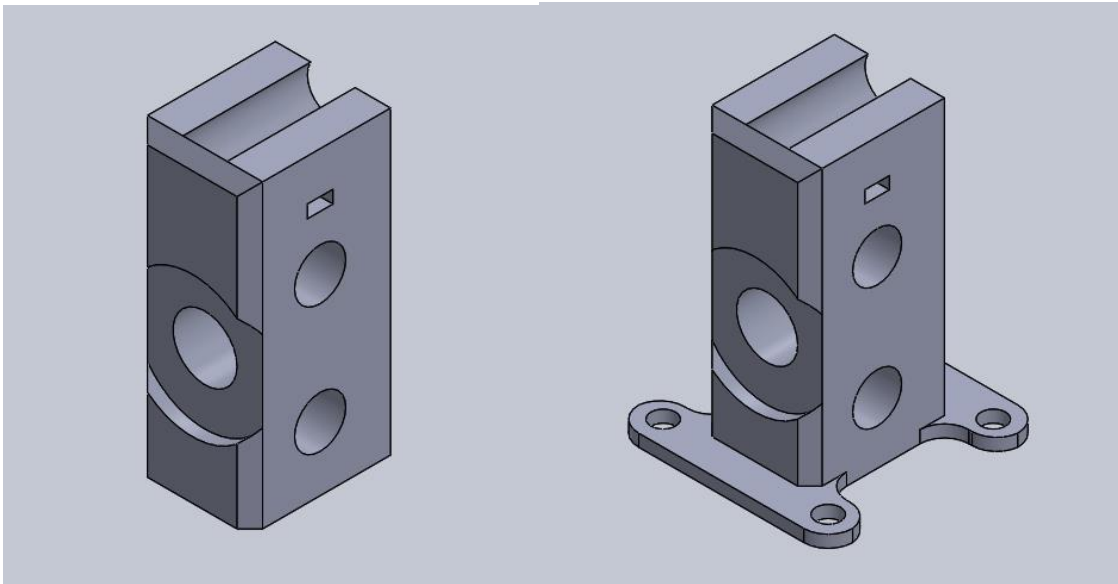
Autor leidis olemasolevatest mootoritest tundmatu tootja 12 V mootori, mis oli juba koos ülekandega mis on näha joonisel 19. Mootori parameetrite uurimisel selgus väljundvõlli pöörlemissagedus, milleks oli autorile sobiv 300 min^{-1} .



Joonis 19. Autori valitud mootor [16].

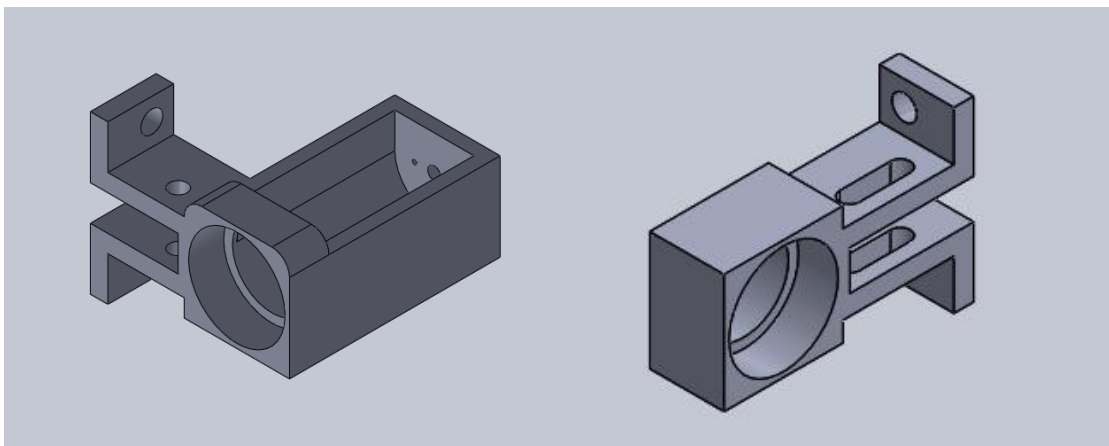
Transportöörlint on paigaldatud kahele rihmarullikule, mis on valmistatud M8 keermelatist ning mida käitab eespool toodud elektrimootor. Mootori väljundvõlli diameeter on 3 mm, seetõttu tuleb nende ühendamiseks muretseda seadekruvidega fiksaatorrõngas, mille saab internetikaubamajast soetada hinnaga 1.70€ [17].

Igasse alusplaadi nurka läheb üks kronstein. Kolm tükki neist on ühesugused ja neljas on mõeldud mootori kinnitamiseks. 3D-printimise käigus tekkivast vibratsioonist põhjustatud 3D-prinditava detaili kvaliteedi languse ja konveieri lülitamisel tekkivate jõudude tulemusel printeri nihkumise vältimiseks projekteeriti 3D-printeri originaal tugijalgade põhjal uued, aluspinna külge kinnitatavad tugijalad mis on võrduseks näha joonisel 20.



Joonis 20. Vasakul printeri originaal tugijalg, paremal kinnitusavadega tugijalg.

Joonisel 21 on väljatoodud projekteeritud nurga kronsteinid.



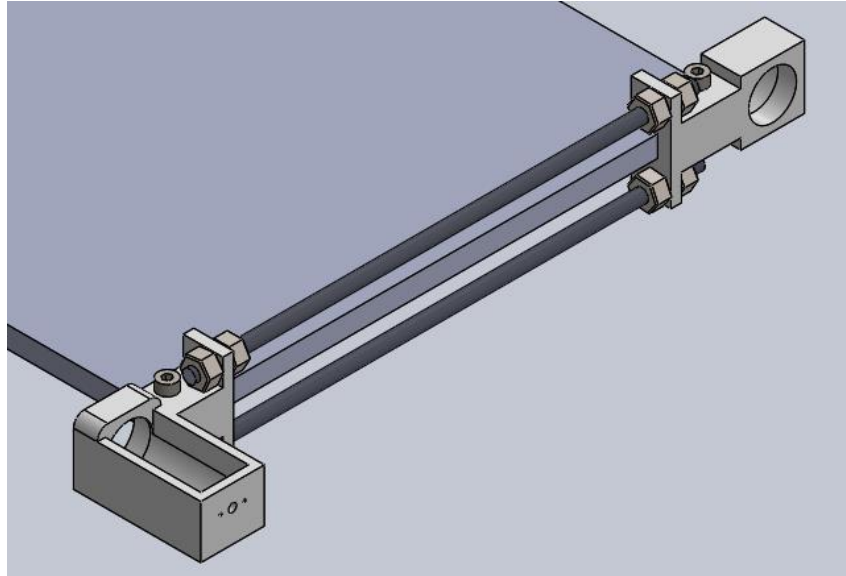
Joonis 21. Vasakul pool on mootori kinnitamiseks mõeldud kronstein, paremal rihmarulliku laagri kinnitamiseks mõeldud kronstein.

Joonisel 22 on näha 3D-prindituna esimene prototüüp mootori kronsteinist.

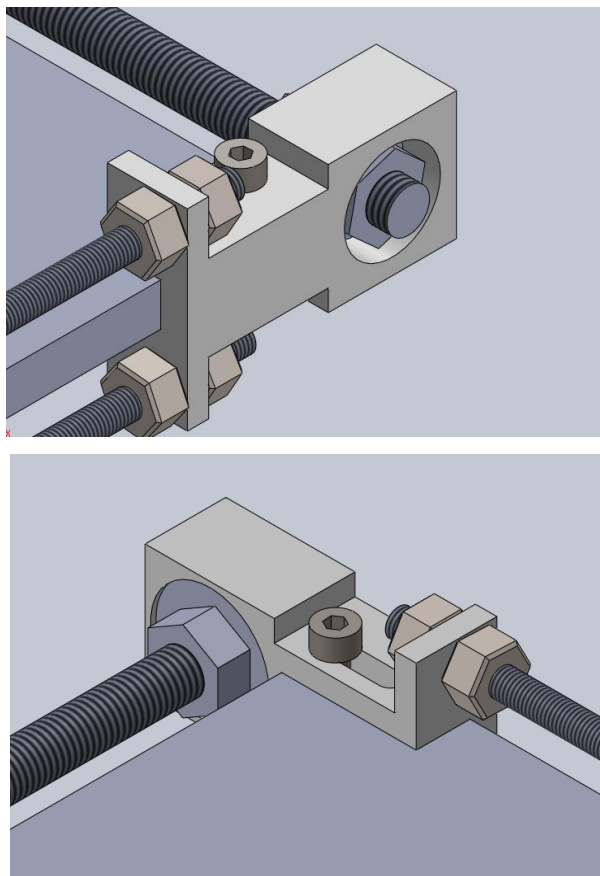


Joonis 22. 3D-prinditud esimene prototüüp kronstein.

Detailide disainil on silmas peetud, et neid oleks võimalikult lihtne printida. See tähendab, et printimisel tekiks võimalikult vähe eemaldamist vajavaid materjalijääke ja printimine oleks maksimaalselt kiire. Nurkadesse kinnituvad nad algupärastesse alusplaadi aukudesse M4 poltidega. Piki Y telge tuleb nurkade vahele ühendada ka neli M5 keermelatti nagu näidatud joonisel 23, mille eesmärgiks on transportörlindile pingsuse andmine. Risti Y telje liikumisega on nurkade vahel M8 keermelatist rihmarullikud, mis toetuvad nurga detailides olevatele laagritele, mis on näha ka joonisel 24. Üks neist rihmarullikutest veab linti ja teine on vabajooksu rihmarullik, mis toetab ja pingutab transportörlinti.

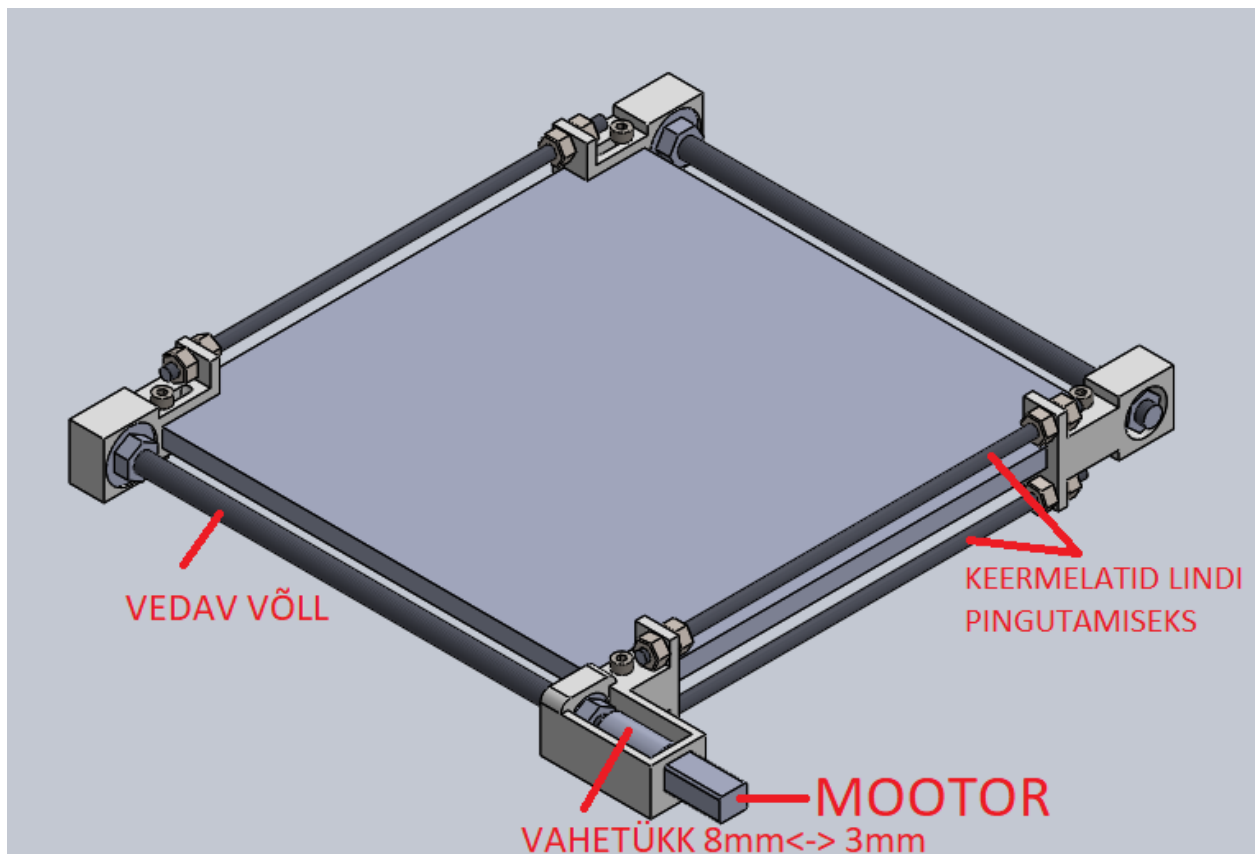


Joonis 23. Mootoripoolne kooste koos rihmapingutus keermelattidega.



Joonis 24. Nurga kronstein koos laagri ja võlliga.

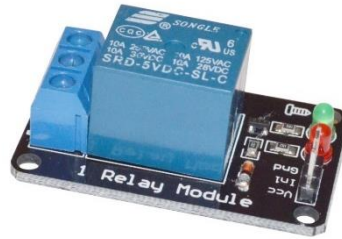
Joonisel 25 on näidatud projekteeritud lisaseadet kogu ulatuses.



Joonis 25. Projekteeritud lisaseade.

3.4 Elektroonika

Raspberry Pi *GPIO* väljundi maksimaalne voolutugevus on kuni 50mA. Seetõttu, et autor kasutas varasemalt soetatud mootorit, mille puhul ei suudetud tuvastada tootjat ja mudelit, tuleb arvestada suurema voolutugevusega, et kaitsta Raspberry Pi juhtarvutit ülekoormuse eest. Väliselt sarnased, kaubanduses müüdavad mootorid vajavad töötamiseks 90mA, käivitamisel võib tarbitav voolutugevus veelgi suurem olla. Seetõttu otsustati võtta mootori juhtimiseks kasutusele relee, mis on toodud joonisel 26.



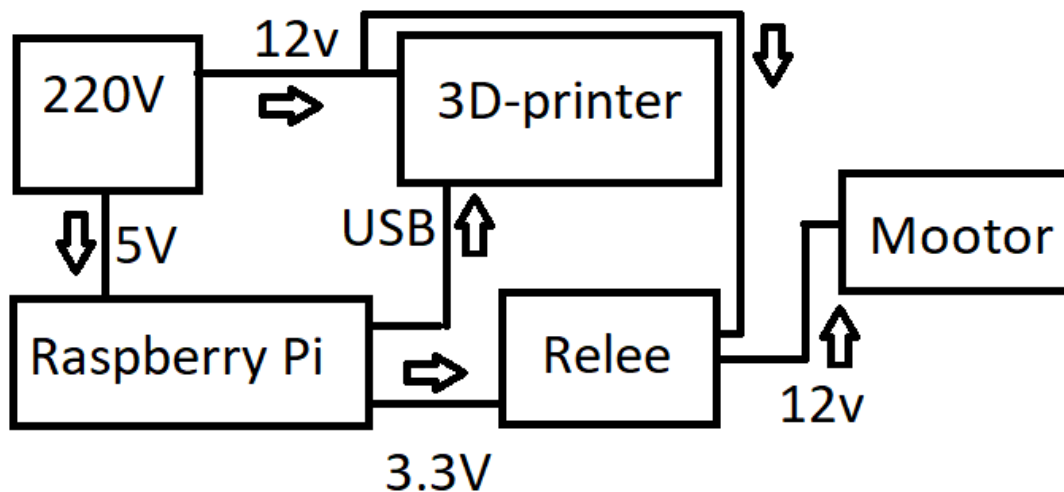
Joonis 26. Releemoodul Raspberry Pile [18].

Releemoodul vajab lülituseks 15-20 mA ning suudab lülitada 30 V alalisvoolu ja 250 V vahelduvvoolu tugevusega kuni 10 A [18]. Relee sisenditeks on *VCC*, *In1* ja *GND*. *VCC* tuleb ühendada Raspberry Pi *GPIO* viiguga 2, *GND* viiguga 6 ja *In1* sõltub eelnevalt koodis määratud väljundist, mis antud juhul on *GPIO* 18 ehk viik 12. Releemooduli ühendamine *GPIO* viikudega on toodud joonisel 27.



Joonis 27. Releemooduli ühendamine Raspberry Piga.

Joonisel 28 on toodud kogu ühenduskeem.



Joonis 28. Ühendusskeem

Antud skeem väljendab kasutatud 3D-printerit Bq Hephastos Prusa i3, mis kasutab toiteallikana arvuti toiteplokki ning on võimeline väljastama nii 12V printerile ja mootorile kui ka 5V Raspberry Pi tarbeks.

3.5 Maksumus

Antud lõputöö puhul oli eesmärk hoida kulusid võimalikult madalal. Tabelis 4 tuuakse välja soetatud komponentide nimekiri koos koguste ja hindadega.

Tabel 4. Kasutatud komponentide nimekiri

Komponent	Kogus	Hind 1tk	Hind kokku
Keermelatt M8	1 m	2 €	2 €
Keermelatt M5	1 m	1 €	1 €
Polt M4	4 tk	0,15 €	0,6 €
Mutter M5	16 tk	2,00 € / 50tk	0,64 €
Mutter M8	8 tk	2,60 € / 50 tk	0,84 €
Raspberry Pi	1 tk	41,90 €	41,90 €
Relee	1 tk	2,34 €	2,34 €
Mootor	1 tk	13 €	13 €
Laagrid	4 tk	2 €	8 €
Transportöör lint	1 tk	35 €	35 €
Mootori üleminek	1 tk	1,70 €	1,70 €
3D-prinditud detailid	50 g PLA	20 €/kg	1 €
		Kokku:	108,2 €

Projekti kogumaksumus õnnestus hoida suhteliselt madal tänu 3D-printimis tehnoloogiale ja paljudele komponentidele, mis olid ostetud üldehituspoest. Kindlasti oleks võimalik

kulusid veelgi vähendada kasutades Raspberry Pi asemel näiteks Orange Pi'd või mõnda muud miniarvutit.

KOKKUVÕTE

Antud töö eesmärgiks oli projekteerida kaughaldusega juhitud lisaseade 3D-prinditud detaili eemaldamiseks 3D-printeri töölaualt. Töökäigus uuriti kirjandust, viidi läbi turu-uuring, mille käigus tutvuti turul olevate toodetega ja valiti välja sobilik tehniline lahendus lisaseadme projekteerimiseks. Töö tarbeks valiti 3D-printer Bq Hephestos Prusa i3. Seejärel koostati nimekiri vajalikest komponentidest. Kõigepealt hangiti Raspberry Pi 3 Model B+ miniarvuti, mille eesmärgiks oli kontrollida 3D-printerit ja projekteeritud lisaseadet. Peale operatsioonisüsteemi paigaldamist asus autor tarkvara modifitseerima, mis oli vajalik lisaseadme kontrollimiseks. Lisaseadme projekteerimiseks mõõdeti üle 3D-printeri originaal detailid. Käesoleva töö uudsus seisneb selles, et projekteeritava lisaseadme töölaua materjalina kasutatakse polüvinüülkloriid transportöörlinti. Kirjanduse analüüsi käigus selgus, et sellist töölaua materjali pole 3D-printerite juures varem kasutatud, kuna selle materjali kuumustaluvus pole piisav. Käesolevas töös otsustati katta töölaud kapton teibiga, et saavutada vajalik kuumustaluvus.

Lõputöö käigus projekteeriti kaughaldusega juhitud lisaseade 3D-prinditud detaili eemaldamiseks 3D-printeri töölaualt. 3D-prinditud detailid valmisid realselt autori poolt ja kontrolliti nende sobivust 3D-printeriga Bq Hephestos Prusa i3. Töökäigus selgus, et juhtarvutit Raspberry Pi 3 Model b+ saaks vahetada ka soodsama Raspberry Pi Zero 1.3 vastu, kuna sellel on projekteeritud lisaseadme jaoks vastav funktsionaalsus olemas. Tulevikus on projekteeritud lisaseadmele võimalik lisaks kaughaldusele lisada automaatne detaili eemaldamise funktsioon printimise lõppedes. Lõputöö autoril on suur huvi antud lõputöö käigus projekteeritud seade valmis teha ja kasutusele võtta..

KIRJANDUSE LOETELU

1. Raspberry Pi 3 Model B+ - Raspberry Pi [veebileht]
<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/> (25.05.2018)
2. RaspberryPI models comparison | Comparison tables - SocialCompare [veebileht]
<http://socialcompare.com/en/comparison/raspberrypi-models-comparison>
(25.05.2018)
3. How Much Power Does Raspberry Pi 3B+ Use? Power Measurements; RasPi.TV [veebileht] <http://raspi.tv/2018/how-much-power-does-raspberry-pi-3b-use-power-measurements> (25.05.2018)
4. Hinnavaatlus - Raspberry Pi 3 Model B+ [veebileht]
<https://www.hinnavaatlus.ee/1149963/raspberry-pi-3-model-b/> (25.05.2018)
5. FDM 3D Pritning — Obsessively Geek [veebileht]
<http://www.og3dprinting.com/fdm/> (25.05.2018)
6. BlackBelt 3D Printer - BlackBelt 3D Printer [veebileht] <http://blackbelt-3d.com/#features> (25.05.2018)
7. Setup Infinite Z 3D Printer – Youtube [veebileht]
<https://www.youtube.com/watch?v=lvdv1Y1m8d8> (25.05.2018)
8. Make your own Tilted Conveyor belt 3D printer – Youtube [veebileht]
<https://www.youtube.com/watch?v=dSD9oUaNh5c> (25.05.2018)
9. Prusa i3 Hephestos - RepRap [veebileht] http://reprap.org/wiki/Prusa_i3_Hephestos
(25.05.2018)
10. BQ Hephestos 3D Printer | BQ [veebileht] <https://www.bq.com/en/hephestos-prusa>
(26.05.2018)
11. File:Eje Y-Paso 13 B.png - RepRap [veebileht] https://reprap.org/wiki/File:Eje_Y-Paso_13_B.png (26.05.2018)
12. 27 Best Prusa i3 Clone Alternatives vs Original Prusa i3 MK3 Kit | All3DP [veebileht] <https://all3dp.com/1/best-prusa-i3-kit-clone-mk2-reprap-3d-printer-kit/>
(26.05.2018)
13. PU ja PVC lindid Konveierilindid, PU ja PVC lindid | Tootmisdetail [veebileht]
<http://tootmisdetail.ee/product/pu-ja-pvc-lindid/> (26.05.2018)

14. Skateboard Bearings Buying Guide - Warehouse Skateboards [veebileht]
<https://www.warehouseskateboards.com/help/Skateboard-Bearings-Buying-Guide>
 (26.05.2018)
15. Evolve Speedballs | ABEC 9 Bearings - Evolve Skateboards Australia [veebileht]
<https://www.evolveskateboards.com.au/products/evolve-speedballs-abec-9-bearings>
 (26.05.2018)
16. Mootor 12V 300RPM - Oomipood [veebileht]
https://www.oomipood.ee/product/ga12_n20_12v300rpm_mootor_12v_300rpm
 (26.05.2018)
17. 5sets OD14L25 3x8mm Aluminium Alloy Coupling 3mm to 8mm Shaft Couplings with Hex Wrench+Screws Motor Coupler Connector [veebileht]
<https://goo.gl/VfRRwj> (26.05.2018)
18. Releemoodul 1 kanaliga - IseTegija.ee [veebileht]
<http://isetegija.ee/toode/releemoodul-1-kanaliga/> (26.05.2018)
19. Orange Pi PC Plus Support Lubuntu linux and android mini PC Beyond Raspberry Pi 2 [veebileht] <https://goo.gl/xDj62L> (26.05.2018)
20. What is 3D printing? How does a 3D printer work? Learn 3D printing [veebileht]
<https://3dprinting.com/what-is-3d-printing/> (26.05.2018)
21. 3D printimine – ajalugu [veebileht] <https://www.metshein.com/unit/3d-printimine-ajalugu/> (26.05.2018)
22. **Kulu, P., Kübarsepp, J., Laansoo, A., Veinthal, R.,**(2015)–Materjalitehnika I, Tehnomaterjalid. Tallinn: TTÜ KIRJASTUS. 244 lk.
23. **Olt, J., Nikolajev, M.,**(2015)–Tootearendus. Tartu: LA PUB OÜ. 6 lk.

LISAD

LISA A

LIHTLITSENTS

Mina, _____,
(*autori nimi*)

sünniaeg _____,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö

_____,
(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja(d) on _____,
(*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

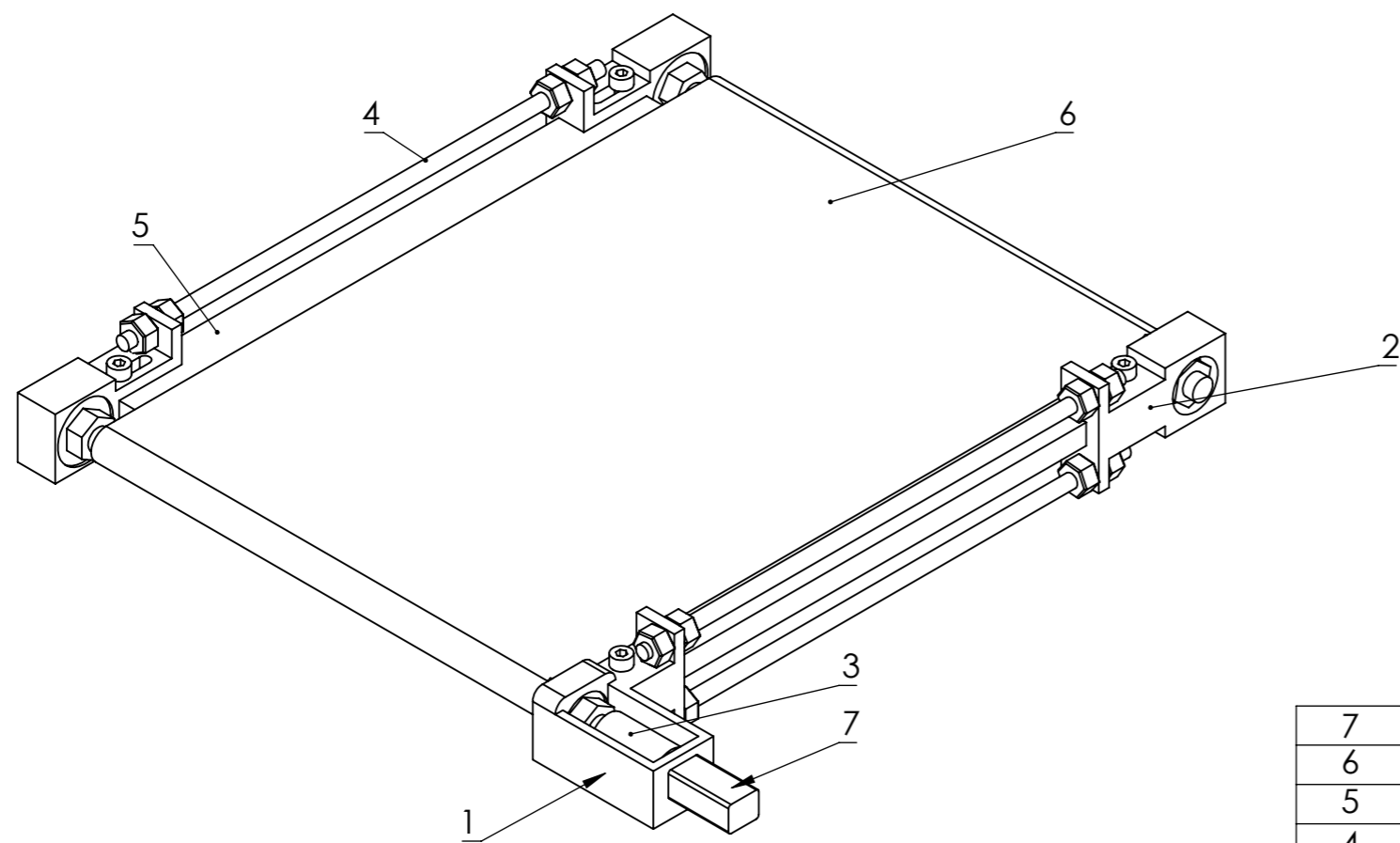
Luban lõputöö kaitsmisele.

(*juhendaja nimi ja allkiri*)

(*kuupäev*)

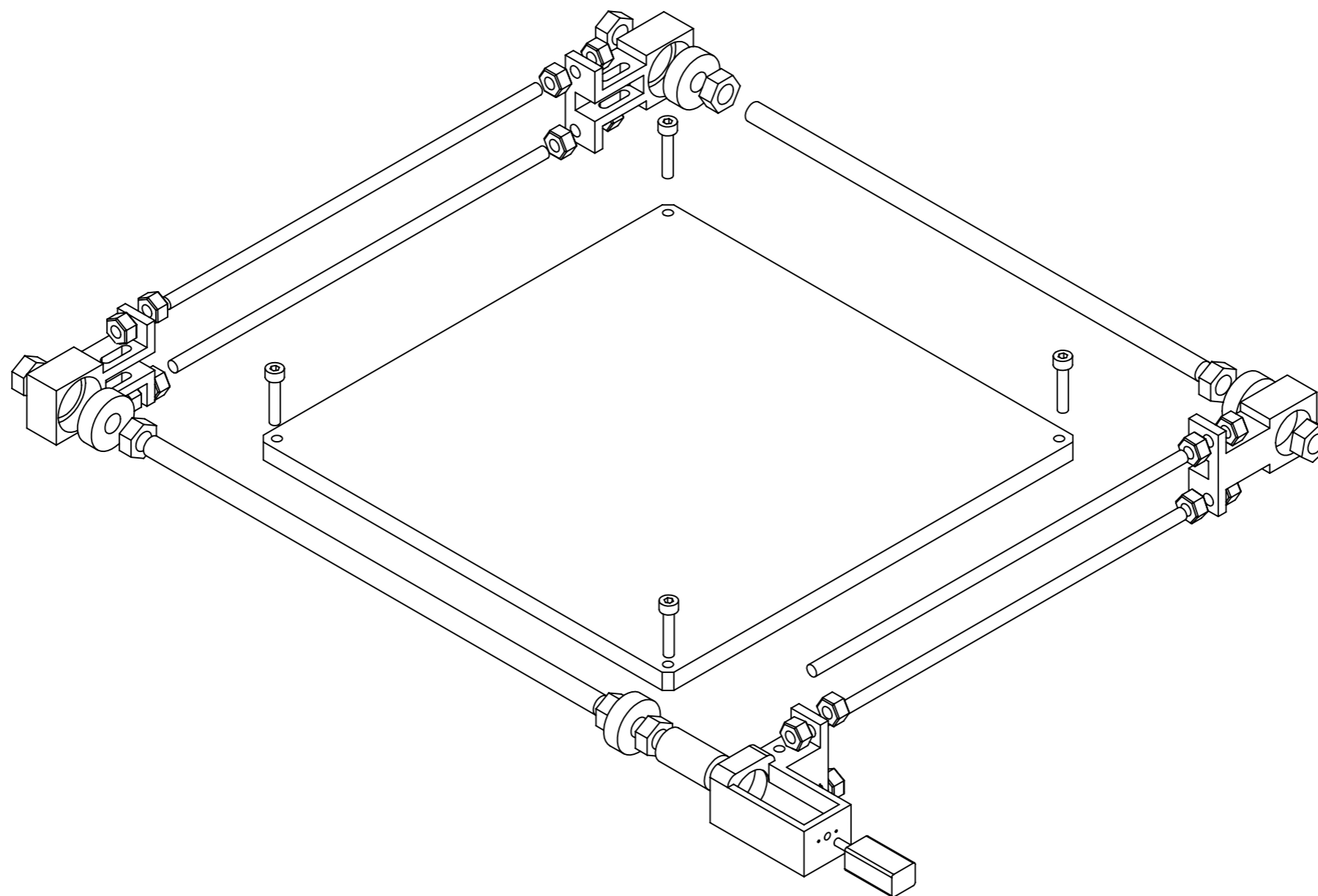
(*juhendaja nimi ja allkiri*)

(*kuupäev*)

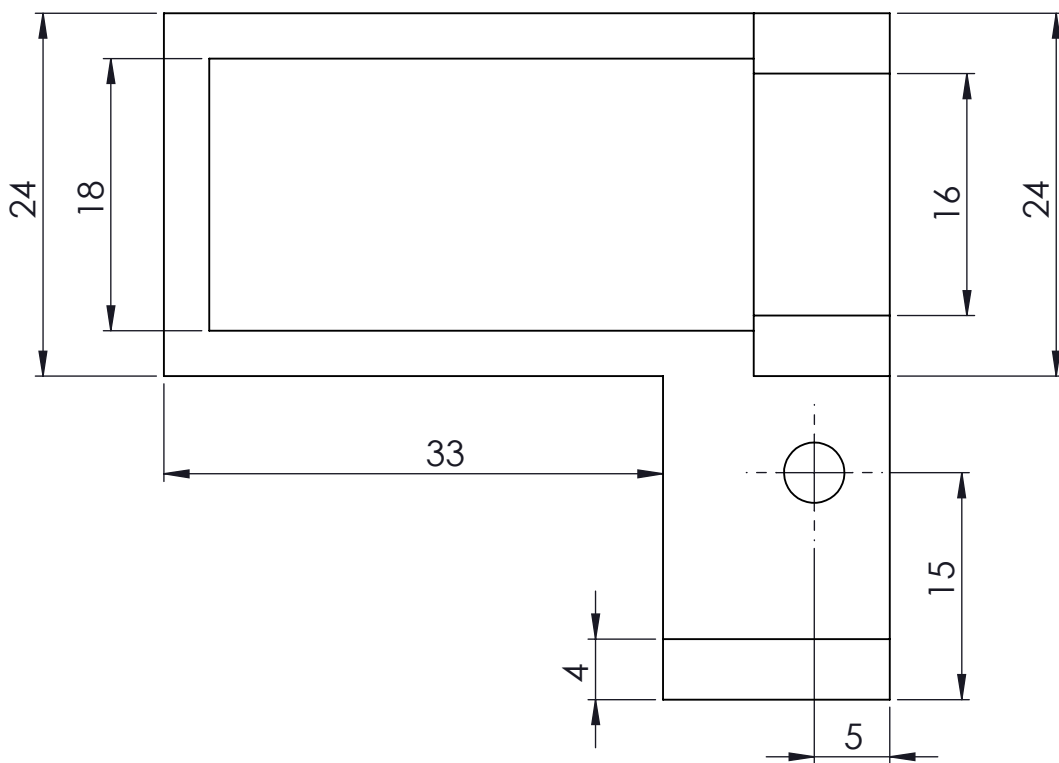
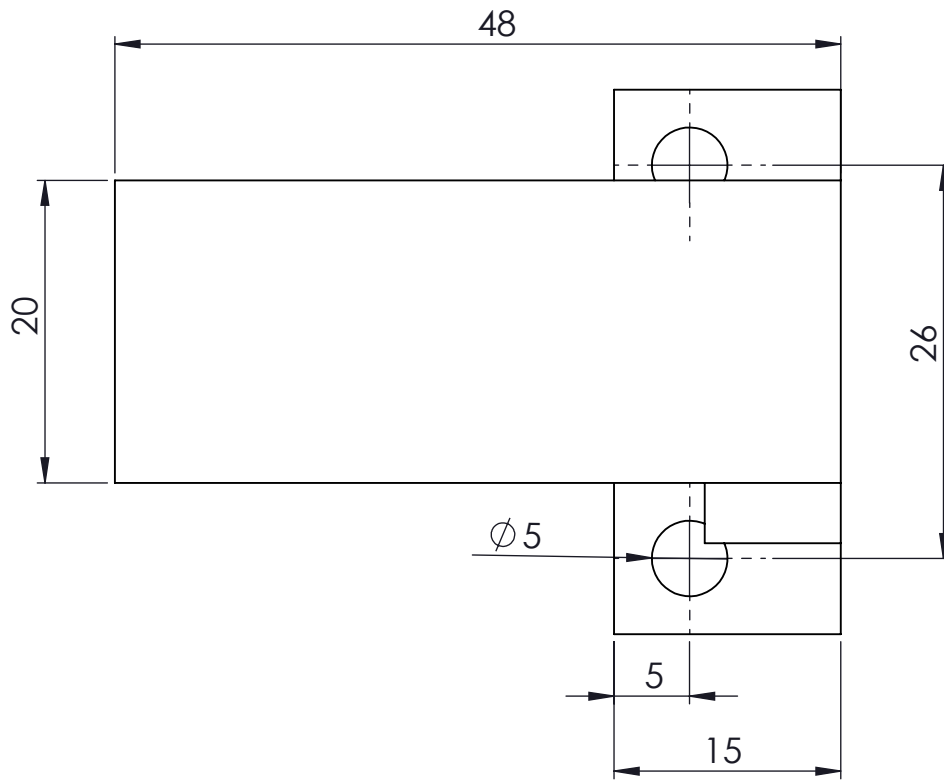


7	Mootor	TN 18/130276 A 01 07 D	1	
6	Transportöörlint	TN 18/130276 A 01 06 D	1	
5	Originaal tööpind	TN 18/130276 A 01 05 D	1	
4	Keermelatid	TN 18/130276 A 01 04 D	4	
3	Seadekruidega fiksaatorrõngas	TN 18/130276 A 01 03 D	1	
2	Kronstein	TN 18/130276 A 01 02 D	3	
1	Mootori kronstein	TN 18/130276 A 01 01 D	1	
Osa	Nimetus	Tähis	Hulk	Märkus

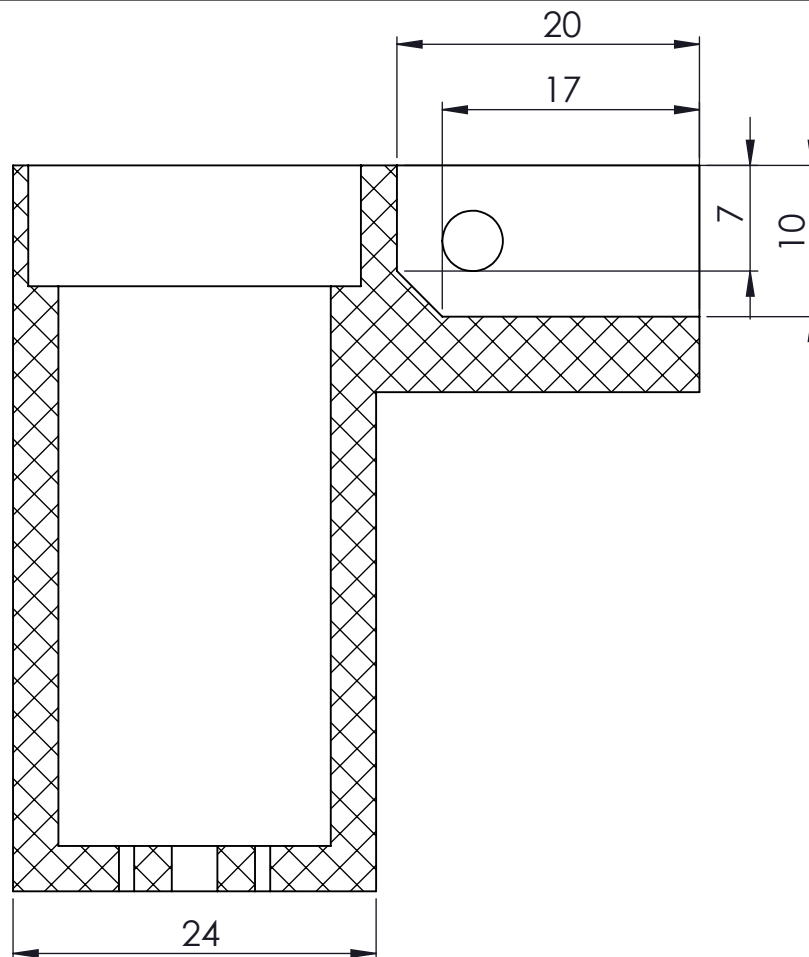
		Materjal:	Näitamata piirhälbed:		Mass:	Mööd:
			ISO-2768-m			1:2
Teostas	Sander Kütt		Nimetus:			
Kontrollis	Kaarel Soots		Lisaseadme kooste			
Kinnitas	Kaarel Soots					
EMÜ TS-TN			Leht:	Tähis:		
			1/1	TN 18/130276 A 00 00 K		



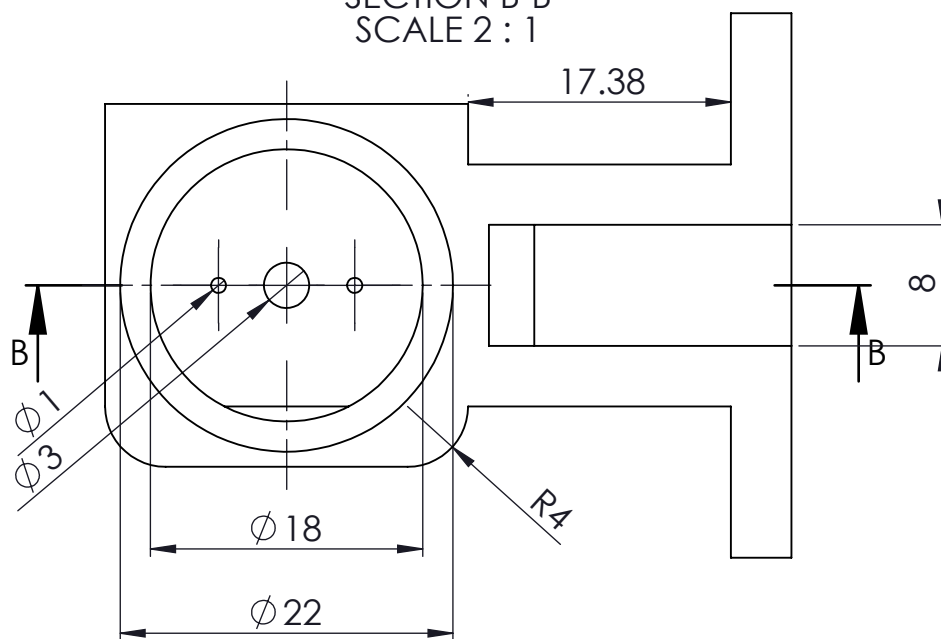
	Materjal:	Näitamata piirhälbed:	Mass:	Mõõt:
		ISO-2768-m		1:2
Teostas	Sander Kütt	Nimetus: Lisaseadme kooste		
Kontrollis	Kaarel Soots			
Kinnitas	Kaarel Soots			
EMÜ TS-TN		Leht:	Tähis:	
		1/1	TN 18/130276 A 01 00 K	



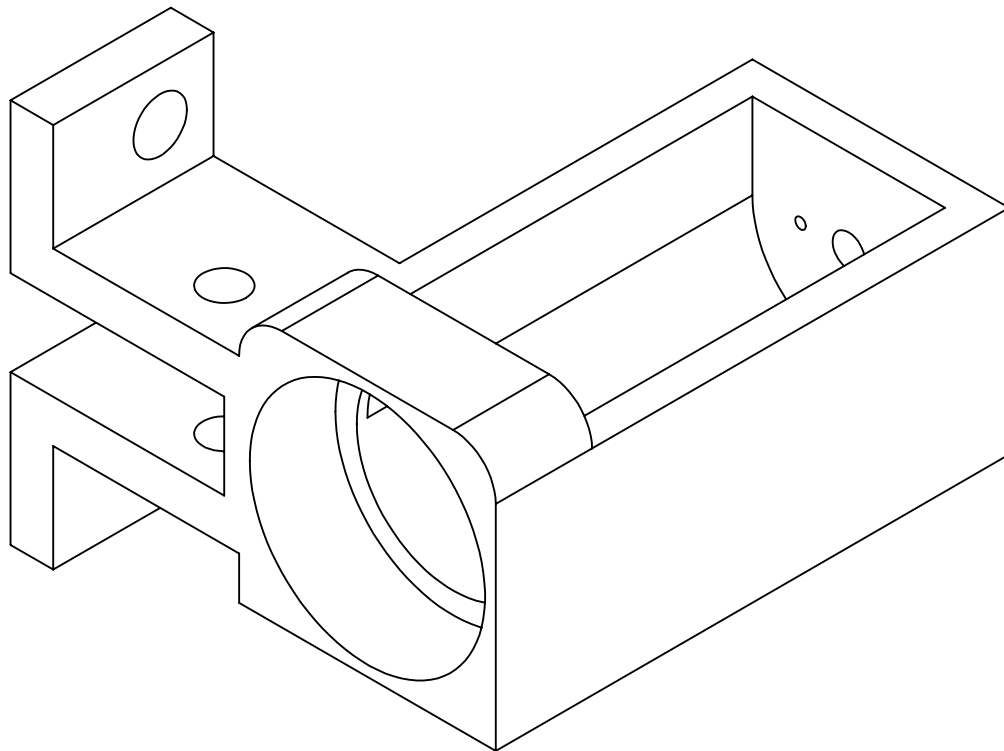
	Materjal:	Näitamata piirhälbed: ISO-2768-m	Mass:	Mõõt: 2:1
Teostas	Sander Kütt	Nimetus: Mootori kronstein		
Kontrollis	Kaarel Soots			
Kinnitas	Kaarel Soots			
EMÜ TS-TN		Leht: 1	Tähis: TN 18/130276 A 00 01 K	



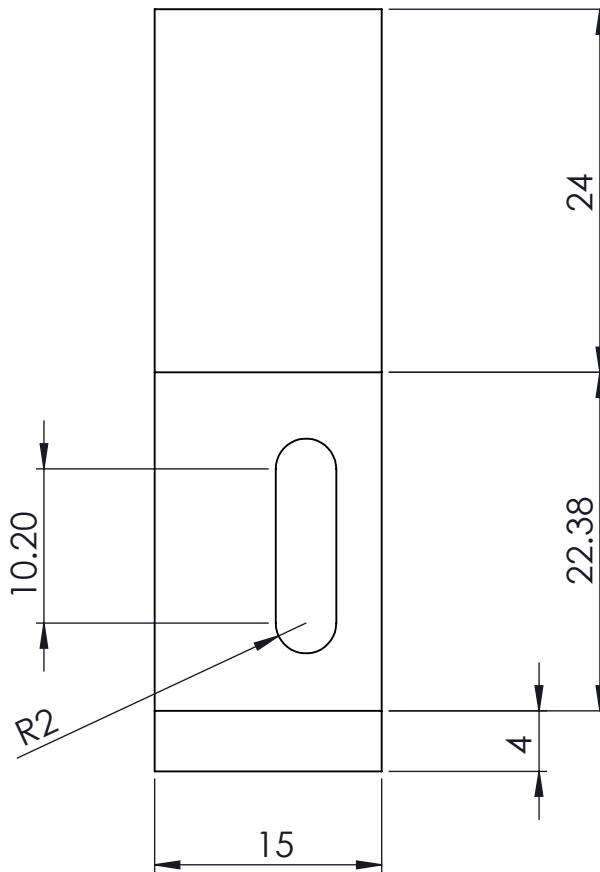
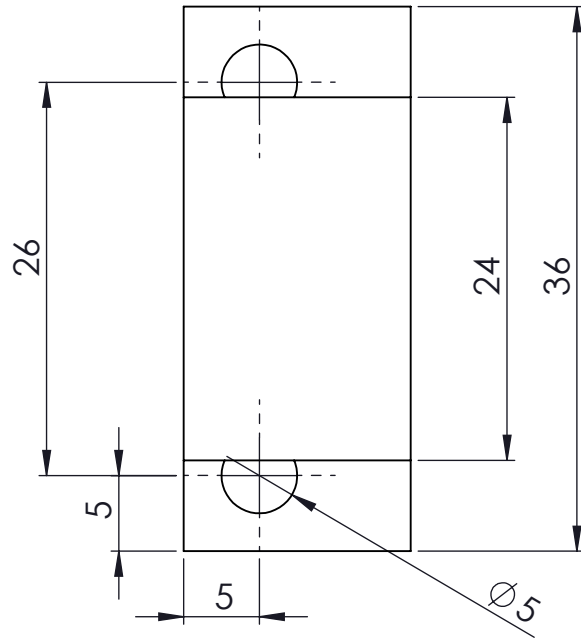
SECTION B-B
SCALE 2 : 1



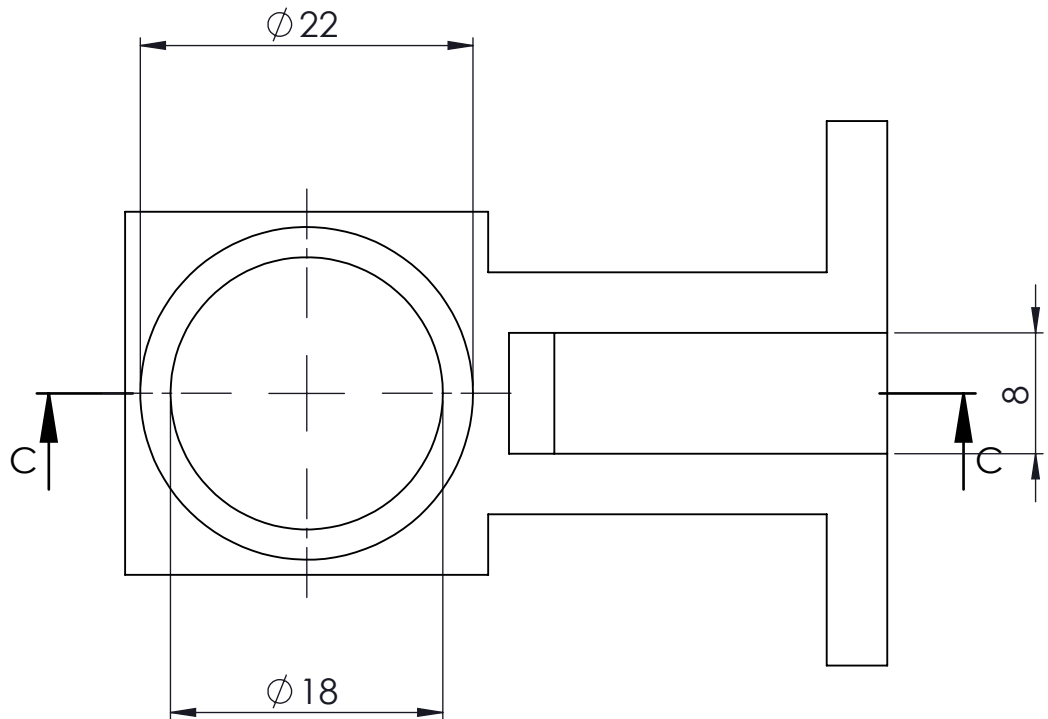
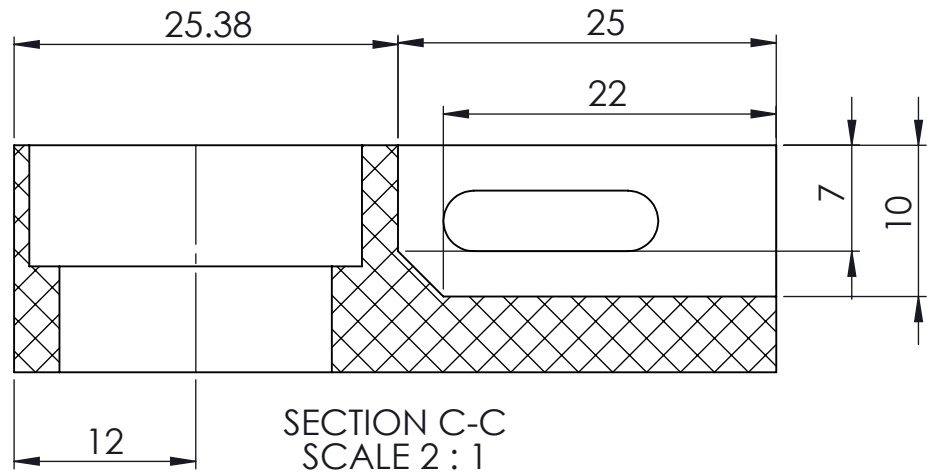
	Materjal:	Näitamata piirhälbed: ISO-2768-m	Mass:	Mõõt: 2:1
Teostas	Sander Kütt	Nimetus: Mootori kronstein		
Kontrollis	Kaarel Soots			
Kinnitas	Kaarel Soots			
EMÜ TS-TN		Leht: 1	Tähis: TN 18/130276 A 00 02 D	



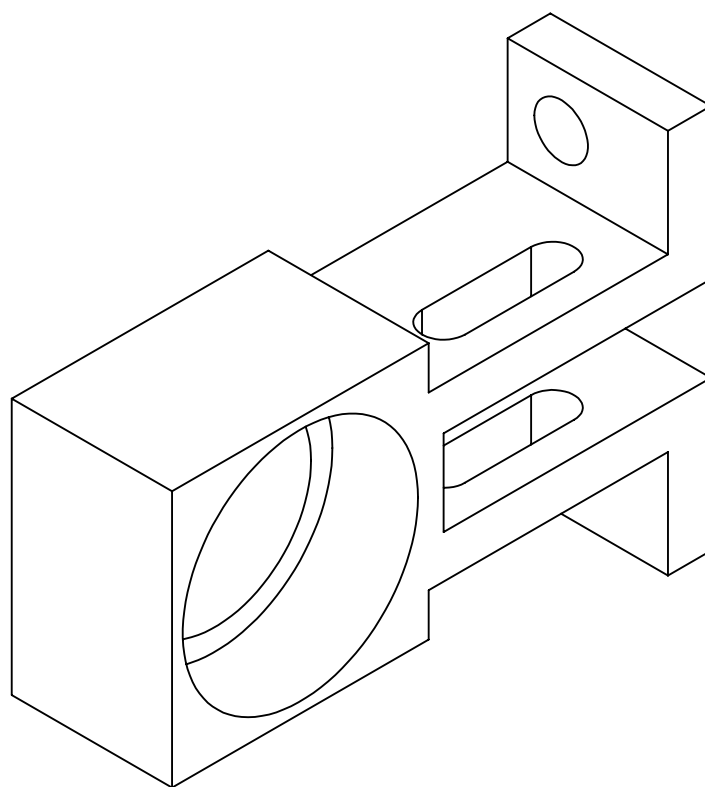
	Materjal: 	Näitamata piirhälbed: ISO-2768-m	Mass:	Mõõt: 1:1
Teostas	Sander Kütt	Nimetus: Mootori kronstein		
Kontrollis	Kaarel Soots			
Kinnitas	Kaarel Soots			
EMU TS-TN		Leht: 1	Tähis: TN 18/130276 A 01 01 D	



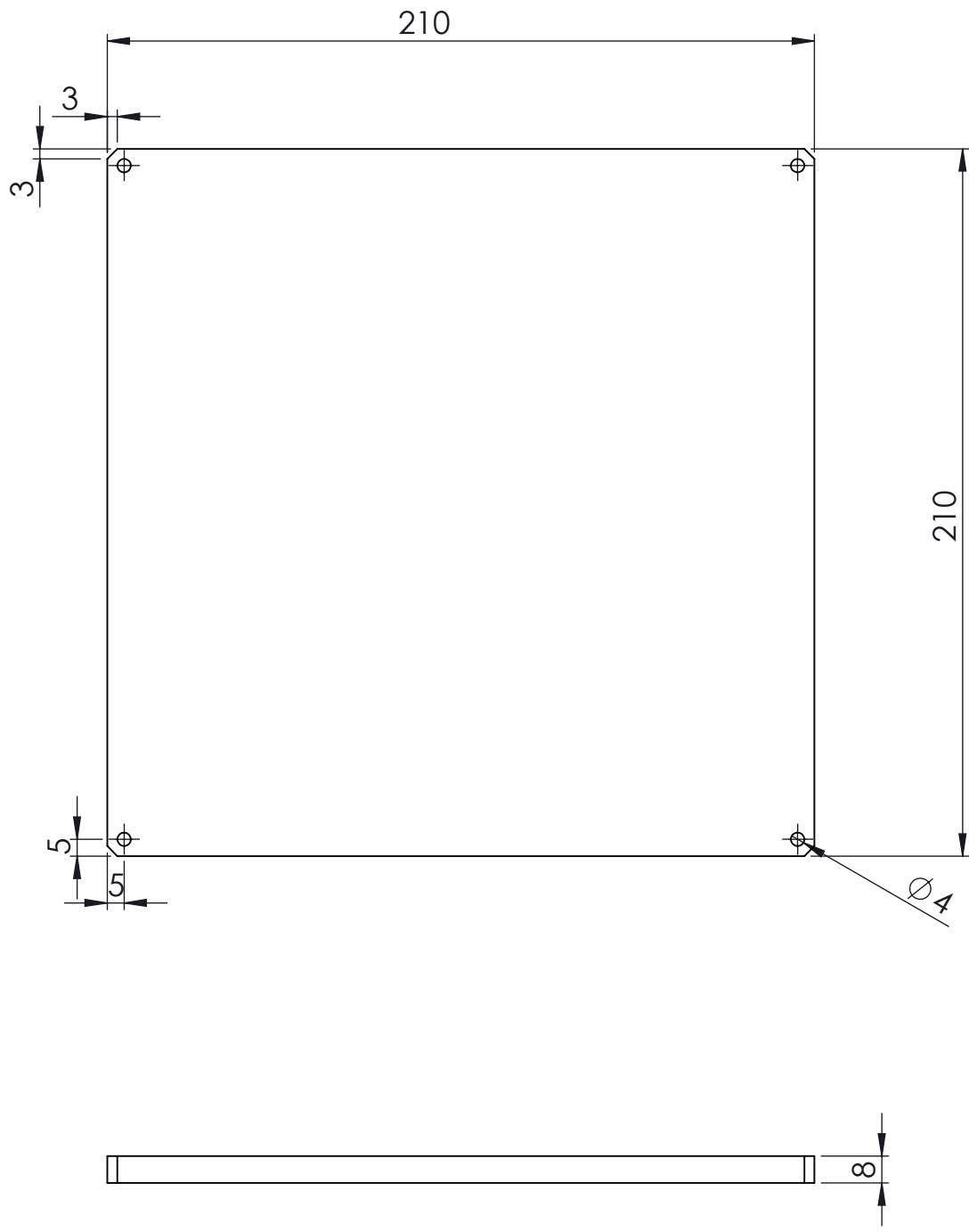
	Materjal:	Näitamata piirhálbed: ISO-2768-m	Mass:	Mõõt: 1:1
Teostas	Sander Kütt	Nimetus: Kronstein		
Kontrollis	Kaarel Soots			
Kinnitas	Kaarel Soots			
		Leht: 1	Tähis: TN 18/130276 A 01 02 D	



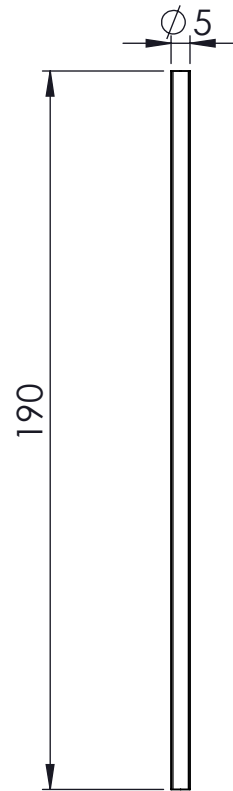
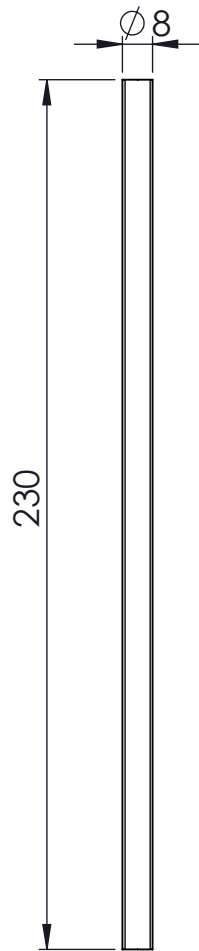
	Materjal:	Näitamata piirhälbed: ISO-2768-m	Mass:	Mõõt: 1:1
Teostas	Sander Kütt	Nimetus: Kronstein		
Kontrollis	Kaarel Soots			
Kinnitas	Kaarel Soots			
EMÜ TS-TN		Leht: 1	Tähis: TN 18/130276 A 01 02 D	



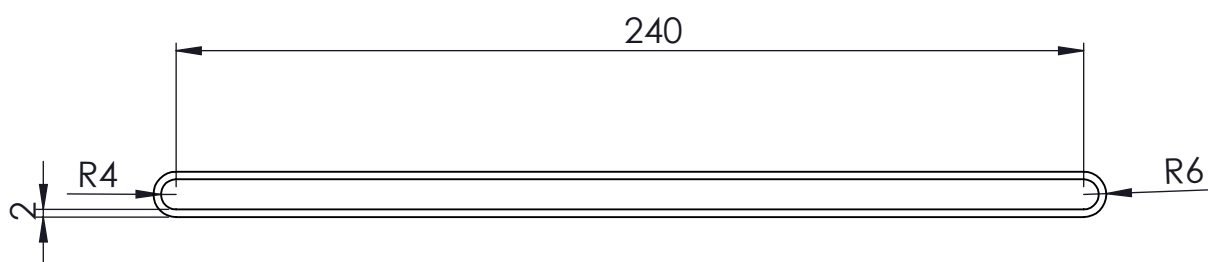
	Materjal:	Näitamata piirhälbed: ISO-2768-m	Mass:	Mõõt: 1:1
Teostas	Sander Kütt	Nimetus: Kronstein		
Kontrollis	Kaarel Soots			
Kinnitas	Kaarel Soots			
EMÜ TS-TN		Leht: 1	Tähis: TN 18/130276 A 01 02 D	



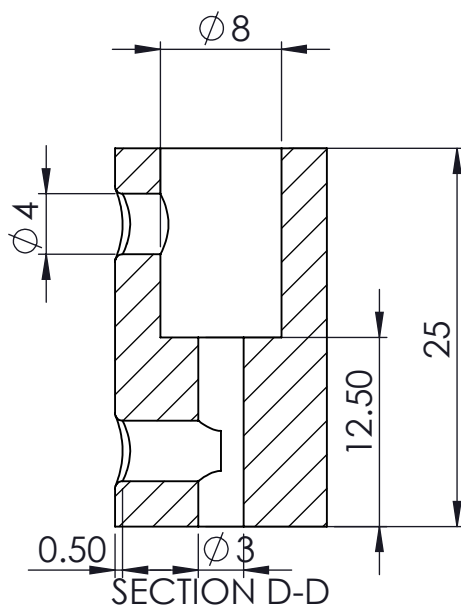
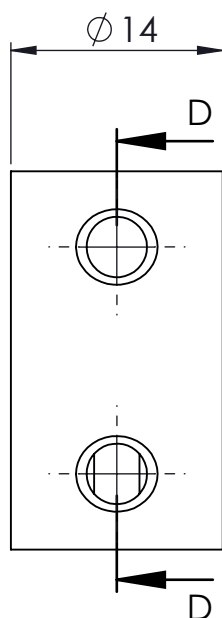
	Materjal: 	Näitamata piirhälbed: ISO-2768-m	Mass:	Mõõt: 1:2
Teostas	Sander Kütt	Nimetus: Originaal tööpind		
Kontrollis	Kaarel Soots			
Kinnitas	Kaarel Soots			
EMÜ TS-TN		Leht: 1	Tähis: TN 18/130276 A 00 06 D	



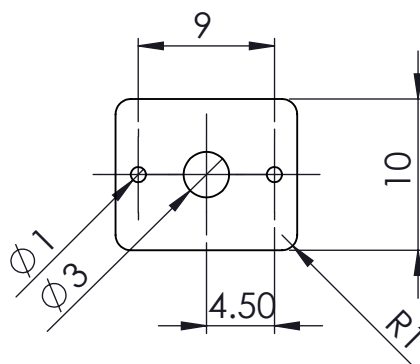
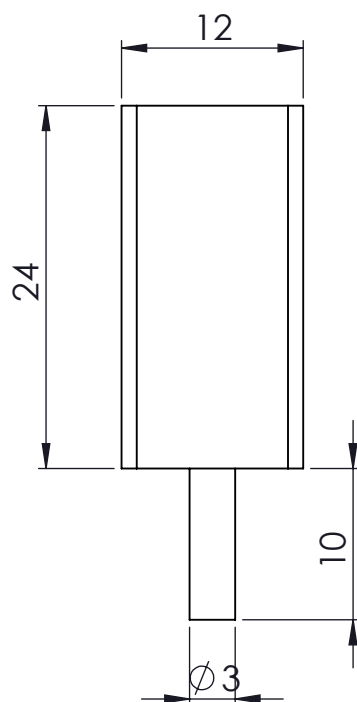
	Materjal:	Näitamata piirhälbed: ISO-2768-m	Mass:	Mõõt: 1:2
Teostas	Sander Kütt	Nimetus: Võllid		
Kontrollis	Kaarel Soots			
Kinnitas	Kaarel Soots			
EMÜ TS-TN		Leht: 1	Tähis: TN 18/130276 A 01 04 D	

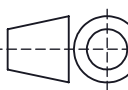


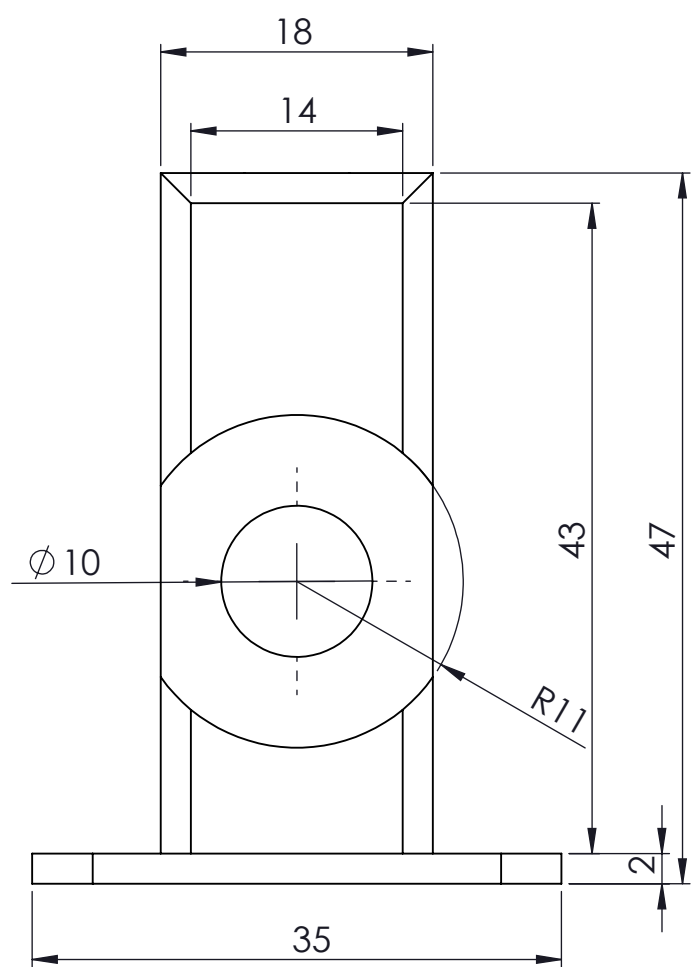
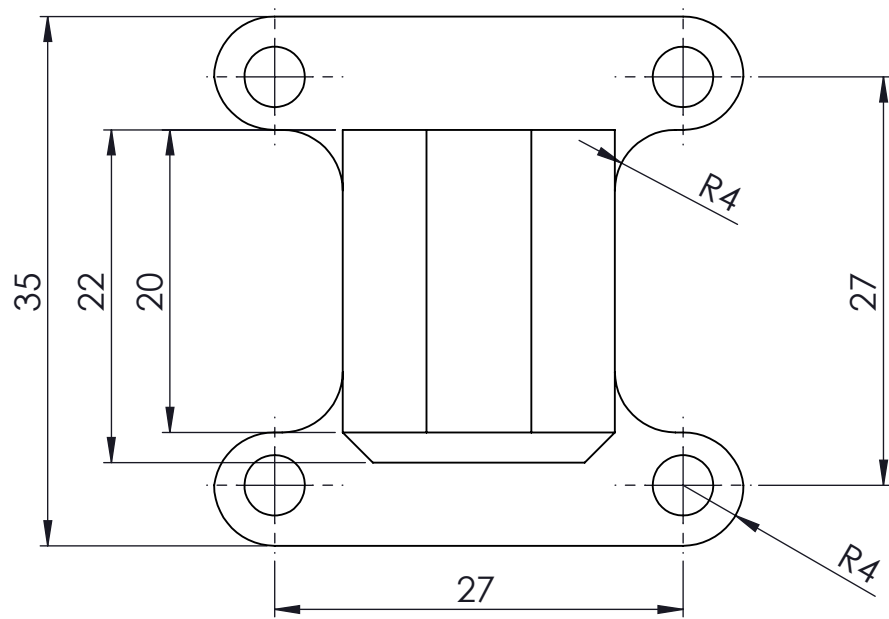
	Materjal:	Näitamata piirhälbed: ISO-2768-m	Mass:	Mõõt: 1:2
Teostas	Sander Kütt	Nimetus: Transportöörlint		
Kontrollis	Kaarel Soots			
Kinnitas	Kaarel Soots			
EMÜ TS-TN		Leht: 1	Tähis: TN 18/130276 A 00 06 D	



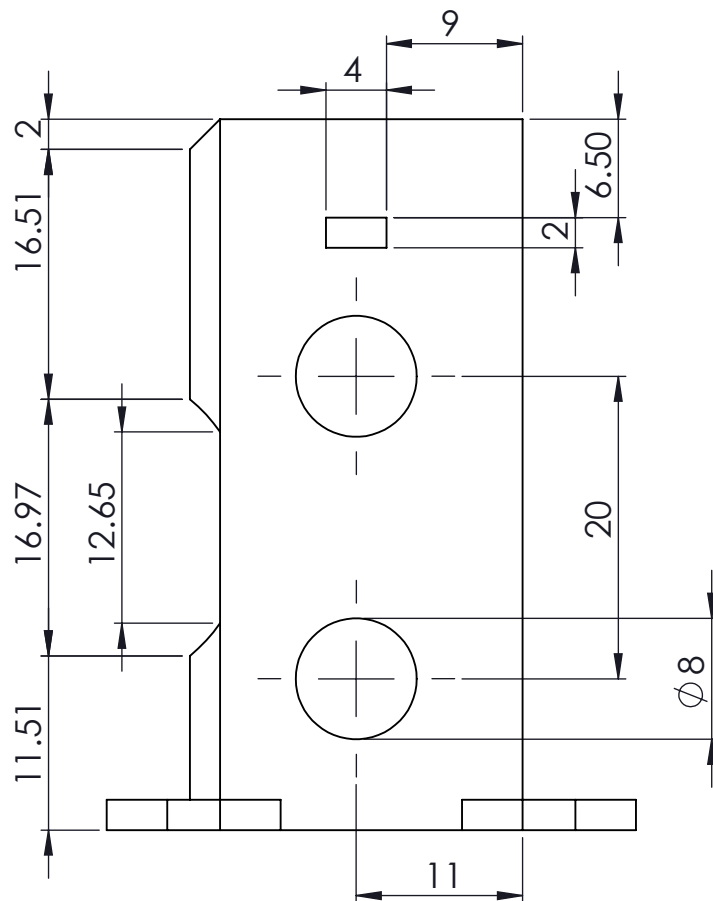
	Materjal: Alumiinium	Näitamata piirhälbed: ISO-2768-m	Mass:	Mõõt: 2:1
Teostas	Sander Kütt	Nimetus: Seadekruvidega fiksaatorrõngas		
Kontrollis	Kaarel Soots			
Kinnitas	Kaarel Soots			
		Leht: 1	Tähis: TN 18/130276 A 00 03 D	



	Materjal:	Näitamata piirhälbed: ISO-2768-m	Mass:	Mõõt: 2:1
Teostas	Sander Kütt	Nimetus: Mootori välismõõtmed		
Kontrollis	Kaarel Soots			
Kinnitas	Kaarel Soots			
EMÜ TS-TN		Leht: 1	Tähis: TN 18/130276 A 01 07 D	



	Materjal: 	Näitamata piirhälbed: ISO-2768-m	Mass:	Mõõt: 1:1
Teostas	Sander Kütt	Nimetus: Printeri jalg		
Kontrollis	Kaarel Soots			
Kinnitas	Kaarel Soots			
EMÜ TS-TN		Leht: 1	Tähis: TN 18/130276 A 01 01 D	



	Materjal:	Näitamata piirhälbed: ISO-2768-m	Mass:	Mõõt: 1:1
Teostas	Sander Kütt	Nimetus: Printeri jalg		
Kontrollis	Kaarel Soots			
Kinnitas	Kaarel Soots			
EMÜ TS-TN		Leht: 1	Tähis: TN 18/130276 A 01 01 D	