EESTI MAAÜLIKOOL
Metsanduse ja inseneeria instituut

Kevin Maasing

3D PRINTERI CREALITY CR-10 5S PRINTIMISKVALITEEDI PARENDAMINE

IMPROVING THE PRINT QUALITY OF THE 3D PRINTER CREALITY CR-10 5S

Rakenduskõrgharidusõppe lõputöö
Tehnotroonika õppekava

Juhendaja: vanemlektor Kaarel Soots, *PhD*

Tartu 2022

www.emu.ee

Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51006		Rakenduskõrgharidusõppe lõputöö Lühikokkuvõte	
Autor: Kevin Maasing		Õppekava: Tehnotroonika	
Pealkiri: 3D printeri Creality CR-10 5s printimiskvaliteedi parendamine			
Lehekülgi: 69	Jooniseid: 21	Tabeleid: 5	Lisasid: 24
Õppetool: Biomajandustehnoloogiate õppetool ETIS teadusvaldkond: 4. Loodusteadused ja tehnika 4.13. Mehhanotehnika, automaatika, tööstustehnoloogia CERCS teaduseriala: T130 Tootmistehnoloogia Juhendaja(d): Kaarel Soots, PhD Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2022			

Nüüdisajal on populaarsust kogunud 3D printimine, sest on andnud kodukasutajatele võimaluse toota odavalt väiksemaid detaile. Antud tehnoloogia on võetud ka tööstuslikku kasutusse, kus rakendatakse suuremaid 3D printereid. Suuremate printeritega esinevad teatud väljakutsed, mis langetavad printimiskvaliteeti. Lõputöö eesmärgiks 3D printeri Creality CR-10 5s printimiskvaliteedi parendamine. Selleks tehakse selgeks 3D printimise tehnoloogia ja põhimõtteid. Käesolevas töös tuuakse esile printimise probleeme ja võimalike lahendusi. Konstrueeritakse lisa etteandemehhanism olemasoleva 3D printer kere seina külge. Etteandemehhanismi modelleerimiseks kasutatakse tarkvara Solidworks (2019) ning printimiseks kasutatakse viilutamistarkvara Simplify3D. Enamus detailid on modelleeritud selliselt, mis võimaldaks neid 3D printida. 3D prinditud detaile on võimalik lihtsalt ning kiiresti toota ning teeb prototüüpimise mugavamaks. Konstruktsiooni jaoks on lisatud juurde alalisvoolumootor, mis aitab kaasa filamendi edasi andmisele ning 3D printeri filamendi etteandmismootor ei pea iseseisvalt filamenti tõmbama. Lisaks koostati valmis etteandemehhanismi elektriskeem, see koosneb kahest releest, kahest lõpplülitist, pingemuundurist ja mootorist. Vajutades ühe lüliti hooba hakkab mootori võll pöörlema senikaua kuni vajutatakse teist lülitit. Valmistatud etteandemehhanismi printimise kvaliteedi efektiivsuse analüüsimiseks prinditi Creality CR-10 5s 3D printeriga katsekehi.

kvaliteedi efektiivsuse analüüsimiseks prinditi Creality CR-10 5s 3D printeriga katsekehi. Ilma lisaseadet kasutamata võrreldakse prinditud katsekehade kvaliteeti lisa etteandemehhanismiga printimisel. Katsekehade analüüsimise käigus selgus, et lisa etteandemehhanism on parendanud printimiskvaliteeti, kuid ei ole teinud seda iga printimise korral. Konstruktsiooni ehitamise käigus tuli välja, et osad mõõdud sai valesti pandud, mistõttu mudelid modelleeriti ümber ning prinditi uued detailid, mis oleksid vastupidavamad pingetele. Antud etteandemehhanism ei ole valmis toode, vaid prototüüp, selle toote arendust kui ka väljatöötamist on võimalik edasi arendada. Tehes rohkem katseid on võimalik uurida etteandemehhanismi probleemseid kohti ning neid parendada.

Märksõnad: 3D-printimine, ekstruuder, termoplast, filament, etteandemehhanism

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51006		Abstract of Applied higher education´s thesis	
Author: Kevin Maasing		Curriculum: Technotronics	
Title: Improving the print quality of the 3D printer Creality CR-10 5s			
Pages: 69	Figures: 21	Tables: 5	Appendixes: 24

Chair: Chair of Biosystems Engineering

Field of research and (CERC S) code:

ETIS research field: 4. Natural Sciences and Engineering

ETIS research speciality: 4.13. Mechanical Engineering, Automation Technology and Manufacturing Technology

CERCS research speciality: T130 Production technology

Supervisors: Kaarel Soots, PhD

Place and date: Tartu 2022

3D printing has become more popular due to entry-level users having the opportunity to produce smaller details cheaply. Moreover 3D printing technology has also been introduced for industrial use, using larger 3D printers. Bigger printers have certain challenges that may lower print quality. The aim of the dissertation is to improve the print quality of the Creality CR-10 5s 3D printer that has a larger work area. For that purpose technology and principles of 3D printing are clarified. The author highlights printing problems and their possible solutions. An additional feed mechanism is constructed to the wall of the existing 3D printer body. Modeling software Solidworks (2019) is used to create the model of the feed mechanism and Simplify3D slicing software is used for 3D printing. Most parts in the feed mechanism are modelled so to allow them to be 3D printed. 3D printed parts can be produced easily and quickly, making prototyping more convenient. DC motor is added to the design to assist in passing the filament so the filament feed stepper motor of the 3D printer does not have to pull the filament independently. In addition, an electrical wiring diagram of the filament feed mechanism was prepared, consisting of two relays, two limit switches, a voltage converter and a motor. When one lever is pressed, the motor shaft begins to rotate until the other switch is pressed. To analyze the print quality of the new feed mechanism test pieces were printed

pressed. To analyze the print quality of the new feed mechanism test pieces were printed using the Creality CR-10 5s 3D printer. The quality of the printed test pieces are compared with and without using the added feed mechanism. Analysis of the test specimens revealed that the additional feed mechanism has improved the print quality, but has not done so for each print. During the construction of the feed mechanism, it turned out that some of the dimensions had been set incorrectly, so the models were redesigned and new details were printed that would be more resistant to stress. This feed mechanism is not a finished product, but a prototype. The feed mechanism can be further developed and by performing more experiments, it is possible to investigate the errors in the feed mechanism and correct them.

Keywords: 3D printing, extruder, thermoplastic, filament, feed mechanism

SISUKORD

KASUTATAVAD LÜHENDID 7
SISSEJUHATUS 8
1. 3D PRINTIMINE 10
1.3. Termoplastsed materjalid 3D printimiseks 13
1.4. Olemas olevad FFF tehnoloogia 3D printerid 14
2. TAUSTAUURING 16
3. TEHNILINE LAHENDUS 17
4. MATERJAL JA METOODIKA 19
4.1. Solidworks ning 3D modelleerimine 19
4.2. Simplify3D ning G-koodi loomine 19
5. KONSTRUKTSIOON 22
5.1. Etteandemehhanism 22
5.2. Liugurmehhanism 23
6. ELEKTROONILINE OSA 25
6.1. Mootor 25
6.2. Toiteplokk 28
6.3. Pingemuundur 29
6.4. Lülitus ning elektriskeem 31
6.4.1. Elektriskeem 33
7. TULEMUS 35
7.1. Etteandemehhanism 35
7.2. Katsekehade analüüs 36
7.3. Etteandmismehhanismi edasiarendus 37
KOKKUVÕTE 39
KASUTATUD KIRJANDUS 40
LISAD 42
LISA A. Etteandemehhanismi detaili-ja koostejoonised 43
LISA B. Katsekeha 67
LIHTLITSENT 69

KASUTATAVAD LÜHENDID

Lühend	Inglise keeles	Eesti keeles
3D	– *three-dimensional*	Kolme dimensiooniline
ABS	– acrylonitrile butadiene styrene	Akrüülnitriil-butadieen-stüreen
CAD	– c*omputer aided design*	Raalprojekteerimine
DC	– d*irect current*	Alalisvool
FDM	– f*used Deposition Modelling*	Termoplastse filamendi kihthaaval printimine
FFF	– f*used Filament Fabrication*	Termoplastse filamendi kihthaaval printimine
PLA	– *polylactic acid*	Polüpiimhape
PTFE	– *polytetrafluoroethylene*	Polütetrafluoroetüleen
NC	– *normally closed*	Tavaolekus suletud
NO	– *normally open*	Tavaolekus avatud
SLA	– s*tereolithography*	Stereolitograafia
SLS	– s*elective laser melting*	Selektiivne laserpaagutamine
STL	– s*tandard triangle language*	Standardne kolmnurga keel
UV	– *ultraviolet*	Ultraviolettkiirgus

SISSEJUHATUS

Tänapäeval on aina populaarsemaks saanud 3D printimine, sest on andnud kodukasutajatele võimaluse toota odavalt väiksemaid detaile. Kuid tehnoloogia on võetud ka tööstuslikku kasutusse, kus rakendatakse suuremaid 3D printereid. Lisaks võivad prinditavad detailid olla suuremad. Mahukamate printeritega esinevad teatud väljakutsed, mida ei ole väiksematel printeritel.

Käesoleva töö eesmärgiks on 3D printeri Creality CR-10 5s printimiskvaliteedi parendamine. Antud printeri töölaud on võrreldes tavapäraste 3D printeritega suurem ehk 500 mm x 500 mm x 500 mm. 3D printeri suure mõõdu tõttu tekib printimise protsessis ülemäära palju vibratsiooni, mis raskendab 3D printimist. Sellest tulenevalt ei ole 3D prinditud detail hea lõppkvaliteediga. Käesoleva 3D printeri samm-mootor on iseseisvalt ebapiisav. Probleem seisneb selles, et filamendi rulli ning 3D printeri edasiandmismehhanismi vahemaa on liiga suur, mille tõttu peab mootor rakendama suuremat pöördemomenti, et materjali tõmmata filamendi rullilt ja seda printeri ekstruuderisse edasi andma.

3D prinditud detaili kvaliteedi parendamise saavutamiseks tuleb lahendada järgnevaid ülesandeid:

1. Teha ülevaade 3D-printeritest ja 3D printimise tehnoloogiatest;
2. Tutvuda Creality CR-10 5s 3D printeriga;
3. Uurida kirjandusest analoogseid probleeme ja nende lahendusi;
4. 3D Printimise madala kvaliteedi probleemi selgitamine;
5. Etteandemehhanismi projekteerimine ja detailide välja printimine;
6. Mehhanismi konstrueerimine ning selle testimine;
7. Tulemuste analüüs ja etteandemehhanismi parendusettepanekute tegemine.

Lisaks on eesmärgiks samuti saada Creality CR-10 5s prinditud detailide paremat kvaliteeti, sest antud printerit on soov kasutada erinevates projektides. Selleks, et parendada kvaliteeti, valmistatakse uus filamendi etteandmismehhanism 3D printeri kere seina peale. Lisaks kõik detailid, millest mehhanismi valmistatakse, tehakse samuti 3D prinditult, sest detaili purunemise korral, saab fabritseerida suhteliselt kiiresti uue ja parema versiooni sellest.

Kasutades kolmemõõtmelist raalprojekteerimise (CAD) programmi Solidworks, modelleritakse uus etteandmismehhanism. 3D printeriga Creality Ender3 V2 prinditakse välja kõik modelleeritud detailid ning konstrueeritakse uus etteandemehhanism.

Töös kasutatakse printimiskvaliteedi analüüsimiseks katsekeha, mille põhjal teostab autor analüüsi ja otsustab, kas lisamehhanism on parendanud Creality CR-10 5s printimiskvaliteeti.

Antud töö koosneb 9 põhijaotisest, millest esimeses antakse ülevaade 3D printimise tehnoloogiatest, prinditavatest materjalidest ning 3D printimise masinatest. Teises peatükis uuritakse analoogseid probleeme ja lahendusi. Järgmises peatükis kirjeldatakse konstruktsiooni lahendust ja asukohta. Neljandas peatükis kirjeldatakse konstruktsiooni metoodikat. Viiendas ja kuuendas põhijaotises selgitatakse etteandemehhanismi komponente ning nende ülesandeid. Viimases peatükis analüüsitakse tulemusi, tehakse järeldusi ja antakse parendusettepanekuid.

1. 3D PRINTIMINE

1.1. 3D printimise ülevaade

3D-printimine on kolmemõõtmelise detaili ehitamine digitaalsest 3D-mudelist. Kontsept "3D-printimine" võib tähendada erinvaid protsesse, näiteks printimise ajal materjal ladestatakse, ühendatakse või ka tahkestatakse läbi arvjuhtimise. Nende erinevate protsesside käigus luuakse uus kolmemõõtmeline objekt, lisades materjali (nagu näiteks plastmassid, vaiku või siis metallist pulbreid, mis on omavahel sulatatud kokku), tavaliselt see toimib kiht-kihi haaval. [1]

3D-printimist on võimalik rakendada erinevat viisi. Näiteks uute toodete kiirprototüüpimine, mis on soodne kui ka kiire lahendus. Võimalik kohe printida ühe eksemplari välja, kui on soov analüüsida uue toote mudeli füüsilist kuju ning funktsionaalsust. Pealegi on 3D-printimisega võimalik välja printida ka vorme, saab valmistada näiteks pliiatsi hoidjat, purke või ka masinate jaoks erinevaid detaile. Samuti on arhitektidel võimalus valmistada 3D-printimisega endale visuaalseid mudeleid või makette. Võimalik on printida üsna täpselt ja kiirelt hoonete kui ka igasuguste maastikute näidismudeleid. Üheks suurimaks 3D printimise eeliseks on varuosade printimine. Kui peaks tootel mingisugune osa katki minema, siis selle asemel, et osta uus või viia see parandusse, saab katki läinud varuosa ise välja printida. Antud variant on soodsam ning saab detailis teha muudatusi. [2]

3D printimise tehnoloogia algusajad ulatavad aastasse 1980. Jaapani leiutaja Dr Hideo Kodama püüdis 1981. aastal valmistada kiire prototüüpimissüsteemi masina. Kodama ehitas valmis toote, mis polümeeride kõvendamiseks kasutas UV-valgust, materjal tahkestus kiht-kihi haaval. See oli esimene samm stereolitograafia (SLA) tehnoloogia poole. [3]

1986. aastal esitas Charles Hull esimesena selle tehnoloogia patenditaotluse ning tema ettevõte *3D Systems Corporation* tootis esimese kaubandusliku *SLA* 3D printeri *SLA-1*. 3D printimise areng jätkas aastal 1988, kui Carl Deckard esitas USA Texase osariigi ülikoolis patendi selektiivse laserpaagutamise (*SLS*) tehnoloogiale. Võrreldes SLA tehnoloogiaga on SLS erinevus see, et süsteemis UV valgus ei tahkestu polümeeri vaid laser sulatab kokku

pulbreid. *SLS* tehnoloogias sulatatakse näiteks metalli, keraamikat, klaasi või plasti pulbriosakesi soovitud kujuks ning samuti kiht-kihi haaval. [3]

Aasta hiljem sellest, kui patenteeriti *SLS* tehnoloogia, patenteeris Scott Crump *Fused Deposition Modeling* (*FDM*) tehnoloogia. Antud tehnoloogia erineb eelnevatest selle poolest, et laseri asemel kasutatakse termoplastset materjali, mis sulatatakse ning pressitakse avast välja [3]. *FDM* tehnoloogia on tuntud ka kui *Fused Filament Fabrication* (*FFF*), mis on sisuliselt samad. Erinevus kahe tehnoloogia vahel on see, et *FDM* on Stratasys Inc. ettevõte poolt registreeritud kaubamärgina, kuid *FFF* tehnoloogia on kaubamärgita. [4]

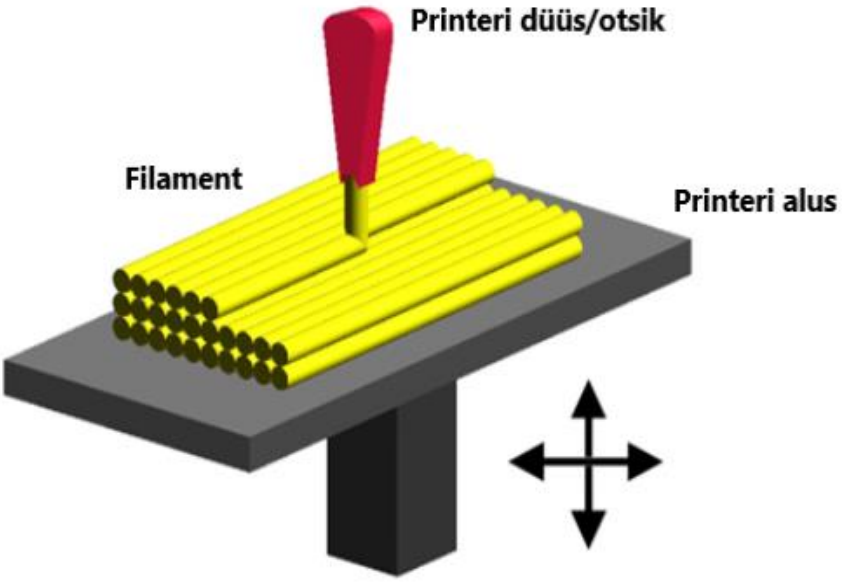
Antud kolm tehnoloogiat: *SLS, SLA* ja *FDM/FFF* pole ainukesed 3D printimise protsessi tüübid, kuid need on kogu 3D printimise tehnoloogia alused, mis alustasid tehnoloogia kasvu ja tööstuse arengut. Lisaks on *FDM/FFF* tehnoloogiast saanud tänapäeval kõige levinum 3D printimise vorm, eriti kodukasutajatel. [3]

Samuti kasutab autor käesoleva lõputöö ülesannete lahendamiseks termoplastse filamendi kihthaaval printimise tehnoloogiat ehk *FFF*. Valik tuleneb sellest, et antud printer, mille printimiskvaliteeti autor parendab on Creality CR-10 s5, mis põhineb samuti *FFF*/*FDM* tehnoloogia baasil. Antud tehnoloogiaga printimine on võrreldes teiste 3D printimise alternatiividega lihtsam. Põhjuseks on see, et materjali raiskamist on vähem ning printimisele kuluv aeg on lühem kui võrrelda *SLA*-ga.

1.2. *FFF* tehnoloogia printimine

Kõik erisugused printerid vajavad vastavalt oma tehnoloogiale spetsiifilist liiki materjali. 3D printimise jaoks kasutatakse materjalid võivad olla näiteks: metall, plastik, vaiku, erinevatest materjalidest pulbereid ning samuti muid teisi. Nii nagu oli eespool mainitud on kodukasutajatel populaarseks saanud enamasti *FDM-Fused Deposition Modeling* tüüpi printerid, mis on tuntud ka kui *FFF-Fused Filament Fabrication* tehnoloogia nime all tüüpi printerid. Antud tehnoloogiaga kasutatakse erinevaid tüüpi polümeere [3]. Tehnoloogia tugineb etteandemehhanismi termoplastse polümeeri välja pressimisel ekstruuderisse, kus seda kuumutatakse. Selleks kuumutakse ekstruuder, mis sulatab prinditava materjali ning siis pressitakse seda läbi otsiku ava. Sulanud termoplast prinditakse õhukeste kihtidena üksteise peale printeri töölauale, kus see ka tahkestub, moodustades lõpuks 3D prinditava

detaili. Mustri joonistamiseks liigub ekstruuder või ka töölaud termoplasti väljapressimise ajal, osadel printeritel liigub printimise alus üles-alla ehk z suunas. Enne printimise alustamist kasutatakse G-koodi genereerimiseks tarkvara, mis jagab 3D-digitaalmudeli kihtideks, mida printer suudab printida. [5]



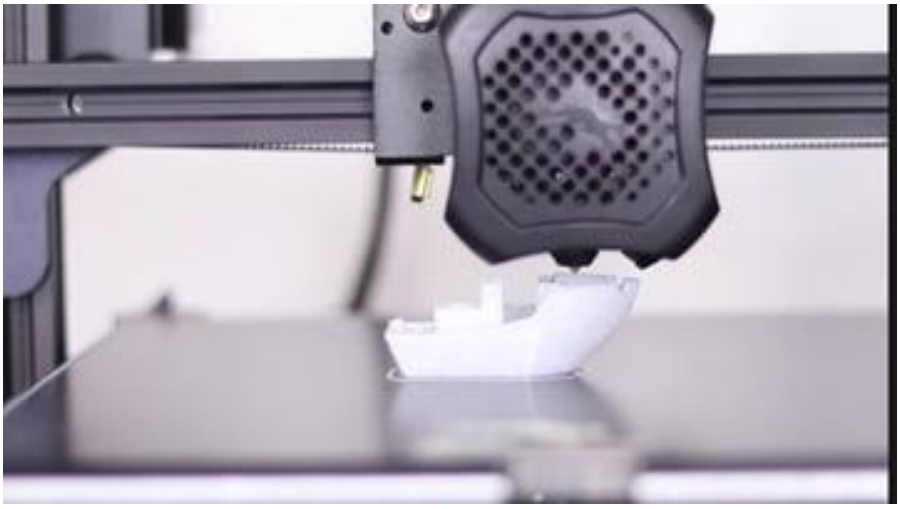
Joonis 1. *FFF/FDM* tehnoloogiaga printimise näidis [5].

FFF ja *FDM* 3D printerid kasutavad erinevaid tüüpe termoplastseid materjale, mida nimetatakse samuti filamendiks. Kuju poolest on filament toodetud sarnaselt niidina, mille levinud läbimõõdud on 1,75 mm või 2,85 mm. Lisaks on filament ka rulli keeratud, mis teeb selle transportimise ning kasutamise lihtsamaks. Rulli keritud filamendid toodetakse tavaliselt 1 kg rullides, kuid mitte igakord, sest populaarsed on ka 0,5 kg, 0,75 kg ja 5 kg rullid. Reeglina asuvad need 3D printeri külje peal või kohal. [6]

Termoplastide füüsikalised omadused võivad varieeruda vastavalt selle, milline ettevõte seda toodab ning kuidas toodetakse. Millist materjali printimiseks täpsemalt kasutada, sõltub sellest, mida tahetakse prinditud detailiga teha, kas rakendatakse seda kuskil ehituses, kus on suured koormused või on hoopis kasutusel lihtsa mänguasjana. Parema valiku tulemuse saavutamiseks oleks vaja materjale alati testida. Sobiva mplasti testimiseks tuleks arvestada erinevate printimise kiiruste ja temperatuuritega. [6]

1.3. Termoplastsed materjalid 3D printimiseks

Printimisel *FFF* tehnoloogial kasutatakse erinevaid tüüpi termoplaste, millel esineb ka üksteisest erinevaid omadusi. Kodukasutajate seas enim kasutatav termoplast on *PLA* ehk polüpiimhape. Materjal on populaarne, sest seda on lihtne printida ja on odavam võrreldes teiste filamentidega. Lisaks saab printida detaile, mida võimalik kasutada erinevateks rakendusteks. Antud termoplasti saab printida madalatel temperatuuridel. Printimiseks on soovitatav hoida 3D printimise töölaua temperatuur vahemikus 20 °C kuni 55 °C. Printeri ekstruuder temperatuur hoida vahemikus 190 °C kuni 230 °C. Lisaks on *PLA* toodetud maisitärklisest ja suhkruroost, mis teeb antud filamendi loodussõbralikumaks, kuna see on taaskasutatav ja biolagunev. Soovitus on *PLA-d* mitte hoida UV valguse käes, sest *PLA* laguneb kiirelt ära [7]. *PLA*-ga printimine kasutades Creality Ender3 3D printerit on toodud välja joonisel 2.



Joonis 2. PLA filamendi printimine Creality Ender3 3D printeriga [8].

Kodukasutajate seas kasutatakse samuti *ABS* polümeer ehk akrüülnitriilbutadieenstüreen filamenti. Antud materjalil on head mehhaanilised omadused, nimelt oma sitkuse ja löögikindluse poolest. ABS printimiseks on soovitatav hoida 3D printeri töölaud temperatuur vahemikus 90°C kuni 110°C. Printeri ekstruuderi temperatuur hoida vahemikus 220°C kuni 260°C. Termoplasti *ABS* valmistatakse fossiilsetest kütustest, mis tähendab, et filament ei ole biolagunev. Lisaks *ABS* ei lagune UV kiirguse käes nagu PLA. [6]

Filamendist *PLA* ning *ABS* on olemas ka tugevam ja odavam materjal, milleks on nailon. Nailoni üheks heaks omaduseks on paindlikkus, samas säilitades ka oma sitkuse, eeldades et prinditakse piisavalt õhukeselt. Head kvaliteeti on antud materjaliga keeruline saada, kuna isegi lühiajalise kokkupuutega kõrge niiskusega imendab filament endasse vett, mis võib printimisel põhjustada mõõtmete ebatäpsuse ning detaili tugevuse ebaühtlust. Selletõttu peab materjal seisma kuivas kohas, isegi on soovitatav hoida filamendi rull kinnises pakendis, kui ei ole plaanis seda pikemalt rakendada. See kehtib ka kõigi muude materjalide kohta. Nailoni printimiseks on soovitatav hoida 3D printeri ekstruuderi temperatuur 240°C kuni 300°C vahemikus ja printimisaluse temperatuur 60°C kuni 80°C vahemikus. [6]

Käesolevas töös kasutatakse 3D printimiseks 1,75 mm läbimõõduga *PLA*-d, põhjuseks on selle kerge kättesaadavus ning võrreldes teiste filamentidega on *PLA* hinnaliselt odavam. Lisaks on antud materjali ka lihtsam printida, sest see ei nõua kõrgeid printimise temperatuure nagu näiteks *ABS*. Välja valitud filamenti rakendatakse printimiskvaliteedi parendamise eesmärgiks ning samuti prinditava katsekeha kvaliteedi parenduse analüüsimiseks.

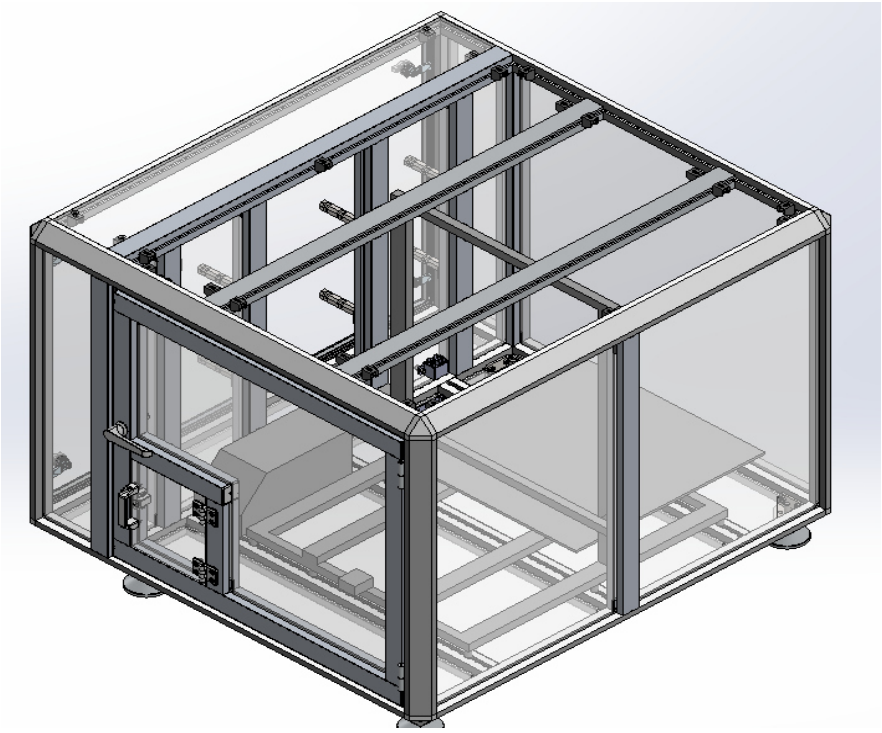
1.4. *FFF* tehnoloogia 3D printerid

Eesti Maaülikooli tehnikamaja mõõtelaboris on olemas kolm erinevat termoplastse filamendi kihthaaval printimise tehnoloogial põhinevat 3D printerit, nendeks on Ultimaker 2+, Ultimaker 3 ning uPrint SE Plus. Autor kasutab oma töös kahte erinevat 3D printerit - Creality CR-10 5s ning Ender3 V2, mis samuti töötavad *FFF* tehnoloogial. Kõigi nimetatud 3D printerite tehnilised andmed on toodud tabelis 1.

Tabel 1. 3D printerite tehnilised andmed [9-13]

3D printer	CR-10 5s	Ender3 V2	Ultimaker 2+	Ultimaker 3	uPrint SE Plus
Tehnoloogia	FDM	FDM	FFF	FFF	FDM
Printer mass, kg	14,6	7,8	10,3	10,6	94
Tööala, mm	500x500x500	220x220x250	223x220x205	215x215x200	203x203x152
Tootja	Creality	Creality	Ultimaker	Ultimaker	Stratasys
Hind, €	800	300	1800	3000	30000

3D printer Creality CR-10 5s on toodud joonisel 3 koos selle kerega, mille sees ta paikneb. Antud kere autor on Marten Noorem, kes konstrueeris selle aastal 2017.



Joonis 3. 3D printeri Creality CR-10 S5 kere Solidworks joonis.

Printeri kere gabariitmõõtmed on 1000 mm x 1100 mm x 900 mm, selle raam on valmistatud alumiinium profiilist, aga kere akrüülist. Kere sees, selles sektsioonis, kus asub 3D printer, on sisemõõtudeks on 800 mm x 900 mm x 700 mm. Kõrval sektsioonis paiknevad filamendi rullid ning selle sisemõõduks on 200 mm x 900 mm x 700 mm.

2. TAUSTAUURING

Printimiskvaliteedi parendamiseks tehti taustauuring suuremate 3D printerite printimise väljakutsetest. Kirjandusest uuriti, kuidas on teised lahendanud prinditud detailide kvaliteediga seoses probleeme.

Üheks viisiks kuidas printimiskvaliteeti parendada on vahetada olemasoleval printeril ära etteandemehhanismi rattad. Teadustöös *Investigations on Roller-Based Filament Drives* kasutati erinevate välisläbimõõtudega ning hamba geomeetriaga etteandemehhanismi rattaid. Töös uuriti rataste libisemise tegurit, see on protsentuaalne lahknevus nurk- ja etteandekiiruse vahel. Filamendi etteandemehhanismi printimiskvaliteeti määravaks omaduseks võib olla muljumisjõud rataste vahel ja etteande kiirus. Tulemustest selgus, et libisemine vähenes, kui suurendada muljumisjõudu, sõltuvalt rattast. Soovitatakse kasutada rattaid, millel on sisse lõigatud elliptilise kujuga sooned ja on prinditava materjali ehk filamendi läbimõõduga [14].

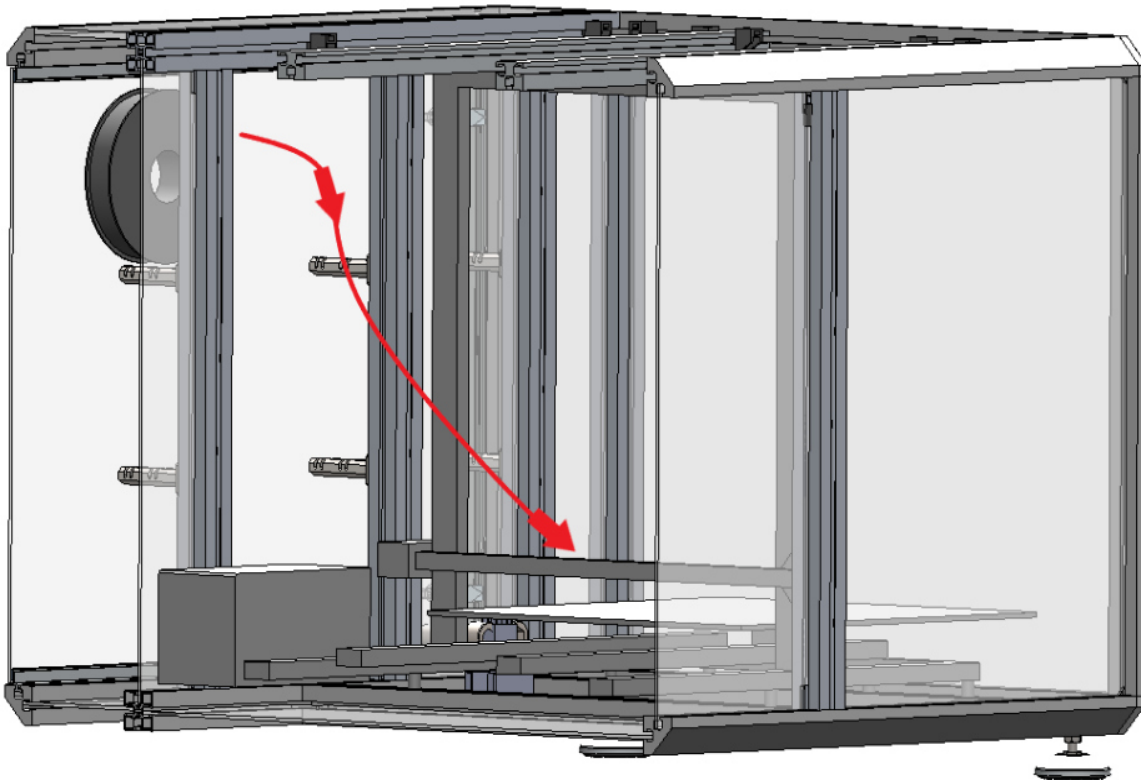
Teadustöös *Large-scale 3D printers for additive manufacturing: design considerations and challenges* uuriti 500 mm x 500 mm x 500 mm töölauaga 3D printeri printimise väljakutseid, eriti suuremate mõõtmetega detailide puhul. Mille järeldustest selgus, et temperatuurierinevuste tõttu tekib suuremate detailide printimisel kvaliteedi langused, kui kasutada suure läbimõõduga düüse. Soovitatakse hoida 3D printerit kambri sees, et välistemperatuur oleks ühtlasem [15].

Autor tuvastas, et probleemiks on filamendi rulli pikk vahemaa 3D printeri etteandemehhanismini. Olemasolev samm-mootor, mis on Creality CR-10 5s küljes ei suuda iseseisvalt prinditavat materjali tõmmata, mille tõttu tekivad printimise käigus prindipeas vibratsioonid. Lahenduseks on vahetada filamendi rulli asukoht, kuid piiratud ruumi tõttu pole see võimalik.

Pärast probleemi tuvastamist otsustati, et tuleb lisada juurde uus filamendi etteandmismehhanism. Uue täiendava etteandemehhanismi eesmärk on aidata filamenti edasi anda 3D printerile.

3. TEHNILINE LAHENDUS

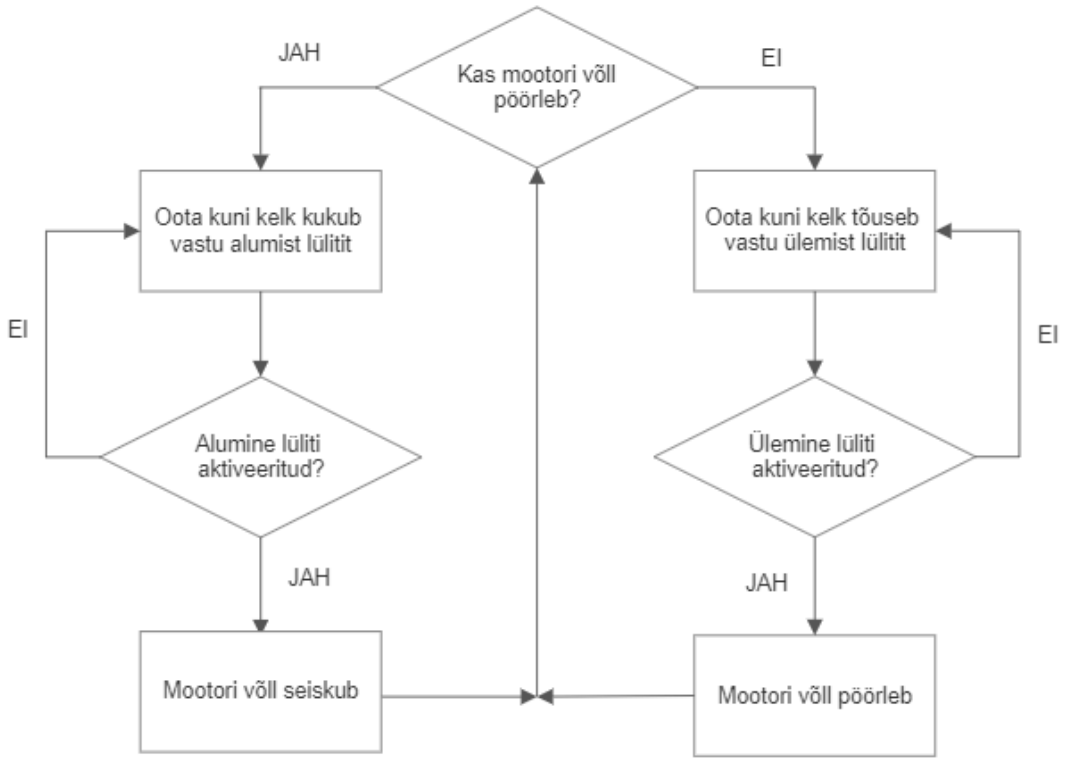
Täiendava etteandemehhanismi peamiseks ülesandeks on prinditava materjali edasiandmine CR-10 5s 3D printerile. Eesmärk on teha antud printeri etteandemehhanismi samm-mootori töö lihtsamaks. Kuna mootor peab iseseisvalt tõmbama filamenti, mis asub printerist üsna kaugel, tekivad printimise käigus vibratsioonid, mille tõttu ka printimiskvaliteet väheneb. 3D printeri ning filamendi rulli omavaheline vahemaa on ligikaudu 600 mm, filamendi liikumis trajektoor on näidatud joonisel 4.



Joonis 4. Printeri kere 3D mudel, punase noolega on näidatud, kuidas filament liigub.

Käesoleva töö mehhanismi lahtimõtestamisel on autorile abiks plokkskeem (joonis 5). 3D printeri Creality CR-10 5s printimise käigus tõmbab selle samm-mootor filamendi rullilt termoplasti. Tõmbamise käigus läheb filament pingule, mille tõttu tõuseb liuguril olev kelk üles poole. Lõpuks tõuseb kelk piisavalt kõrgele, et lülitada sisse ülemist lõpplülitit ning mootori võll hakkab pöörlema, mille tulemusena antakse filamenti edasi. Selle tõttu ei hoia

filament enam kelku üleval ning kelk liigub gravitatsiooni jõul alla vastu alumist lülitit, mis lõpetab mootori võlli pöörlemise.



Joonis 5. Mehhanismi töökäigu protsessi plokkskeem.

Eesmärk on ehitada konstruktsioon 3D prinditud materjalidest, mille eeliseks on see, et saab detaile 3D printeriga kiiresti toota, lisaks on prindituid detaile ka lihtne töödelda. Kui konstruktsiooni ehitamise käigus märgatakse, et prinditud osad ei sobi (kas on liiga suur, väike, raske või kerge), siis on kohe võimalik uus modelleerida ja välja printida. Printimise materjaliks valiti 1,75 mm läbimõõduga *PLA* termoplast, kuna sellel on hea kättesaadavus ning hind on kilogrammi kohta odavam. Lisaks on antud materjal ka kerge, selle tiheduseks on 1.24 g/cm³ [16]. Kõik prinditud detailide joonised on esitatud lisas A.

Töös kasutatakse printimiskvaliteedi parendamise analüüsimiseks katsekeha – XYZ kuubikud, mille STL failitüübiga mudel on võetud Thingiverse leheküljelt autori iDig3Dprinting poolt. Detail on mõõtudega 20 mm x 20 mm x 20 mm [17]. Printeri Creality CR-10 5s töölaua suuruse tõttu muudetakse katsekeha mõõtmeid samuti suuremaks. Pikkuse ja laiuse mõõtmed suurendatakse kuni 40 mm, aga kõrguse 50 mm. Suuremad mõõtmed aitavad analüüsida ning järeldusi teha, kas uue etteandemehhanismi lisamine on aidanud parendada printimiskvaliteeti.

4. MATERJAL JA METOODIKA

4.1. Solidworks ning 3D modelleerimine

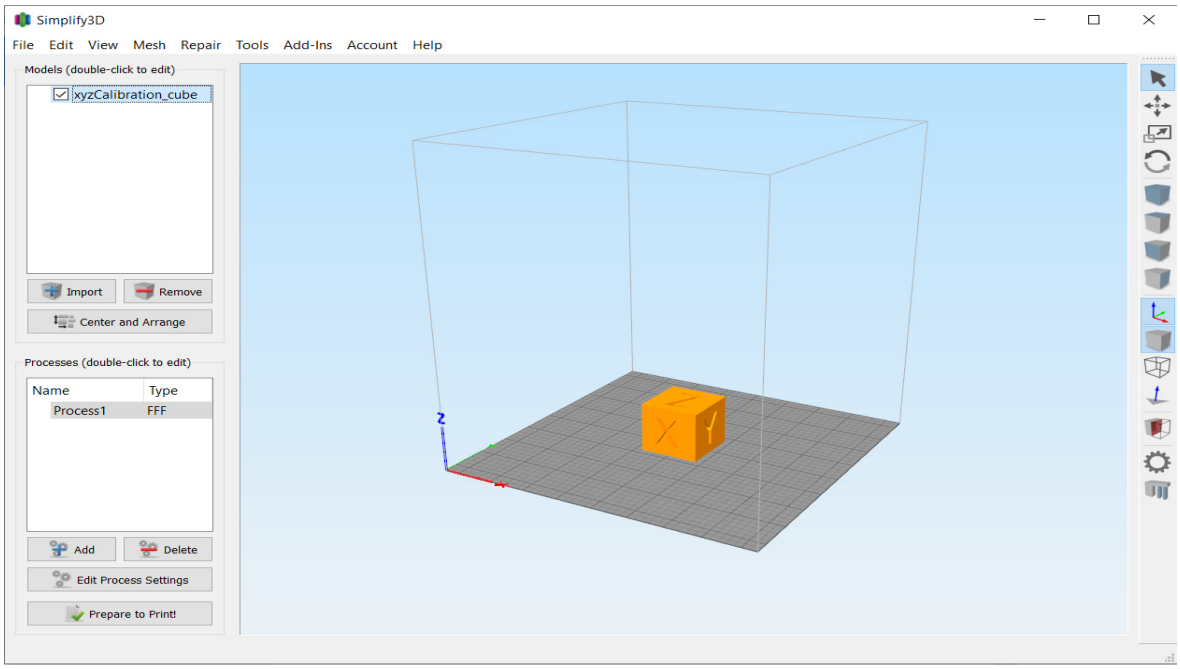
Käesoleva töö kogu mehhanismi projekteerimiseks kasutati modelleerimis tarkvara Solidworks. Solidworks on kolmemõõtmelise raalprojekteerimise (CAD) tarkvara, see töötab üksnes Microsoft Windows platvormil. Antud programm on valmistatud Prantsusmaa ettevõte Dassault Systèmes SolidWorks Corporation poolt. Solidworks tarkvaras salvestatud mudelid on tavaliselt SLDPRT formaadis, kuid 3D printimiseks peab salvestama STL formaati. [18]

Modelleerimistarkvaraga SolidWorks valmistati mehhanismi 3D mudel. Mudel koosneb enam kui kahekümnest detailis. Samuti kasutati olemasolevat tarkvara jooniste valmistamiseks. Kõik konstruktsioonis kasutatud detailide joonised on toodud välja lisas A

4.2. Simplify3D ning G-koodi loomine

Modelleerimis tarkvaras valmistatud 3D mudeli modifitseerimist 3D printeritele arusaadavaks juhisteks nimetatakse viilutamiseks. Viilutamistarkvara muudab valitud mudeli kihtideks ning määrab kindlaks, kuidas igat kihti tuleb printida. Antud programm konverteerib STL ning OBJ failiformaadi 3D printerile arusaadavaks G-koodiks. Mis võimaldab muuta prindipea liikumise suunda, kiirust ning määrab ära kui palju prinditavat materjali edasi anda. Lisaks on viilutamistarkvaral palju erinevaid parameetreid, mida kasutajal on võimalik muuta, et parendada printimiskvaliteeti. [19]

Käesolevas töös kasutab autor Simplify3D viilutamistarkvara, mille abil muudetakse STL failiformaat G-koodiks. Tarkvara arvutab autoril välja mitu millimeetrit filamenti kasutatakse printimiseks, samuti arvutab programm detaili massi, see aitab autoril teha mehhanismi detaile võimalikult kergeks. Joonisel 6 on näha Simplify3D töökeskkonda koos katsekeha STL mudeliga.



Joonis 6. Viilutamistarkvara Simplify3D töökeskkond.

Tarkvaraga asetatakse mudelid töölaua peale ning seadistatakse printeri parameetreid, mille väärtused on toodud välja tabelis 2. Konstruktsiooni detailide printimiseks kasutati Creality Ender3 V2 printerit, see oli autorile kättesaadav ning mille kasutamise puhul oli autoril olemas ka eelnev kogemus. Viilutamistarkvaraga genereeritakse 3D mudeli G-kood ning mälupulga abil laetakse fail 3D printerile, siis on võimalik detailid välja printida.

Tabel 2. Viilutamistarkvara Simplify3D printimise parameetrid

Viilutamistarkvara parameeter	Inglise keeles	Väärtus
A	B	1
Materjali voolu kordaja, %	*Extrusion multiplier*	100
Filamendi joa laius, mm	*Extrusion width*	0,4
Filamendi tagasitõmbe kaugus, mm	*Retraction distance*	7,5
Düüsi vertikaalne tagasitõmme, mm	*Retraction vertical lift*	1
Tagasitõmbe kiirus, mm/min	*Retraction speed*	3000
Kihi kõrgus, mm	*Primary layer height*	0,2
Ülemise kihtide arv	*Top solid layers*	4
Alumise kihtide arv	*Bottom solid layers*	3
Seina kihtide arv	*Outline/perimeter shells*	2
Printimise suund	*Outline direction*	Seest, siis väljas
Esimese kihi kõrgus, %	*First layer height*	100
Esimese kihi laius, %	*First layer width*	100
Esimese kihi kiirus, %	*First layer speed*	50
Täite muster	*Internal fill pattern*	kärgstruktuur
Täite protsent, %	*Interior fill percentage*	20

Tabel 2. järg

A	*B*	1
Täite filamendi joa laius, %	*Infill extrusion width*	%
Geneereri tugi material	*Generate support material*	Ei
Kuumutuspea temperatuur, °C	*Extruder temperature*	210
Printimisaluse temperatuur, °C	*Heatbed temperature*	60
Ventilaatori kiirus, %	*Fan speed*	60
Printimise kiirus, $\frac{mm}{min}$	*Default printing speed*	4200
Välis kihi printimis kiirus, %	*Outline underspeed*	50
Ülemise ja alumise kihi printimis kiirus, %	*Solid infill underspeed*	80
Tugi materjali printimis kiirus, %	*Support structure underspeed*	80
X/Y telje liikumis kiirus, kui ei prindi, mm/min	*X/Y axis movement speed*	9000
Z telje liikumis kiirus, kui ei prindi, mm/min	*Z axis movement speed*	9000
Filamendi läbimõõt, mm	*Filament diameter*	1,75
Prindi alus	*Include raft*	Ei

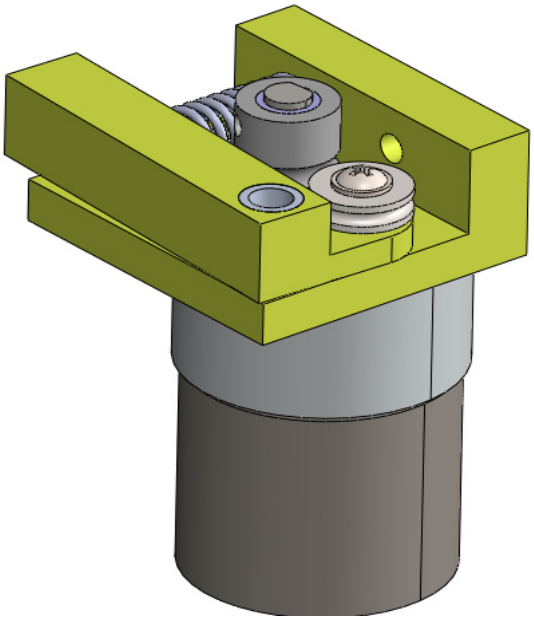
Nimetatud parameetritega 3D prinditakse välja katsekehi ning analüüsitakse, kas uue etteandemehhanismi lisamine printimise protsessi on parendanud printimiskvaliteeti. Kõik mehhanismis kasutatud 3D prinditud detailid prinditakse tabelis 2 olevatest printimise parameetriteid jälgides. Detailid erinevad filamendi täite protsendi poolest. Täite protsendi erinevus tulenes sellest, et konstrueeritud etteandemehhanismi osa detailid peavad olema raskemad kui teised, mis olenes detaili rakendamis viisist.

5. KONSTRUKTSIOON

5.1. Etteandemehhanism

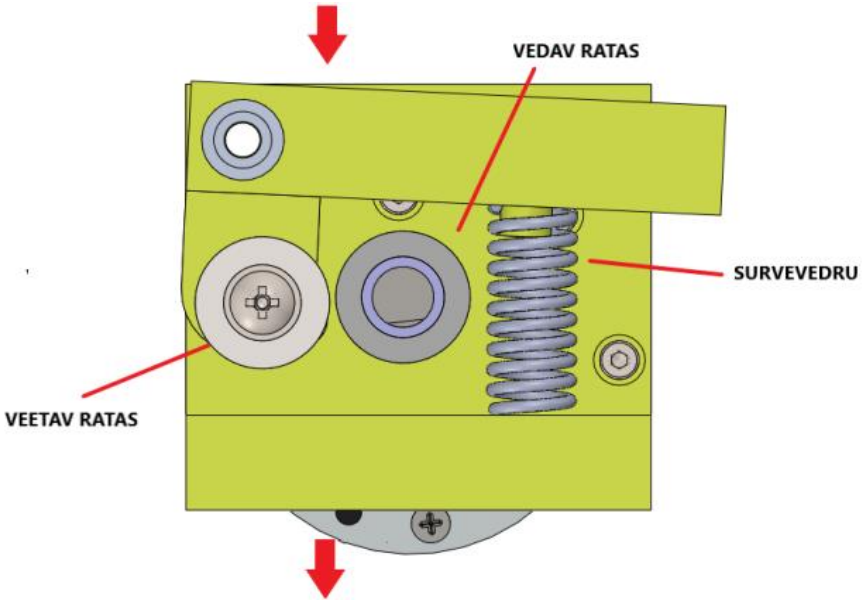
Autori konstruktsioon koosneb mitmetest iseseisvatest osadest, mille eesmärgiks on edasi anda filamenti 3D printeri CR-10 5s ekstruuderi ees paiknevale etteandemehhanismile, nii et see ei peaks iseseisvalt materjali tõmbama. Antud konstruktsiooni koostisosadeks on filamendi etteandmismehhanism, liugur mehhanism koos selle küljes liikuva kelguga ning filamendi pingutus tugi rull, mille ülesandeks on kelgu üles tõmbamine filamendi poolt.

Mootor peab olema võimeline filamenti ka edasi lükkama, vastavalt selle jaoks projekteeritakse filamendi etteandmismehhanism. Antud mehhanism peab haarama filamendist kinni piisava tugevusega, et suudaks hõõrdejõuga seda edasi lükata. Kuid ei tohi liiga suure survega haarata, et hakkaks filamenti lõhkuma. Modelleeritakse mehhanism, mille ülesandeks on hoida filamenti paigal ning mootori võlli pöörlemisel seda edasi anda. Mootor ning projekteeritud filamendi etteandemehhanism on toodud joonisel 7.



Joonis 7. Pololu alalisvoolumootor ning selle kohal olev filamendi etteandemehhanism.

Projekteeritud etteandemehhanism koosneb alusest ning pingutist, mis on toodud välja joonisel 8 kollast värvi. Antud detailid on oma vahel poldiga kinnitatud, kuid on jäetud ka liikumisruumi, et oleks võimalik filamenti kahe ratta vahele asetada. Mõlemad detailid on 3D prinditud PLA termoplastist printeriga Creality Ender-3 V2. Lisaks on nende vahel survevedru, mis surub mõlemad rattad üksteise vastu. Survevedru valikul on tähtis pöörata tähelepanu, et rataste vahel tekitatud muljumisjõud ei oleks liiga tugev. Vastasel juhul hakkab võlli pöörlemise käigus vedav ratas filamenti kahjustama, sest filamenti ei suudeta edasi anda, kuna tekitatud surve on liiga suur.



Joonis 8. Etteandemehhanism koostisosadega. Noolega on näidatud filamendi liikumise suund.

Antud etteandmismehhanism on kinnitatud mootori külge nelja poldiga, mille läbimõõt on 2 mm ning pikkuseks 10 mm.

5.2. Liugurmehhanism

Mehhanismi tööpõhimõte seisneb liuguri lineaarsest liikumisest. Kui 3D printeri mootor prinditavat materjali ei tõmba, on gravitatsiooni jõu tõttu liuguril olev kelk all, mille tulemusena on aktiveeritud alumine lüliti. Kui 3D printeri samm-mootor tõmbab filamenti,

hakkab kelk lineaarjuhikul üles liikuma kuni aktiveerib ülemist lülitit. See käivitab lisatud etteandemootorit ning annab filamenti juurde. Mille tõttu liigub lineaarjuhikul olev kelk gravitatsiooni jõul alla ja aktiveerib uuesti alumist lülitit ning mootori võll seiskub.

Liugur koosneb AISI 304 roostevabast lineaarjuhikust, mille mõõtmed on 8 mm x 277 mm. Seade on vertikaalselt toestatud printeri kere seina peale kahe *PLA* termoplastist välja prinditud toega. Liugureid on kaks ning need on omavahel paralleelselt asetatud. Lineaarjuhikute vahel liigub kelk, mille ülesanne on aktiveerida lüliteid, et mootori võll pöörlema panna või seisata. Kelk liigub lineaarselt kahe juhikul oleva lineaarkuullaagri tõttu. Lineaarkuullaagri siseava läbimõõt on 8 mm ning välisläbimõõt 15 mm, lineaarkuullaager on toodud joonisel 9.

Joonis 9. Lineaarkuullaager LM8UU [20].

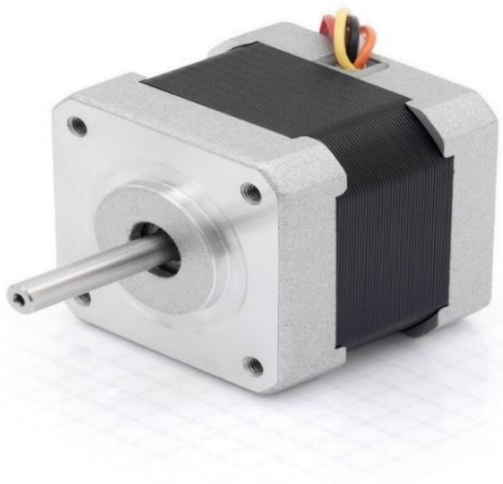
Mõlemad lineaarkuullaagrid asuvad kelgu sees 3D prinditud pesades. Laagrid liiguvad tänu kelgule alati paralleelselt üles ja alla. Kogu lineaarjuhiku koostu detailide joonised on toodud välja lisas A.

6. ELEKTROONILINE OSA

6.1. Mootor

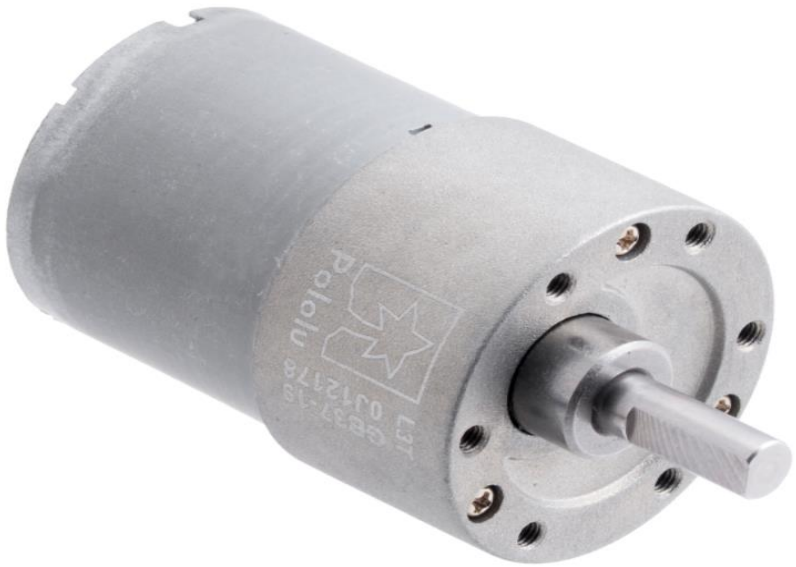
Et prinditavat materjali oleks võimalik edasi anda, tuleb võtta kasutusele mootor, mille võlli pöörlemisega viiakse filamenti edasi 3D printeri CR-10 5s etteandemehhanismi. Valimise käigus peab arvestama, et mootori mõõtmed ei oleks liiga suured, sest see peaks mahtuma printer kere sisse ning kere sees peaks jääma ka ruumi filamendi rullidele. Peale selle peab mootor olema kaalu poolest piisavalt kerge, et see konstruktsiooni ei koormaks, kuna prinditud materjalid on õhukesed ning võivad raskuse tõttu katki minna.

Mootori valimisel kaalub autor kahte varianti. Esimeseks valikuks oli NEMA 17 samm-mootor, selle eeliseks on laialdane kasutus 3D printeritel. Kuna madalatel pööretel on neil ikka maksimaalne pöördemoment. Samm-mootoriga võimalik ka kontrollida rootori asendit. Antud mootor on mõõtudega 42 mm x 42 mm x 48,5 mm. Mille võlli pikkus on 24 mm ja läbimõõt 5 mm. Lisaks on selle samm-mootori mass 0,34 kg [21]. NEMA 17 samm-mootor on toodud välja joonisel 10.



Joonis 10. NEMA 17 samm-mootor [21].

Teiseks valikuks osutus Pololu harjadega alalisvoolumootor, mille eeliseks on kiire ning pidev pöörlemine. Seda kasutatakse peamiselt masinates, kus peab olema suur pöörlemissagedus. Antud mootor sobib pidevaks kasutamiseks, sest selle pöördemoment on erineva pöörlemiskiiruste vahemikus konstantne [22]. Antud mootor on mõõtudega 37 mm x 52 mm ja selle mass 0,18 kg. Pololu alalisvoolumootor on toodud välja joonisel 11.



Joonis 11. Pololu ettevõte harjastega alalisvoolumootor [22].

Käesoleva töö etteandemehhanismi jaoks valis autor Pololu alalisvoolumootori, mis on reduktorülekandega 19:1. Antud mootor sai valitud seetõttu, et on massi poolest kergem kui samm-mootor, lisaks mootori silindriline kuju teeb etteandemehhanismi modelleerimise autorile lihtsamaks.

Alalisvoolumootoril on 16 mm pikkune, 6 mm läbimõõduga D-kujuline väljundvõll. Välja valitud Pololu alalisvoolumootoril on olemas ka integreeritud enkooder, kuid ettenähtud projektis pole see vajalik kasutada [22]. Mootori täpsemad spetsifikatsioonid on toodud välja tabelis 3.

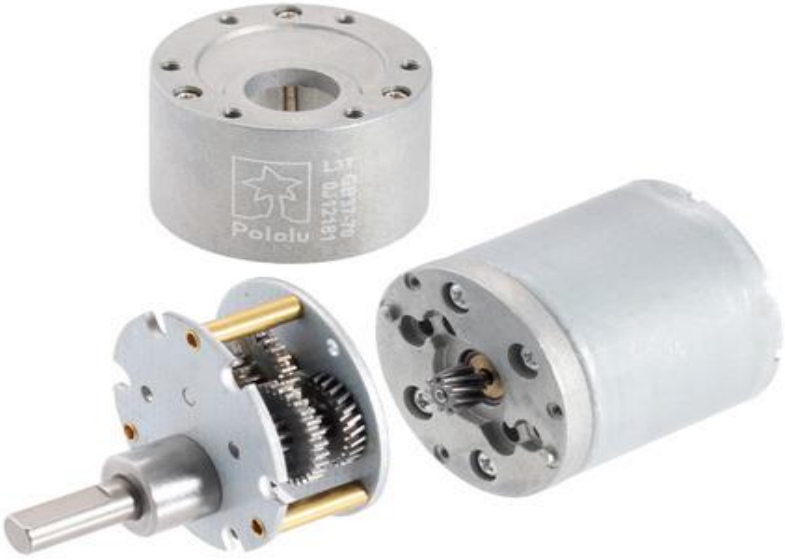
Tabel. 3 Pololu alalisvoolumootori andmed [23]

Spetsifikatsioon	Väärtus
A	1
Nimipinge, V	12
Seiskumisvool, A	5,5
Koormusvaba vool, A	0,2

Tabel 3. järg

A	1
Ülekandesuhe	18,75:1
Pöörlemissagedus, RPM	530
Pöördemoment, kg · cm	8,5
Võimsus, W	12

Valitud mootori reduktorülekanne koosneb põhiliselt hammasratastest, mille müra vähendamiseks ning ka tõhususe suurendamiseks on reduktori esimeses etapis kald hammasrattad, mis on toodud välja joonisel 12. Kald hammasratastel toimuvad sujuvamad käigu tööd kui sirghammastega hammasrattal. Lisaks on vähem põrutuskoormust ning tekitab vähem müra ja vibratsiooni. Antud hammasratas on sobilik kiirete rakenduste jaoks, milles on nõutav minimaalne müra. [24]



Joonis 12. Lahti võetud Pololu alalisvoolumootori reduktor, milles on näha spiraalset hammasratast.

Valitud alalisvoolumootori on ühendatud kahe juhtmega, mis annavad mootorile toidet, et võll pöörlema hakkaks. Selle tulemusena antakse filamenti edasi 3D printerile. Lisaks on mootor kinnitatud printeri kere seina külge 3D prinditud mootori kinnitusklambriga, mille joonis on lisatud lisasse A.

6.2. Toiteplokk

Käesoleva töö raames peab valitud toiteplokk olema võimeline toitma harjadega alalisvoolumootorit ning käivitama kahte releed. Kuna mootor töötab alalisvooluga, aga toidet saadakse pistikupesast, mille väljundiks on 230 V (50Hz) vahelduvvool. Valitakse sobilik toiteadapter, mis muundaks pistikupesast tuleneva vahelduvvoolu alalisvooluks, et mootor korrektselt töötaks ning mootori võll pöörlema hakkaks. Võetud Pololu alalisvoolumootor töötab toitepingel 12 V, suurim voolutugevus on kirjanduse järgi 5,5 A. Voolutugevus on suurim seiskumisvoolu korral ehk kui mootoril on toide sees, kuid võll ei pöörle [23]. Katsetades seda, näitas autori multimeeter mootori võlli kinni hoides hoopis 3,14 A. Peale mootori käivituvad mõlemad releed samuti toitepingel 12 V.

Enne sobiva võimsusega toiteploki valimist, peab välja arvutama mootori võimsuse ka seiskumisvoolu korral. Mootori võimsuse väärtust arvutatakse valemi 6.1 järgi.

Alalisvoolumootori võimsuse arvutamine [24].

$$P = U \cdot I, \tag{6.1}$$

kus P on mootori võimsus, W;

U – alalisvoolumootori nimipinge;

I – alalisvoolumootori voolutugevus seiskumisvoolu korral;

Mootor ning releed töötavad toitepingega 12 V, mis tähendab et toiteploki pinge väljund peab olema samuti 12 V. Mootori võimsuse leidmiseks seiskumisvoolu korral rakendatakse valemit 6.1, seega nimipinge 12 V ning voolutugevuse 3,14 A korral saadakse võimsuseks 38 W. Peale arvutuste tegemist valis autor toiteplokiks Dell AA65NM121 vahelduvvooluadapter. Antud adapteri sisendpinge on 100 V kuni 240 V ning saab vahelduvvoolu seinakontaktist. Väljundpinge on Dell adapteril 19,5 V, suurim väljund voolutugevus on 3,14 A ja võimsus 65 W. Kasutatav Dell toiteplokk on välja toodud joonisel 13. [26]

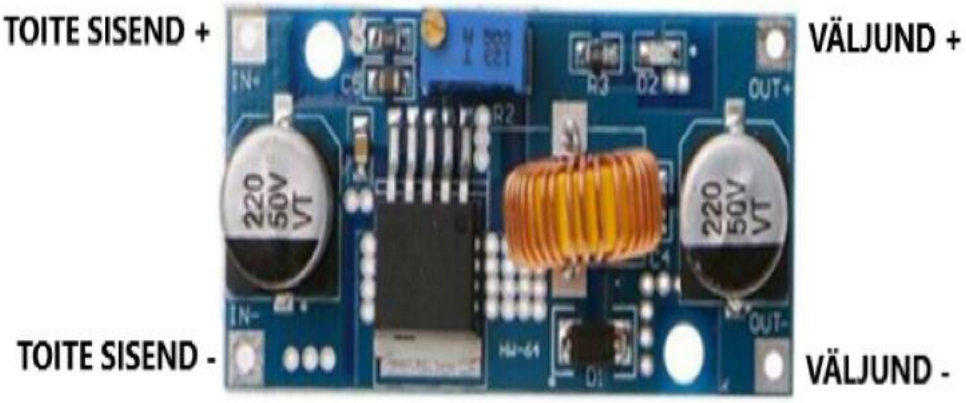
Joonis 13. Dell AA65NM121 vahelduvvooluadapter [26].

Toiteploki gabariitmõõtmed on 110 mm x 50 mm x 40 mm. Selle väikese suuruse tõttu on asetatud seda 3D printeri kere taha.

6.3. Pingemuundur

Valitav Pololu alalisvoolumootor ja releed on projekteeritud töötamiseks toitepingega 12 V, kuid toiteploki väljundpinge on 19,5 V. Toite väljundpinge on võrreldes mootori ja releede nimipingest suurem. See tekitab alalisvoolumootorile suurema voolutarbimise ja võib põhjustada ülekuumenemist, mis vähendab mootori tööiga. Samuti kui toita releed kõrgema pingega kui selle antud nimipingega, siis kahjustatakse relee magnetpooli.

Soovides elektroonika detaile kõrgema pingega mitte kahjustada, tuleb mootori ja toiteploki vahele panna pingemuundur, mille eesmärk on muuta väljundpinge 19.5 V mootori ning relee nimipingeks 12 V. Käesoleva töö jaoks on valitud XL4015 alalispingemuundur, mis on näidatud joonisel 14 koos alalispingemuunduri mooduli kinnitusega.



Joonis 14. XL4015 alalispingemuunduri mooduli kinnitus [27].

Valitud alalispingemuundur on suuteline juhtima 5 A koormust koos sobiliku liini ja koormuse reguleerimis võimega. Liides on reguleeritav, see võimaldab muuta sissetuleva alalispinge suuremaks või väiksemaks väljuvaks alalispingeks. Antud juhul suurim voolutugevus, mis võib tekkida on 3,14 A. Lisaks on moodulil LED tuli, mis annab märku kui toide on sees [27]. Täpsemat spetsifikatsioonid on toodud välja tabelis 4.

Tabel 4. Alalispingemuunduri XL4015 spetsifikatsioon [27]

Alalispingemuundur	XL4015
Sisendpinge, V	4 … 38
Väljundpinge, V	1,25 … 36 (reguleeritav)
Väljundvool, A	5 (maksimaalne)
Väljundvõimsus, W	75
Mooduli mõõdud, mm	54x23x18

Pingemuunduri ühendamiseks tuleb viia toiteplokist positiivne ning negatiivne juhe vastavalt alalispingemuunduri mooduli positiivse sisendisse ja negatiivse sisendisse. Mooduli väljundid ühendatakse alalisvoolumootori positiivsele ning negatiivsele klemmile vastavalt. Valitud alalispingemuunduri mooduli avade asukohad ja kirjeldused on toodud tabelis 5 ning joonisel 14.

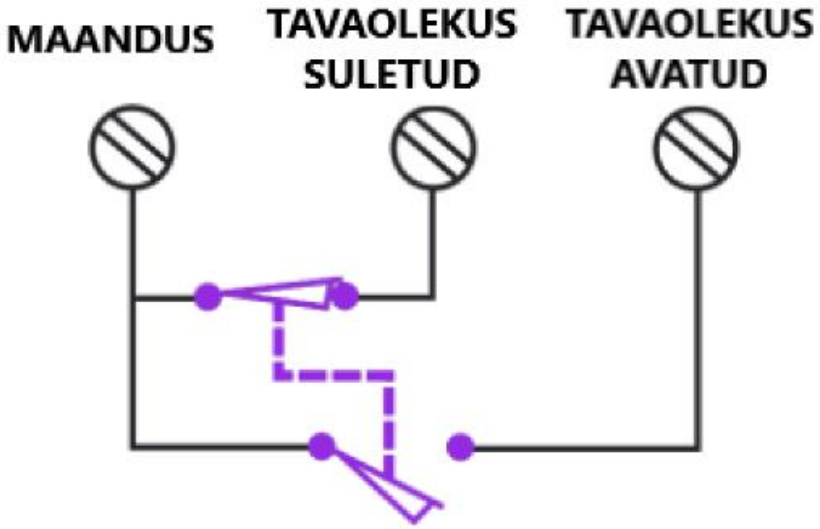
Tabel 5. XL4015 toitemooduli plaadi avade kirjeldus [27]

AVA NIMETUS	**KIRJELDUS**
IN +	Positiivne sisend
IN -	Negatiivne sisend (maandus)
OUT +	Positiivne väljund
OUT -	Negatiivne väljund (maandus)

Pingemuundur asub printeri Creality CR-10 5s kere sees ning sellele on eraldi 3D prinditud karp, mille sees muundur paikneb. Välja prinditud karp kaitseb toitemooduli elektroonikat keskkonna eest, selle joonis on toodud välja lisas A.

6.4. Lülitus ning elektriskeem

Lõpplüliti on elektromehaaniline seade, mida käivitatakse, kui teatud objekt rakendab sellele füüsilist jõudu. Lüliti koosneb hoovast, mis on ühendatud mitmete elektriliste kontaktidega. Kui objekt liigub hoova vastu, siis lüliti sees olevad elektrilised kontaktid sulgevad või avanevad, oleneb mis lülituskonfiguratsiooniga tegemist on. Kontaktid on saadaval kahes lülituskonfiguratsioonis *NO* ehk tavaolekus avatud vooluahela korral ning *NC* ehk tavaolekus suletud vooluahela korral. Joonisel 15 on toodud lõpplüliti elektriskeem. [28]

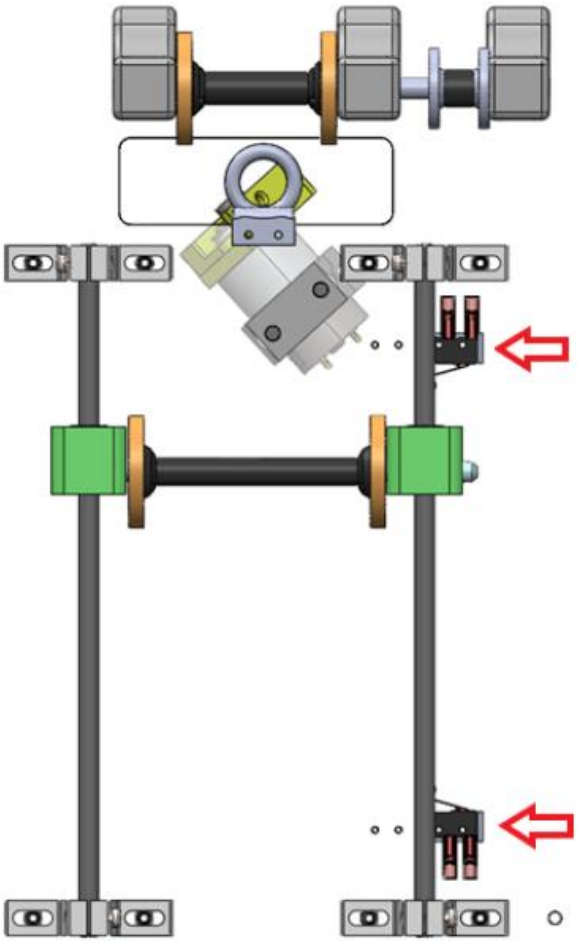


Joonis 15. Lõpplüliti elektriskeem [29].

Alalisvoolumootori käivitamiseks kui ka peatamiseks kasutatakse töös kahte *SPDT - Single Pole Double Throw* lõpplülitit, mis on toodud joonisel 16. Et mootori võll pöörlema üldse hakkaks ning filamenti edasi annaks, peab liugur käivitama ülemist tavaolekus avatud lüliti kangi. Võlli pöörlemise seiskamiseks peab liugur liikuma alumise lüliti kangi vastu.

Joonis 16. *Single Pole Double Throw* lõpplüliti [30].

Antud lõpplüliti on väga kompaktne, selle korpuse mõõtmed on 19.8 mm x 15.8 mm x 10.3 mm. Väikese mõõdu tõttu mahuvad need liuguri taha, seda on näidatud joonisel 17.



Joonis 17. Ülemine ning alumine lüliti, mille asukohad on punase noolega näidatud.

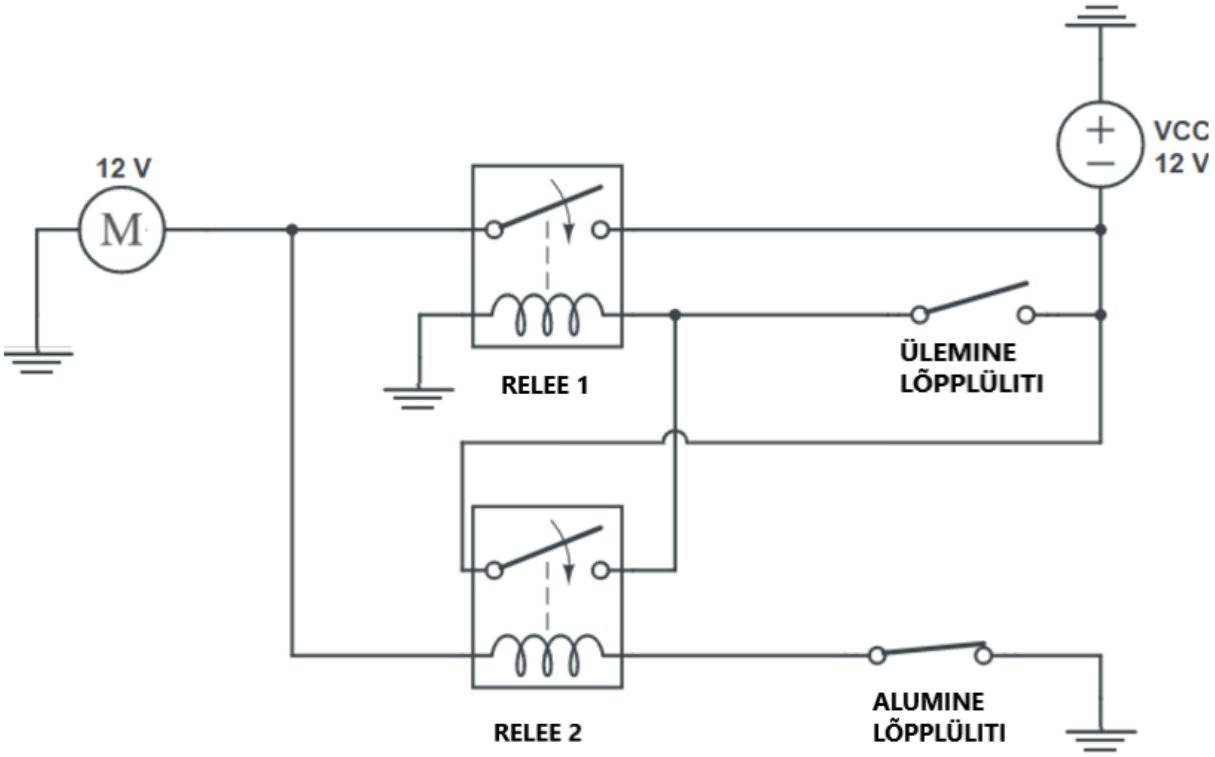
Lõpplülitid piiravad samuti kelgu liikumise, jättes sellele 200 mm lineaarset liikumisruumi. Lisaks on lülitile 3D prinditud korpus, mille sees see paikneb. Välja prinditud korpus toob lüliti 5 mm ette poole, mis tagab selle, et kelk suudaks lüliti hoobale vastu minna. Korpuse joonis koos mõõtmetega on toodud välja lisas A.

6.4.1. Elektriskeem

Kooskõlas kahe lülitiga, kasutatakse projekti raames samuti kahte Tyco *SPDT* releet. Relee toimib toitepingel 12V ning voolutugevusega 20 A. Mõlemad releed on tavaolekus avatud. Projekti raames on releed rakendatud samuti lülitina, kuid võrreldes lõpplülitiga on releed elektriga juhitavad. Kui lõpplüliti juhul tuleb kontaktide sulgemiseks füüsiliselt liigutada mehaanilist kangi, siis releel puhul peab releemähist pingestama, et kontaktid sulgeks.

Käesoleva töö raames kasutatakse releed kui lisa lülitina, mis hoiab vooluringi aktiivsena. Kui lineaarjuhikul olev kelk liigub vastu ülemist lõpplülitid, siis jääb mootori võll pöörlema isegi kui kelk laseb lõpplüliti kontakti vabaks. Mootori võll seiskub alles siis kui aktiveerib alumist *NC* lõpplülitid. See katkestab tekkinud vooluringi.

Joonisel 18 on toodud välja etteandemehhanismi elektriskeem, koos kahe lülitiga, kahe releega, mootori ning toideallikaga.



Joonis 18. Etteandemehhanismi elektriskeem.

Relee jaoks on samuti konstrueeritud karp, mille sees see asub, karbi pealmine ava on lahtine, sest sealt on juhtmed ühendatud relee viikudega. Etteandemehhanismis on toite juhe punast värvi ning maandus juhtmed sinist värvi.

7. TULEMUS

7.1. Etteandemehhanism

Töö tulemuseks valmistati lisa etteandemehhanism, mis aidaks kaasa olemasoleva Creality CR-10 5s printeri printimisele. Selleks uuris autor olemasolevaid lahendusi ning tegi järeldusi, kuidas parendada printeri printimise kvaliteeti. Probleemi parendamiseks 3D prinditi detaile, et konstrueerida etteandemehhanism. Valmistatud etteandemehhanism on toodud joonisel 19.

Joonis 19. Konstrueeritud etteandemehhanism. Kõik 3D prinditud detailid on lillat värvi.

Konstruktsiooni käigus tuli lisaks juhtmetele rüü ümber panna, mis hoiab neid koos, et printimise käigus ei jääks mehhanismile vahele. Leida relee karbile kui ka pingemuunduri karbile parim asukoht, et ei jääks 3D printerile ette, kuid samas oleksid kättesaadavad.

Kõik etteandemehhanismi mudelid on projekteeritud modelleerimistarkvaraga Solidworks ning prinditud kasutades tarkvara Simplify3D. Projekteeritud etteandemehhanismi joonised on toodud lisas A.

7.2. Katsekehade analüüs

Prinditud katsekehade analüüsimise käigus selgus, et lisa etteandemehhanism on parendanud printimiskvaliteeti, kuid mitte konstantselt. Joonisel 20 ja 21 on prinditud katsekehad, joonisel 20 on katsekeha printimise käigus kasutatud lisa etteandemehhanismi, joonisel 21 ei ole kasutatud lisaseadet. Antud jooniste puhul on võimalik märgata erisust kahe katsekeha vahel, kuid selline olukord on pigem erand. Autor on printinud Creality CR-10 printeriga ka muid detaile, kasutades lisaseadet, kuid kvaliteet ei ole olnud sama hea kui joonisel 20 näidatud.

Joonis 20. Prinditud katsekeha kasutades lisaseadet.

Joonis 21. Prinditud katsekeha ilma lisaseadmega.

Antud etteandemehhanismi praegust lahendust ei tohi lugeda valmis tooteks, vaid prototüübiks, sest detaile printides kvaliteet veel kõigub. Printimiskvaliteedi parenduse analüüsimiseks tuleb teha rohkem katseid, printides erineva kuju ja suurusega detaile. Rohkemate katsetamise käigus selgub lisaseadme probleemseid alasi.

7.3. Etteandmismehhanismi edasiarendus

Filamendi etteandemehhanismi võimalik edasiarendus:

1. Kelgul teha lineaarliugelaagri pesad kitsama istuga.
2. Kelku peab projekteerima raskemaks, hetkel see iseseisvalt ei vajuta alumise lülita hooba alla.
3. Lisada 3D printeri ekstruuderi kohale *PTFE*-toru, mis suunaks filamenti paremini printeri etteandemehhanismi.
4. Projekteerida ümber lisa etteandemehhanism, mis lubaks läbi lasta ka suurema läbimõõduga filamenti. Hetkel on ainult võimalik printida 1,75 mm filamendiga.
5. Luua etteandemehhanismi kasutusjuhend.
6. Muuta elektriskeem, mis laseb mootori võllil pöörelda natuke edasi kui alumine lõpp lüliti on aktiveeritud. Tulemusena tagaks see rohkem filamenti 3D printerile, mis tõttu peab printeri mootor vähem tööd tegema.

7. Ümber projekteerida relee karp. Konstrueerida relee karp selliselt, et kogu elektroonika oleks kinnises ruumis.
8. Toiteploki jaoks teha eraldi karp.
9. Leida juhtmete jaoks parem asukoht, näiteks tuua need 3D printeri kere seina vastu.
10. Lisada etteandemehhanismile efektiivsemad rattad, millel oleks tugevam haare.
11. Projekteerida koostu selliselt, et kasutatakse mehhanismis sama suuruses polte ja mutreid.

Konstrueeritud etteandemehhanismi on autoril võimalik parendada magistriõppes.

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli 3D printeri Creality CR-10 5s printimiskvaliteedi parendamine. Antud printeri suure mõõtude tõttu tekivad printimise käigus prindipeas vibratsioonid, mis ei lase korralikult detaile printida, lõpp tulemuseks on detaili halb kvaliteet.

Prindi kvaliteedi parendamiseks valmistati lisa filamendi etteandemehhanism 3D printeri kere seina külge. Lisaks kõik detailid, millega projekti valmistatakse tehti samuti 3D prinditud, sest kui mingi prinditud detail purunes, oli võimalik kohe uus printida.

Kõik projekti jaoks olevad koostud ning detailid said modelleeritud tarkvaras Solidworks (2019 Student edition). Eesmärgiks oli enamus detailid modelleerida selliselt, mis võimaldaks neid 3D printida. 3D prinditud detaile on lihtne ning kiiresti võimalik toota, mis on ideaalne prototüübi jaoks. 3D printimiseks oli kasutusel viilutamistarkvara Simplify3D.

Kui etteandemehhanism valmis sai, siis tööle rakendamise käigus selgus lisa probleeme. Esiteks lineaarjuhikul olev kelk on liiga kerge ning ei suutnud alumist lüliti hoobi alla vajutada. Lisaks olid mõned prinditud detailid liiga õrnad ning läksid katki väikese pingega.

Antud etteandemehhanism ei ole valmis toode. Selle edasiarendamiseks on võimalik lisaseade projekteerida paremini, kasutades polte ja mutreid, mille mõõdud oleks samad. Teha kelgul liuglaagripesad väiksema kitsamaks. Lisada liugurile raskust juurde, et suudaks lülitid alla vajutada. Lisada etteandemehhanismile efektiivsemad rattad, millel oleks tugevam haare

KASUTATUD KIRJANDUS

[1] **Cummins K.** (2010). The rise of additive manufacturing. [e-ajakiri] https://www.theengineer.co.uk/the-rise-of-additive-manufacturing/ (12.05.2022).

[2] 3Dkoda. 3D printimine [veebileht]. https://3dkoda.com/3d-printimine/ (12.05.2022).

[3] **Haines J.** (2022). History of 3D Printing: When Was 3D Printing Invented? [e-ajakiri] https://all3dp.com/2/history-of-3d-printing-when-was-3d-printing-invented/ (12.05.2022).

[4] **Stone W.** (2021). The Main Differences Between FFF and FDM Explained. [e-ajakiri] https://www.3dprintingspot.com/post/the-main-differences-between-fff-and-fdm-explained (12.05.2022).

[5] **Weiner H.** (2020). Fused Filament Fabrication – Simply Explained. [e-ajakiri] https://all3dp.com/2/fused-filament-fabrication-fff-3d-printing-simply-explained/ (12.05.2022).

[6] Metshein**.** 3D printimine – printimise materjalid. [veebileht] https://www.metshein.com/unit/3d-printimine-printimise-materjalid/?id=5466 (12.05.2022).

[7] Simplify3d**.** PLA. [veebileht] https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/pla/ (12.05.2022).

[8] **Pranav G.** (2022). The Best Filament for Ender 3 (V2/Pro) – Filament Guide. [e-ajakiri] https://all3dp.com/2/ender-3-filament-guide-materials-you-can-3d-print (12.05.2022).

[9] **Gehrke F.** (2020). Creality CR-10 S5 Review: Hands On. [e-ajakiri] https://all3dp.com/1/creality-cr-10-s5-review-3d-printer-specs/ (12.05.2022).

[10] **Locker A.** (2020). Creality Ender 3 V2 Review: Best 3D Printer Under $300. [e-ajakiri] https://all3dp.com/1/creality-ender-3-v2-review-3d-printer-specs/ (12.05.2022).

[11] Ultimaker**.** Ultimaker 2+. [veebileht] https://ultimaker.com/3d-printers/ultimaker-2-plus-connect (12.05.2022).

[12] Ultimaker**.** Ultimaker 3. [veebileht] https://sourcegraphics.com/3d/printers/ultimaker/ultimaker-3/ (12.05.2022).

[13] Proto3000**.** uPrint SE Plus Desktop 3D Printer. [veebileht] https://proto3000.com/product/uprintse/ (12.05.2022).

[14] **Nienhaus V., Spiehl D., Dörsam E.** (2021). Investigations on Roller-Based Filament Drives. [veebileht] https://www.mdpi.com/2504-4494/5/2/53/htm (02.05.2022).

[15] **Shah J., Snider B., Clarke T., Kozutsky S., Lacki M., Hosseini A.** (2019). Large-scale 3D printers for additive manufacturing: design considerations and challenges. [veebileht] https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-019-04074-6 (02.05.2022).

[16] Bitfab. (2022). The densities of all 3D printing materials. [veebileht] https://bitfab.io/blog/3d-printing-materials-densities/ (02.05.2022).

[17] **iDig3Dprinting**. (2016). XYZ 20mm Calibration Cube. [veebileht] https://www.thingiverse.com/thing:1278865 (03.05.2022).

[18] Solidworks. INTRODUCING SOLIDWORKS. [veebileht] https://my.solidworks.com/solidworks/guide/SOLIDWORKS_Introduction_EN.pdf (03.05.2022).

[19] Fabheads. What is the role of Slicing in 3D printing? [veebileht] https://fabheads.com/blogs/what-is-the-role-of-slicing-in-3d-printing/ (03.05.2022).

[20] Isetegija. Lineaarkuullaager LM8UU. [veebileht] http://isetegija.ee/toode/lineaar-kuullaager-lm8uu/ (23.05.2022).

[21] **Lavaa A.** (2021). A complete Guide to The Difference Between Stepper Motor and DC Motor. [e-ajakiri] https://www.linquip.com/blog/difference-between-stepper-motor-and-dc-motor/ (19.05.2022).

[22] Nanotec. STEPPER MOTOR – NEMA 17. [veebileht] https://en.nanotec.com/products/366-st4118l0804-a (19.05.2022).

[23] Pololu. Metal Gearmotor. [veebileht] https://www.pololu.com/product/4741 (19.05.2022).

[24] Mrosupply. Advantages and Disadvantages of Helical Gears. [veebileht] https://www.mrosupply.com/popular_products/advantages-and-disadvantages-of-helical-gears/ (19.05.2022).

[25] Electrical4u. Motor Power Calculation Calculator & DC, 1 Phase & 3 Phase Power Fromula. [veebileht] https://www.electrical4u.net/calculator/motor-power-calculation-calculator-dc-1-phase-3-phase-power-fromula/ (19.05.2022).

[26] Newegg. AC/DC Adapter. [veebileht] https://www.newegg.com/dell-aa65nm121-da65nm111-00-fa065ls1-01-ha65ns5-00-la65ns2-01-lithium-ion-ac-adapter-with-power-cord/p/16J-001J-03XF8 (19.05.2022).

[27] Components101. XL4015 DC-DC Step Down Module. [veebileht] https://components101.com/modules/xl4015-dc-dc-converter-module (20.05.2022).

[28] **Edwards E.** (2019). Limit Switch Characteristics. [e-ajakiri] https://www.thomasnet.com/articles/instruments-controls/limit-switches (23.05.2022).

[29] **Mortenson T.** (2020). Limit Switch Explained - Working Principles. [e-ajakiri] https://realpars.com/limit-switch/ (23.05.2022).

[30] Isetegija. Piirlüliti. [veebileht] http://isetegija.ee/toode/piirluliti/ (23.05.2022).

LISAD

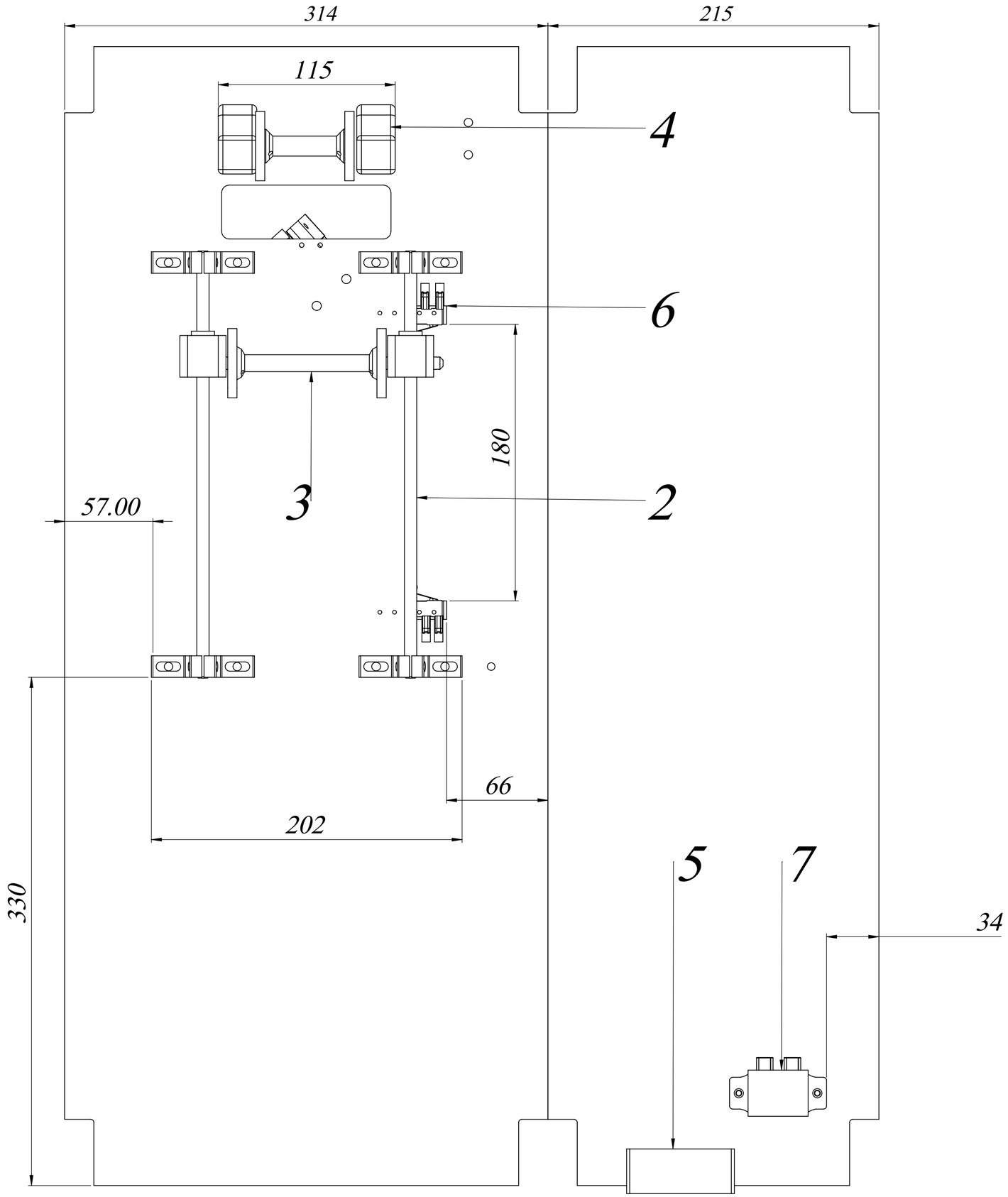
LISA A. Etteandemehhanismi detaili-ja koostejoonised

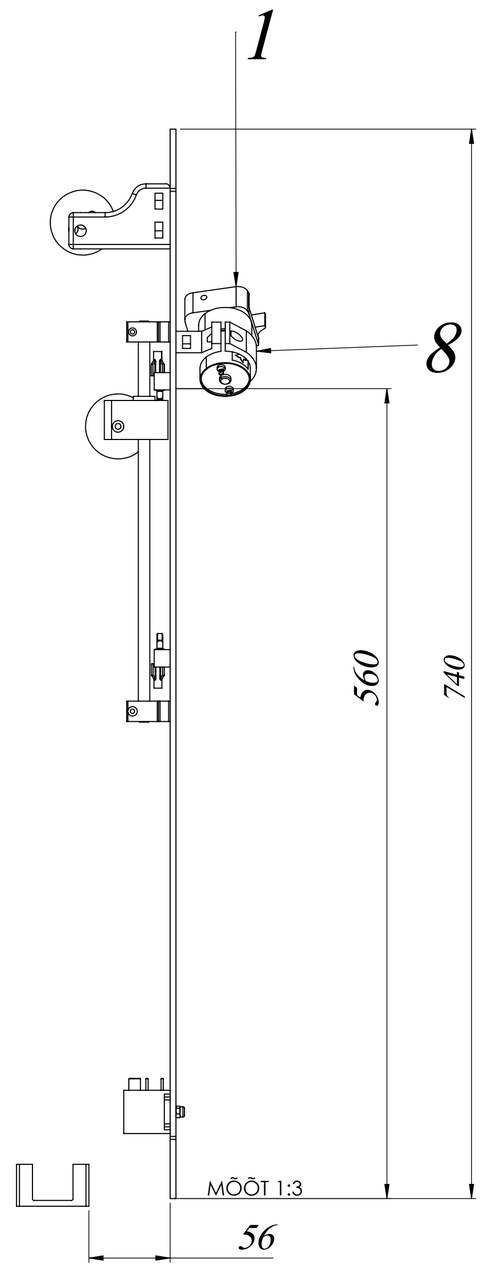
8		Mootori kinnitus klamber, PLA	TN 22/180466 A 00 04 D	1	
7		Relee karp, PLA	TN 22/180466 A 00 03 D	1	
6		Lüliti kinnitus korpus, PLA	TN 22/180466 A 00 02 D	2	
5		Pingemuunduri karp	TN 22/180466 A 05 01 K	1	
4		Pingutusrull	TN 22/180466 A 04 01 K	1	
3		Liuguri kelk	TN 22/180466 A 03 01 K	1	
2		Liugur	TN 22/180466 A 02 01 K	2	
1		Filamendi etteandemehhanism	TN 22/180466 A 01 01 K	1	
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus

	Materjal:	Näitamta piirhälbed:	Mass: 6,5 kg	Mõõt: 1:1

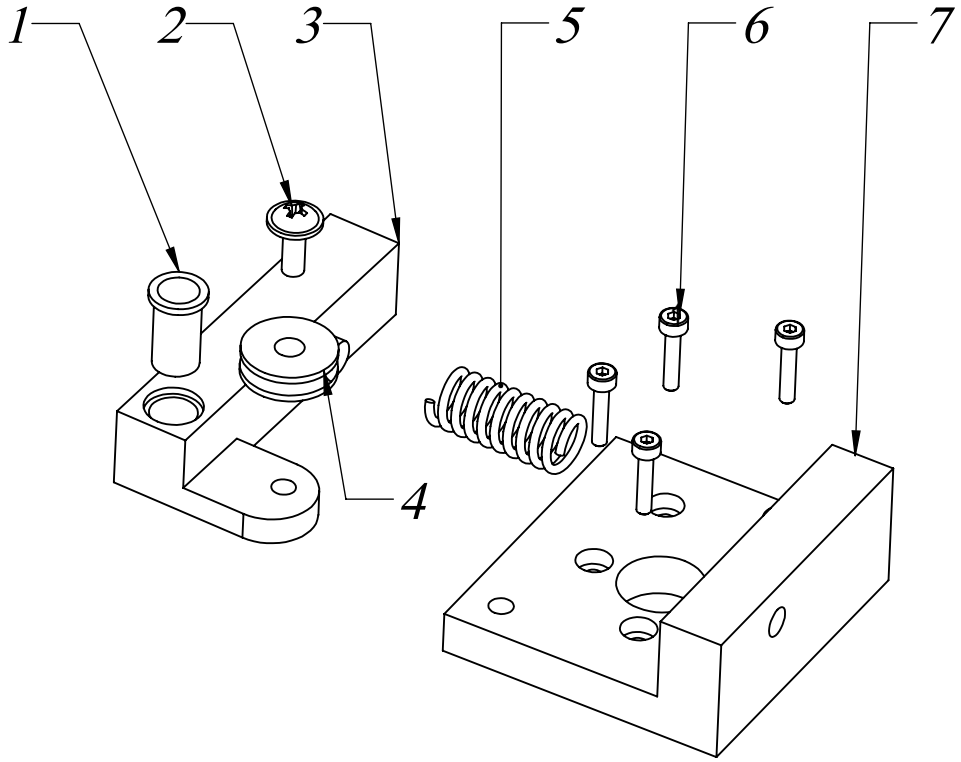
Teostas	Kevin Maasing	Nimetus:
Kontrollis	Kaarel Soots	Filamendi etteandmismehhanism koost
Kinnitas	Kaarel Soots	

Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Metsanduse ja inseneeria instituut Institute of Forestry and Engineering www.emu.ee	Leht: 1/2	Tähis: TN 22/180466 A 00 01 K





	Materjal:	Näitamata piirhälbed:	Mass: 6,5 kg	Mõõt: 1:2
Teostas	Kevin Maasing	Nimetus:		
Kontrollis	Kaarel Soots	Filamendi etteandmismehhanism koost		
Kinnitas	Kaarel Soots			
Eesti Maaülikool, Estonian University of Life Sciences, Metsanduse ja inseneeria instituut, Institute of Forestry and Engineering		Leht: 2 / 2	Tähis: TN 22/180466 A 00 01 K	



Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
7		Etteandemehhanismi alus, PLA	TN 22/180466 A 01 01 D	1	
6		Polt, ISO 4762 - M2 x 10 - 10		4	
5		Survevedru		1	
4		Ratas		1	
3		Pingutus mehhanism, PLA	TN 22/180466 A 01 02 D	1	
2		Polt, DIN 967 - M3 x 8		1	
1		Hülss		1	

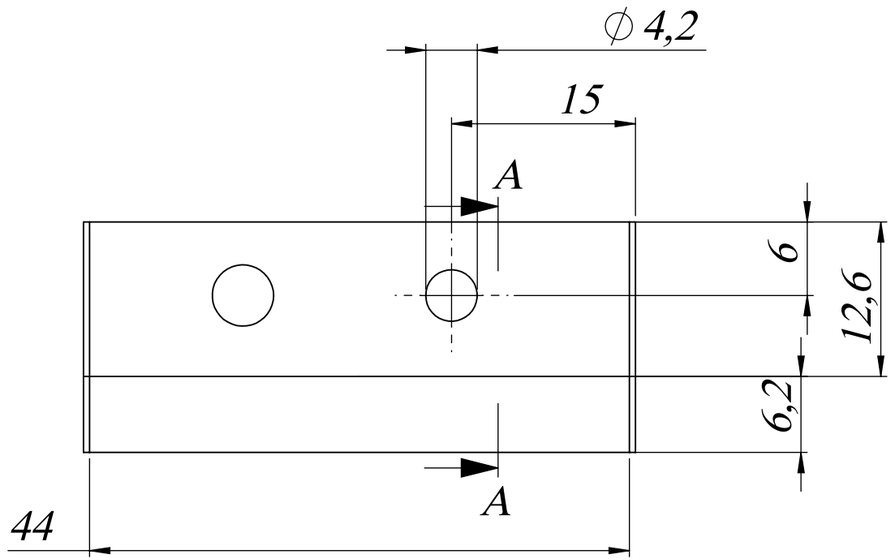
Materjal:	Näitamta piirhälbed:	Mass: 20 g	Mõõt: 1:1

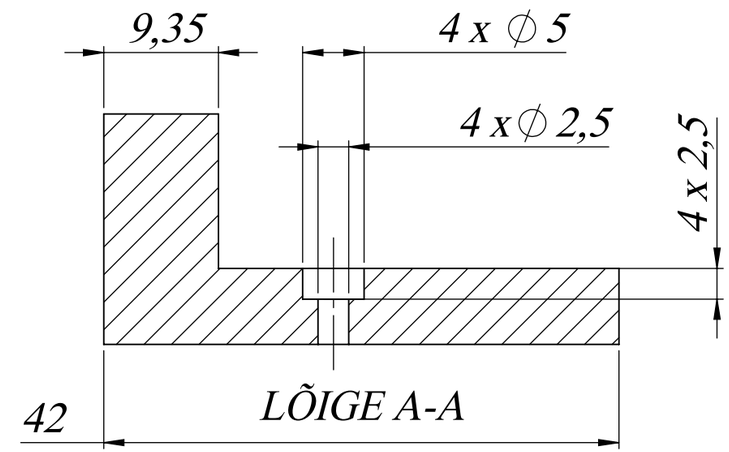
Teostas	Kevin Maasing	Nimetus:
Kontrollis	Kaarel Soots	Filamendi etteandemehhanism
Kinnitas	Kaarel Soots	

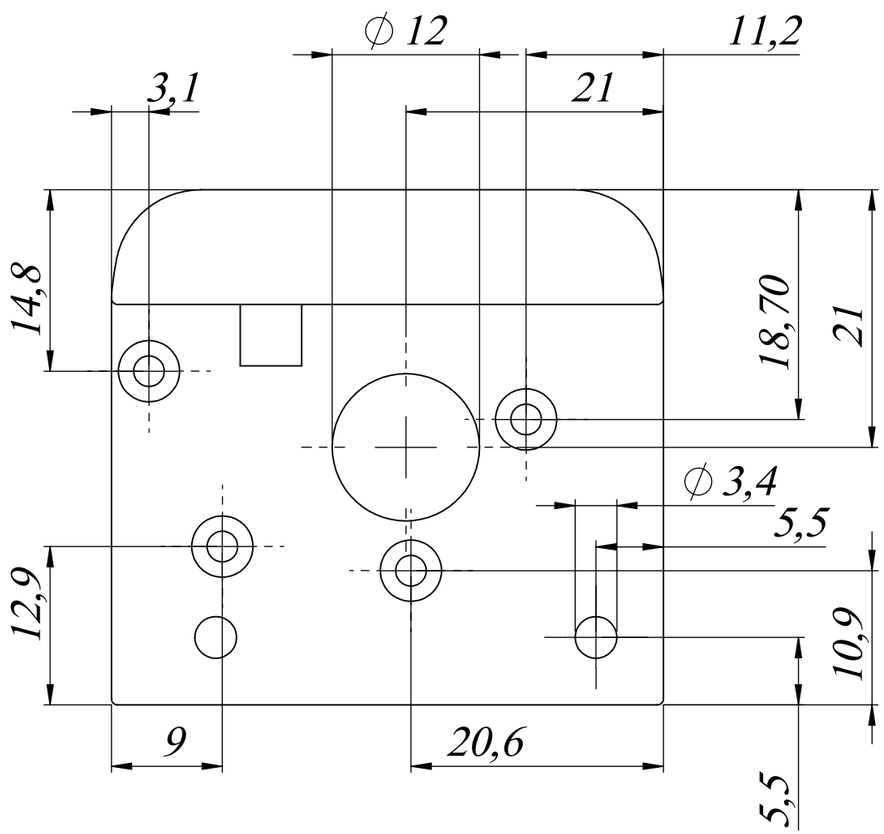
www.emu.ee
Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences
Metsanduse ja inseneeria instituut
Institute of Forestry and Engineering

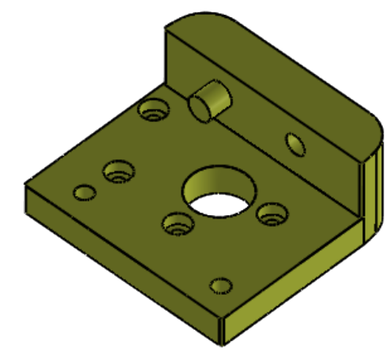
Leht: 1/1

Tähis: TN 22/180466 A 01 01 K





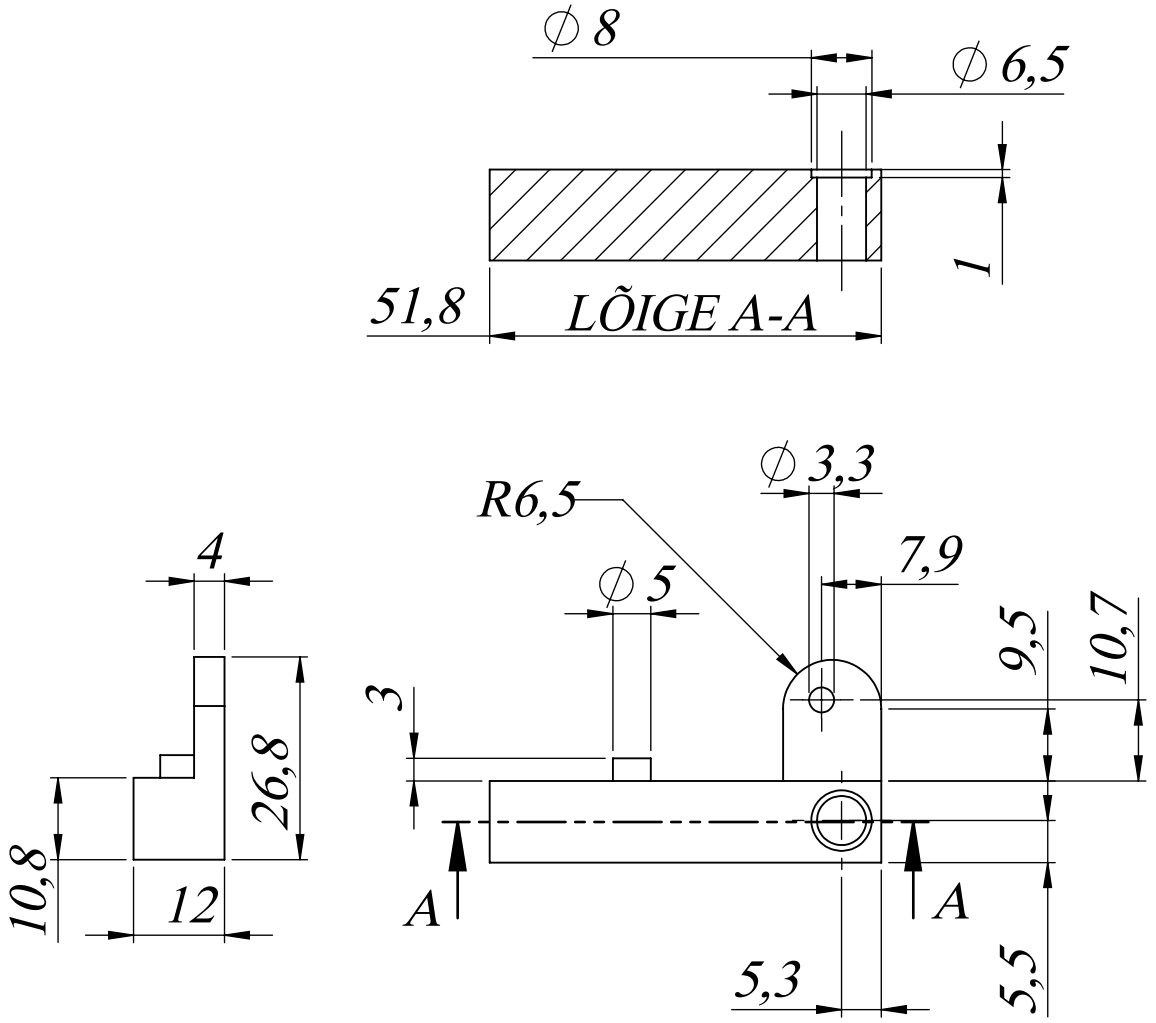


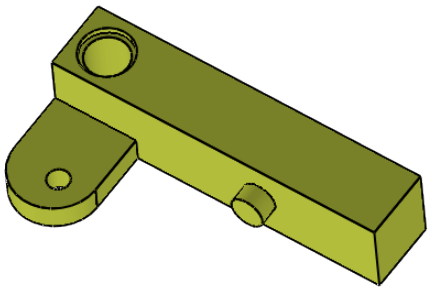


MÕÕT 1:1

Valmistamistehnoloogia: 3D printimine FDM/FFF tehnoloogiaga - pinnakaredus vastavalt 3D printerile

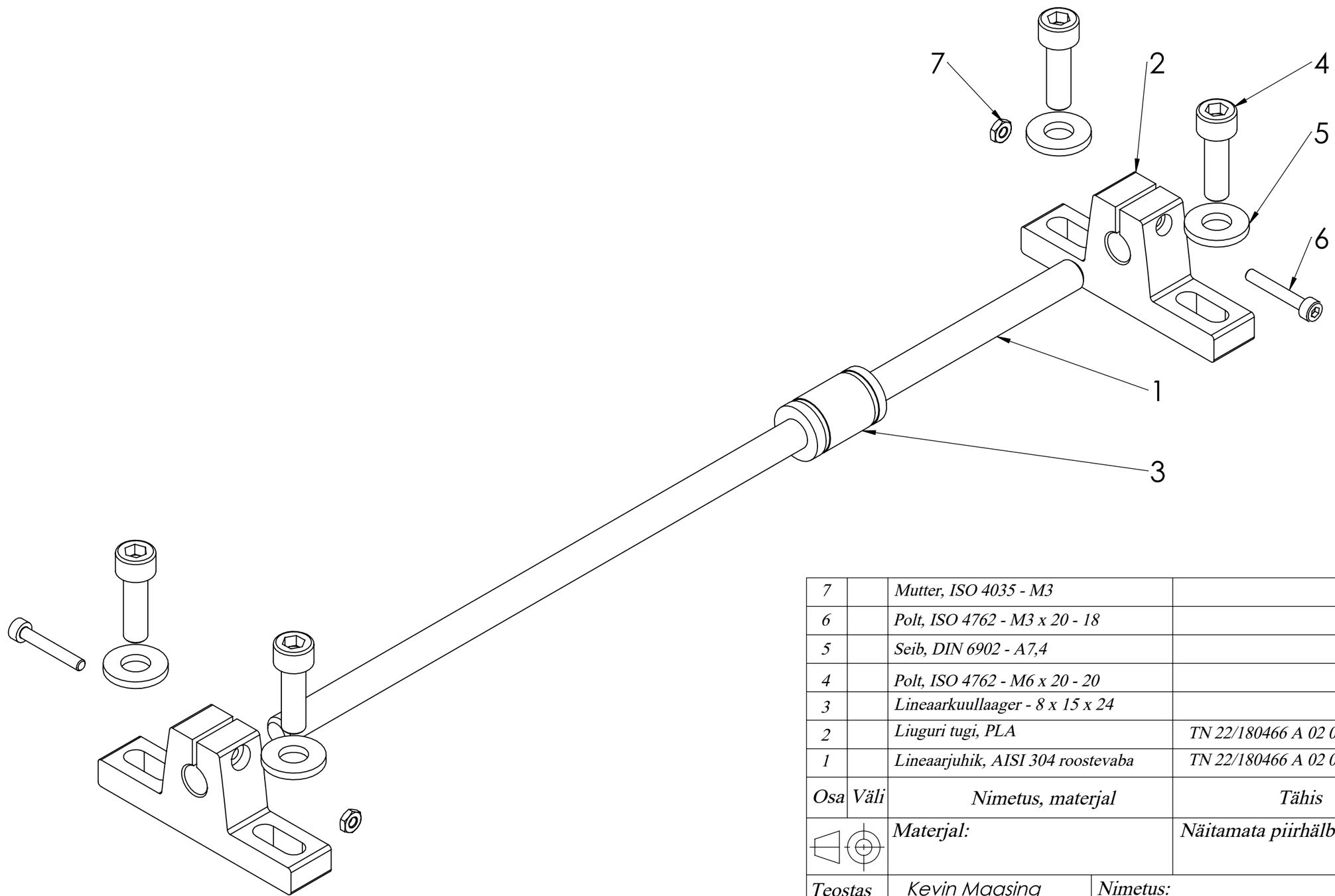
	Materjal: PLA	Näitamata piirhälbed: ISO 2768 mK	Mass: 3	Mõõt: 2:1
Teostas	Kevin Maasing	Nimetus: Etteandmemehhanismi alus		
Kontrollis	Kaarel Soots			
Kinnitas	Kaarel Soots			
Eesti Maaülikool, Estonian University of Life Sciences, Metsanduse ja inseneeria instituut, Institute of Forestry and Engineering		Leht: 1/1	Tähis: TN 22/180466 A 01 01 D	





Valmistamistehnoloogia: 3D printimine FDM/FFF tehnoloogiaga - pinnakaredus vastavalt 3D printerile

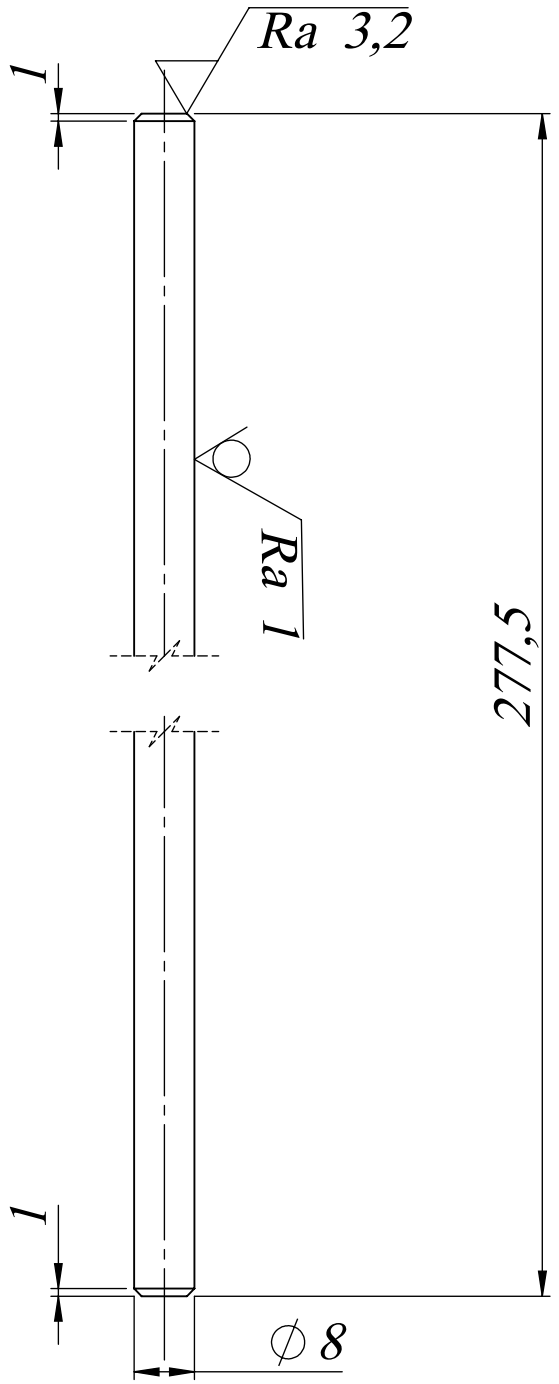
Materjal: PLA		Näitamta piirhälbed: ISO 2768 mK	Mass: 2 g	Mõõt: 1:1
Teostas	Kevin Maasing	Nimetus: Etteandemehhanismi pinguti		
Kontrollis	Kaarel Soots			
Kinnitas	Kaarel Soots			
Eesti Maaülikool, Estonian University of Life Sciences, Metsanduse ja inseneeria instituut, Institute of Forestry and Engineering		Leht: 1/1	Tähis: TN 22/180466 A 01 02 D	



7		Mutter, ISO 4035 - M3		2	
6		Polt, ISO 4762 - M3 x 20 - 18		2	
5		Seib, DIN 6902 - A7,4		4	
4		Polt, ISO 4762 - M6 x 20 - 20		4	
3		Lineaarkuullaager - 8 x 15 x 24		1	
2		Liuguri tugi, PLA	TN 22/180466 A 02 02 D	1	
1		Lineaarjuhik, AISI 304 roostevaba	TN 22/180466 A 02 01 D	1	
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus

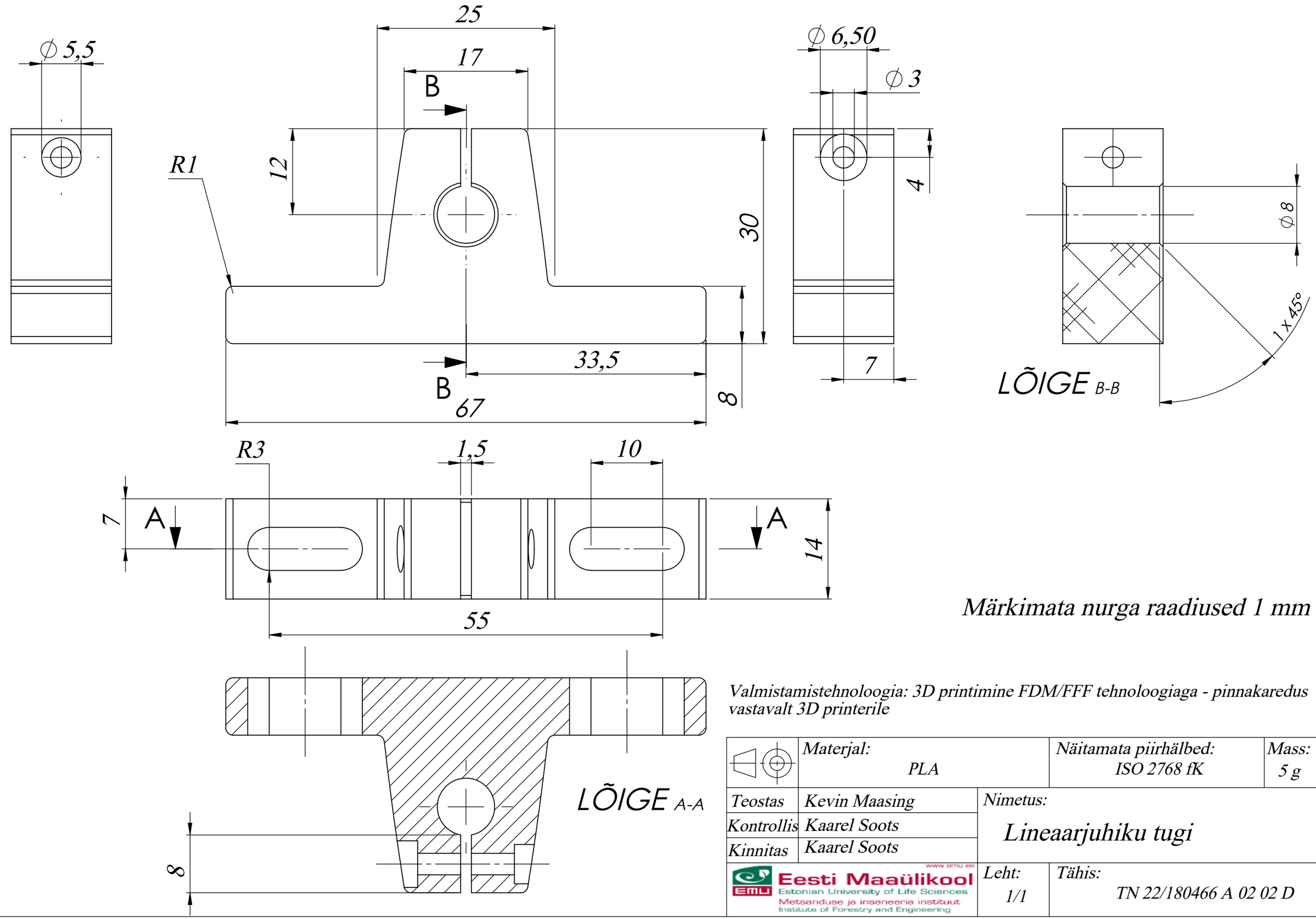
Materjal:	Näitamata piirhälbed:	Mass: 2 kg	Mõõt: 1:1

Teostas	Kevin Maasing	Nimetus:	
Kontrollis	Kaarel Soots	Liugur	
Kinnitas	Kaarel Soots		
Eesti Maaülikool, Estonian University of Life Sciences, Metsanduse ja inseneeria instituut, Institute of Forestry and Engineering		Leht: 1/1	Tähis: TN 22/180466 A 02 01 K



Märkimata faasid on 45°

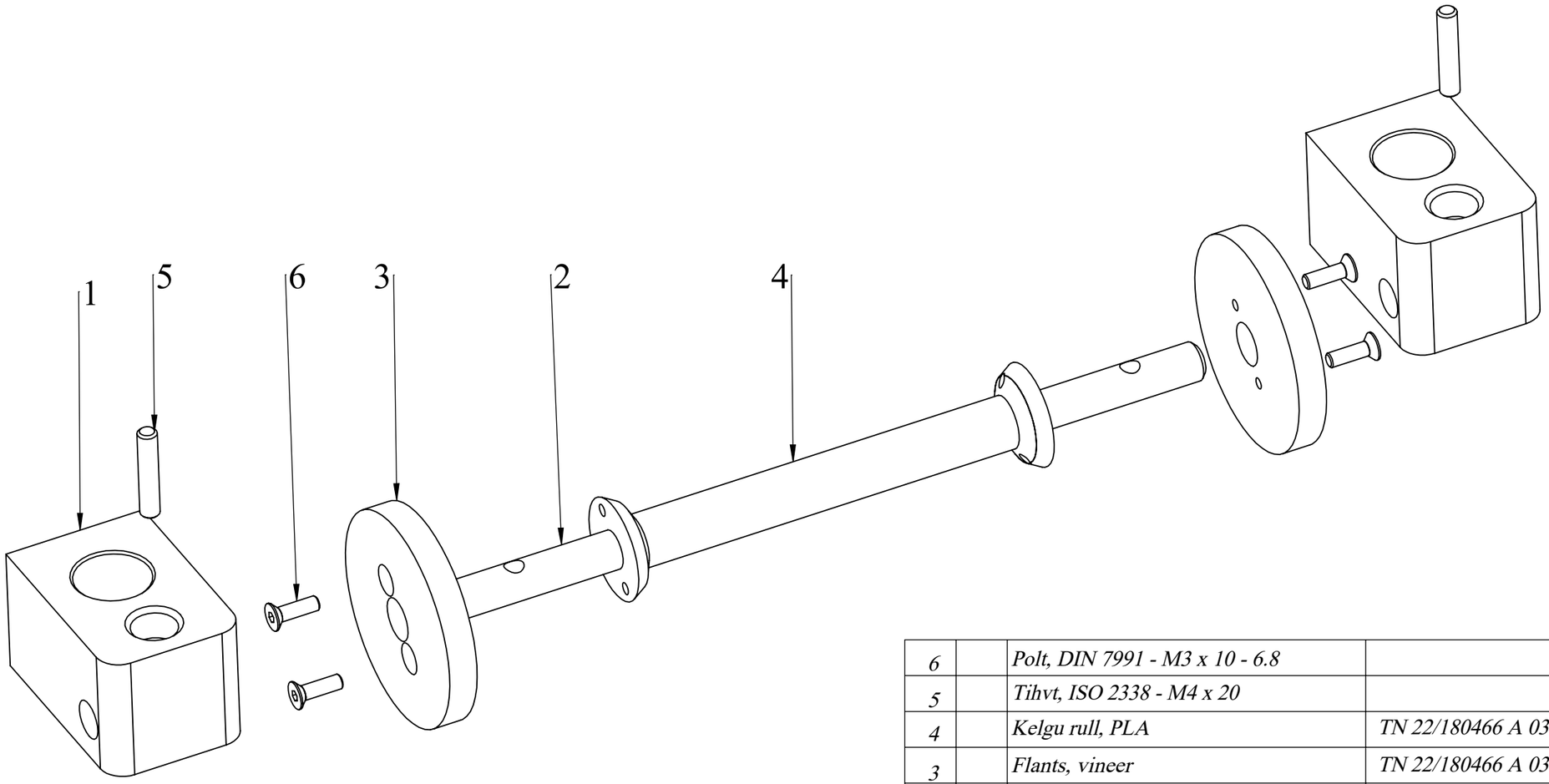
	Materjal: Roostevaba teras AISI 304	Näitamta piirhälbed: ISO 2768 mK	Mass: 350 g	Mõõt: 1:1
Teostas	Kevin Maasing	Nimetus: Lineaarjuhik		
Kontrollis	Kaarel Soots			
Kinnitas	Kaarel Soots			
Eesti Maaülikool, Estonian University of Life Sciences, Metsanduse ja inseneeria instituut, Institute of Forestry and Engineering		Leht: 1/1	Tähis: TN 22/180466 A 02 01 D	



Märkimata nurga raadiused 1 mm

Valmistamistehnoloogia: 3D printimine FDM/FFF tehnoloogiaga - pinnakaredus vastavalt 3D printerile

	Materjal: PLA	Näitamata piirhälbed: ISO 2768 fK	Mass: 5 g	Mõõt: 2:1
Teostas	Kevin Maasing	Nimetus: Lineaarjuhiku tugi		
Kontrollis	Kaarel Soots			
Kinnitas	Kaarel Soots			
Eesti Maaülikool, Estonian University of Life Sciences, Metsanduse ja inseneeria instituut, Institute of Forestry and Engineering		Leht: 1/1	Tähis: TN 22/180466 A 02 02 D	



6		Polt, DIN 7991 - M3 x 10 - 6.8		4	
5		Tihvt, ISO 2338 - M4 x 20		2	
4		Kelgu rull, PLA	TN 22/180466 A 03 04 D	1	
3		Flants, vineer	TN 22/180466 A 03 03 D	2	
2		Kelgu telg, AISI 304 roostevaba	TN 22/180466 A 03 02 D	1	
1		Lineaarkuullaagri pesa, PLA	TN 22/180466 A 03 01 D	2	
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus

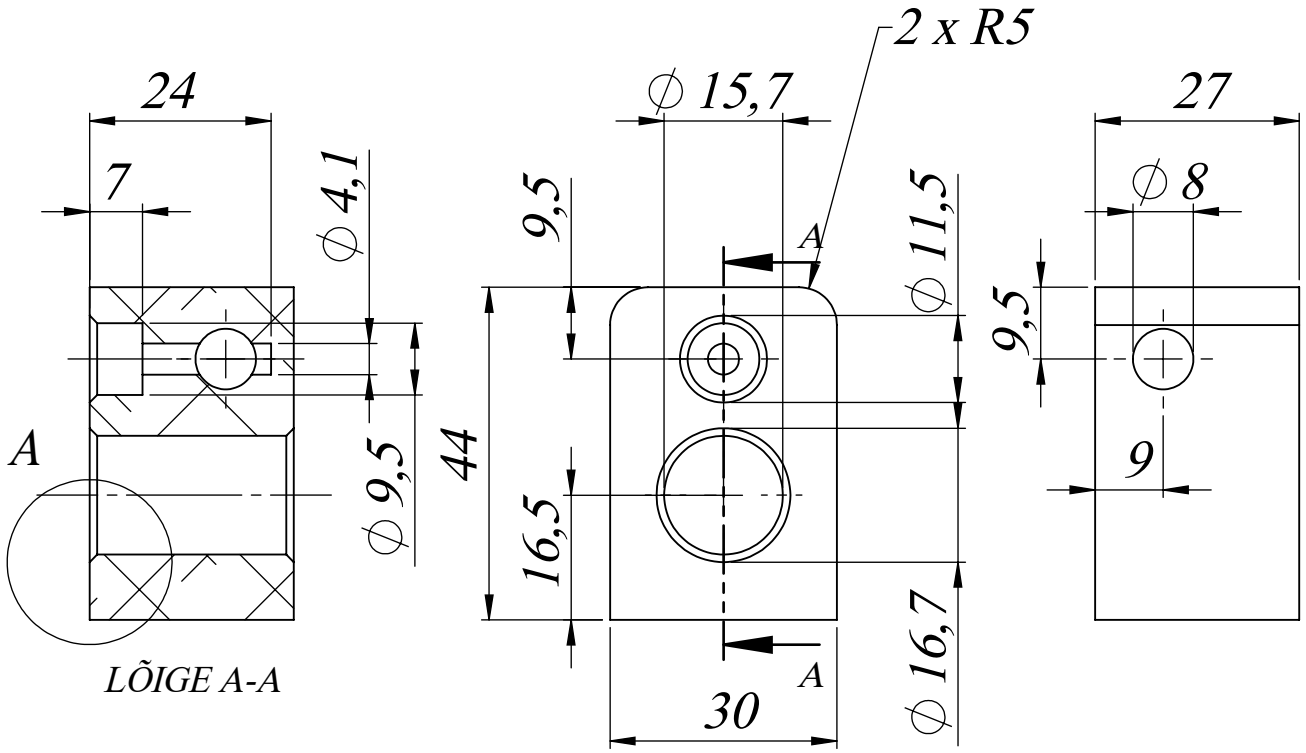
	Materjal:	Näitamata piirhälbed:	Mass: 1,5 kg	Mõõt: 1:1

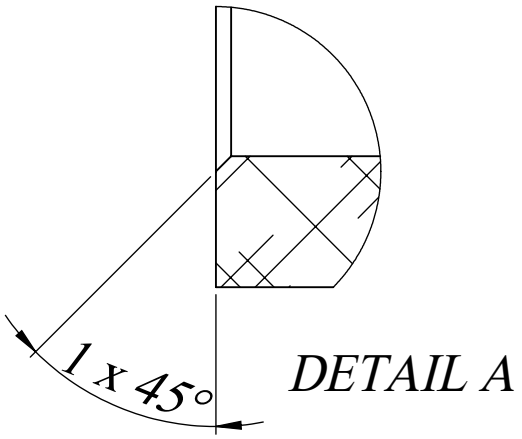
Teostas	Kevin Maasing	Nimetus:
Kontrollis	Kaarel Soots	Liuguri kelk
Kinnitas	Kaarel Soots	

Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences
Metsanduse ja inseneeria instituut
Institute of Forestry and Engineering
www.emu.ee

Leht: 1/1

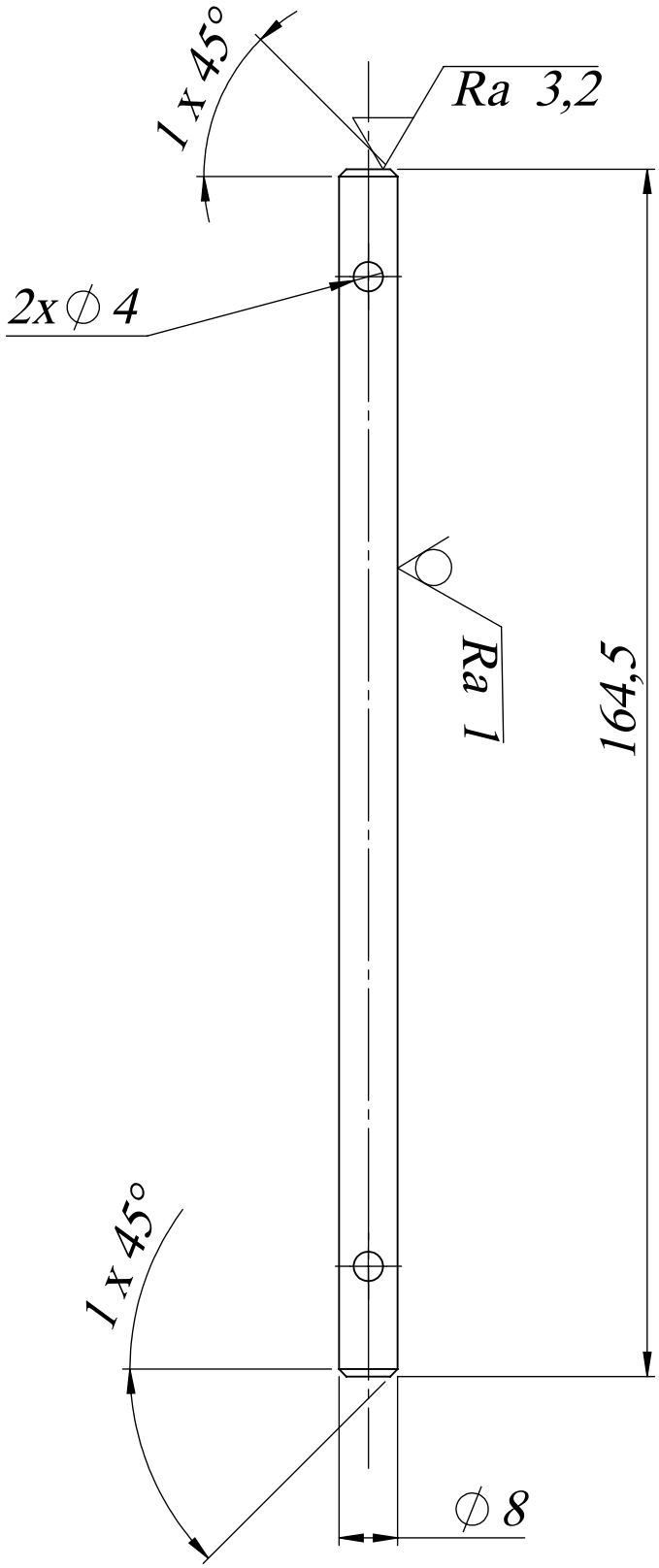
Tähis: TN 22/180466 A 03 01 K



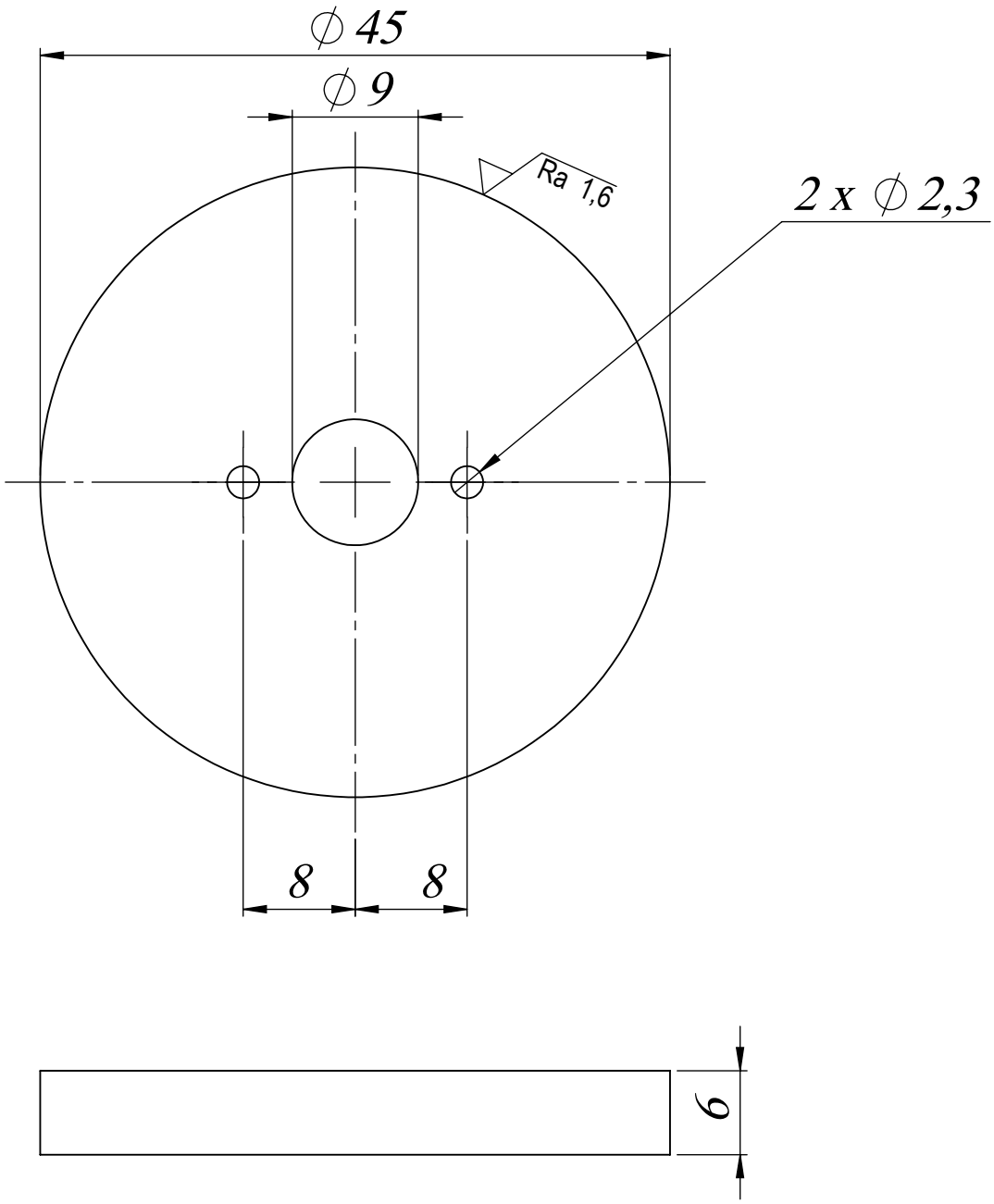


Valmistamistehnoloogia: 3D printimine FDM/FFF tehnoloogiaga - pinnakaredus vastavalt 3D printerile

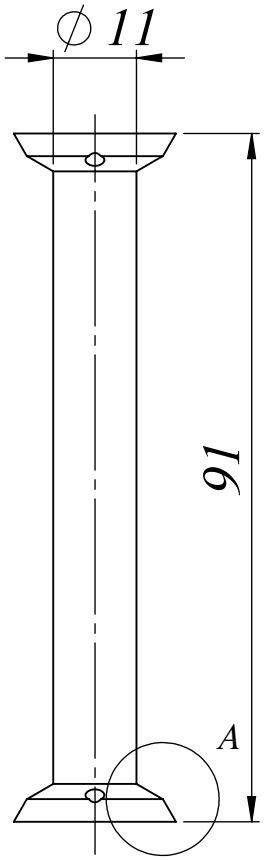
Materjal: PLA		Näitamta piirhälbed: ISO 2768 mK	Mass: 6 g	Mõõt: 1:1
Teostas	Kevin Maasing	Nimetus: Lineaarkuullaagri pesa		
Kontrollis	Kaarel Soots			
Kinnitas	Kaarel Soots			
Eesti Maaülikool, Estonian University of Life Sciences, Metsanduse ja inseneeria instituut, Institute of Forestry and Engineering		Leht: 1/1	Tähis: TN 22/180466 A 03 01 D	

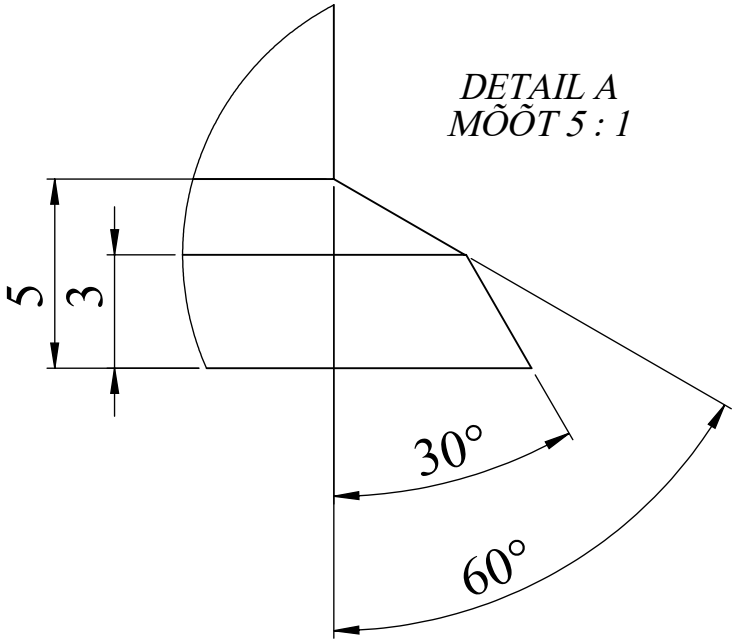


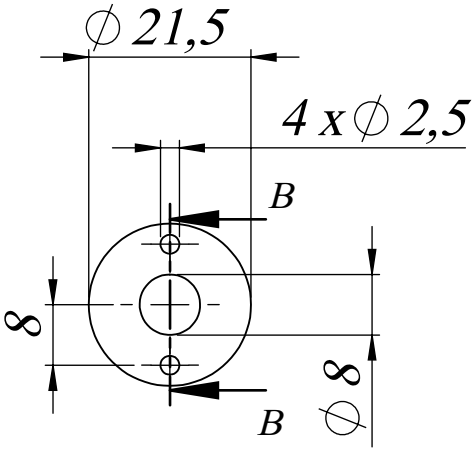
	Materjal: Roostevaba teras AISI 304	Näitamta piirhälbed: ISO 2768 mK	Mass: 200 g	Mõõt: 1:1
Teostas	Kevin Maasing	Nimetus: Kelgu telg		
Kontrollis	Kaarel Soots			
Kinnitas	Kaarel Soots			
Eesti Maaülikool, Estonian University of Life Sciences, Metsanduse ja inseneeria instituut, Institute of Forestry and Engineering		Leht: 1/1	Tähis: TN 22/180466 A 03 02 D	

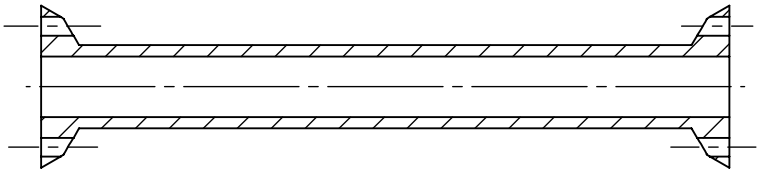


	Materjal: Vineer	Näitamta piirhälbed: ISO 2768 mK	Mass: 15 g	Mõõt: 1:1
Teostas	Kevin Maasing	Nimetus: Flants		
Kontrollis	Kaarel Soots			
Kinnitas	Kaarel Soots			
Eesti Maaülikool, EMU, Metsanduse ja inseneeria instituut		Leht: 1/1	Tähis: TN 22/180466 A 03 03 D	





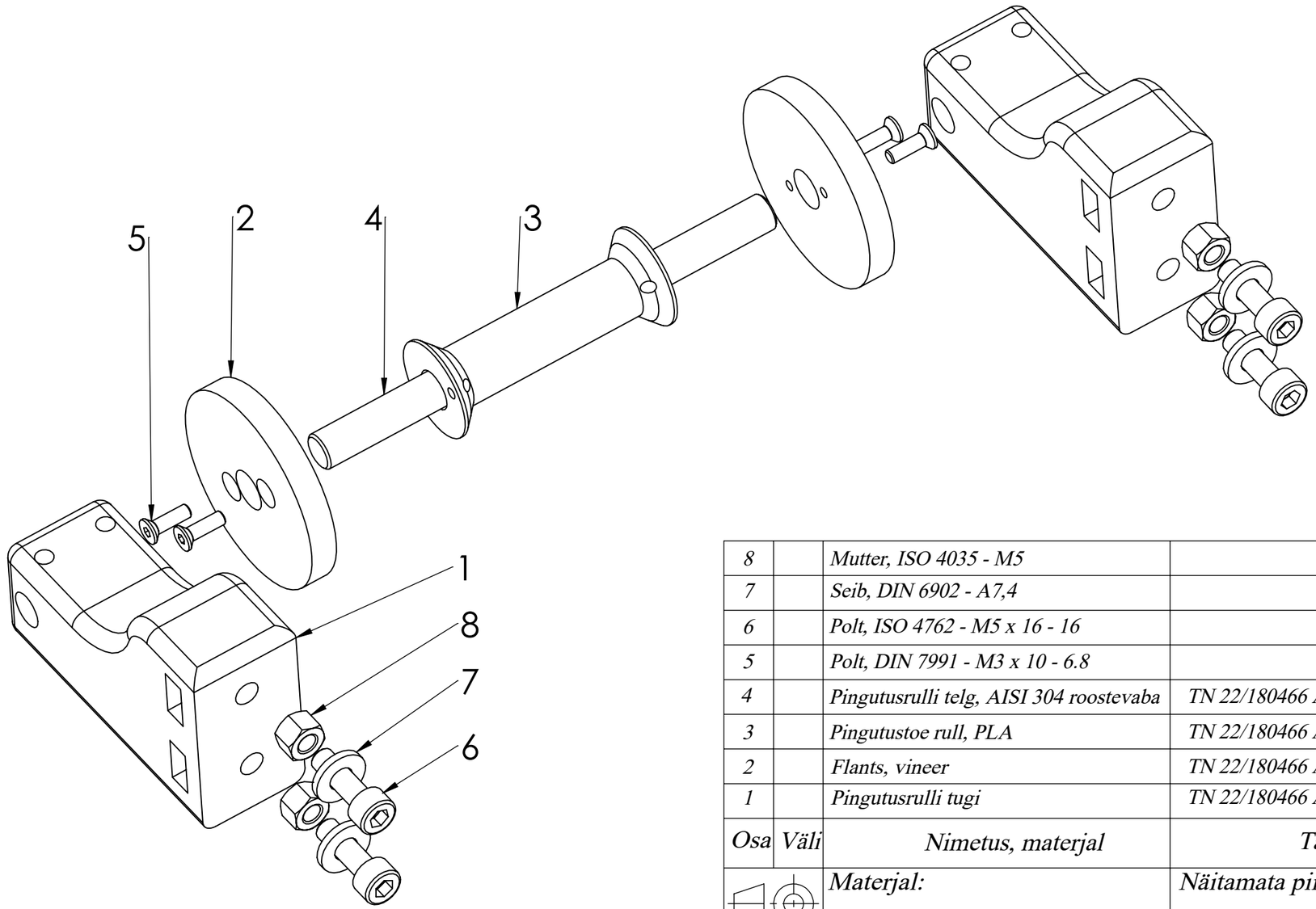




LÕIGE B-B

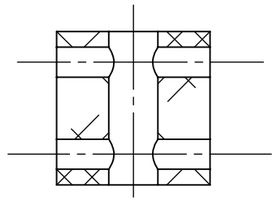
Valmistamistehnoloogia: 3D printimine FDM/FFF tehnoloogiaga - pinnakaredus vastavalt 3D printerile

Materjal: PLA		Näitamta piirhälbed: ISO 2768 mK	Mass: 3 g	Mõõt: 1:1
Teostas	Kevin Maasing	Nimetus: Kelgu rull		
Kontrollis	Kaarel Soots			
Kinnitas	Kaarel Soots			
Eesti Maaülikool, Estonian University of Life Sciences, Metsanduse ja inseneeria instituut, Institute of Forestry and Engineering		Leht: 1/1	Tähis: TN 22/180466 A 03 04 D	

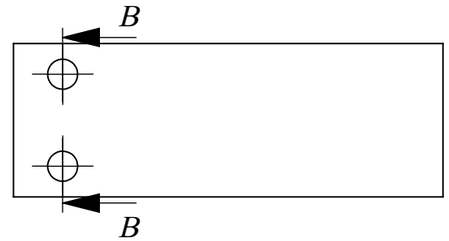


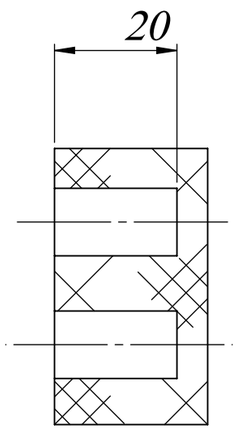
8		Mutter, ISO 4035 - M5		4	
7		Seib, DIN 6902 - A7,4		4	
6		Polt, ISO 4762 - M5 x 16 - 16		4	
5		Polt, DIN 7991 - M3 x 10 - 6.8		4	
4		Pingutusrulli telg, AISI 304 roostevaba	TN 22/180466 A 04 03 D	1	
3		Pingutustoe rull, PLA	TN 22/180466 A 04 02 D	1	
2		Flants, vineer	TN 22/180466 A 03 03 D	2	
1		Pingutusrulli tugi	TN 22/180466 A 04 01 D	1	
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus

Materjal:		Näitamata piirhälbed:	Mass: 1,5 kg / Mõõt: 1:1
Teostas	Kevin Maasing	Nimetus:	
Kontrollis	Kaarel Soots	Pingutusrull	
Kinnitas	Kaarel Soots		
Eesti Maaülikool, Estonian University of Life Sciences, Metsanduse ja inseneeria instituut, Institute of Forestry and Engineering, www.emu.ee		Leht: 1/1	Tähis: TN 22/180466 A 04 01 K

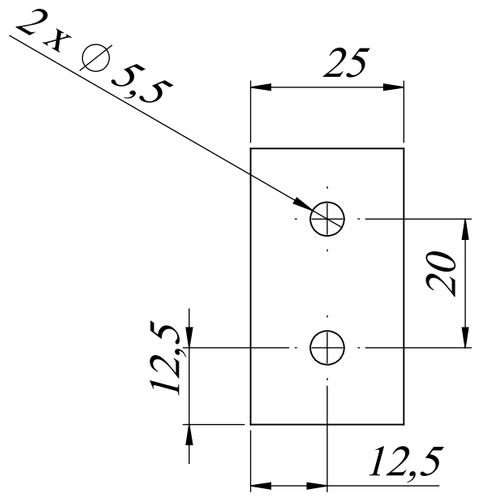


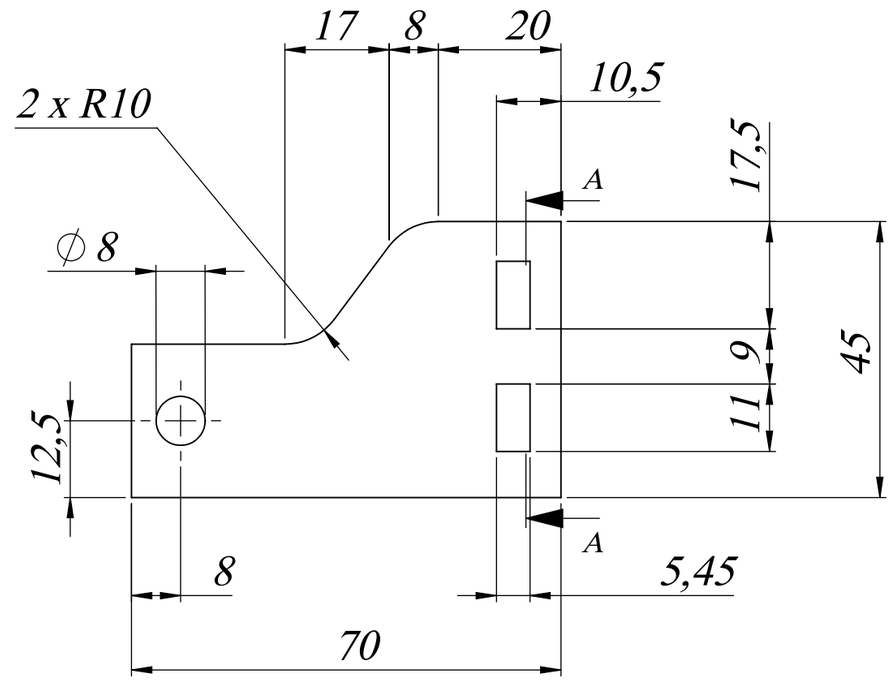
LÕIGE B-B

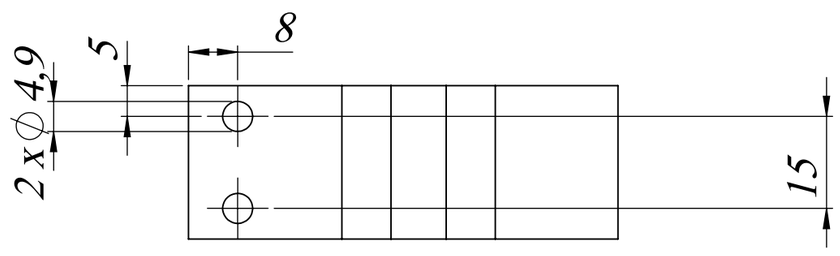


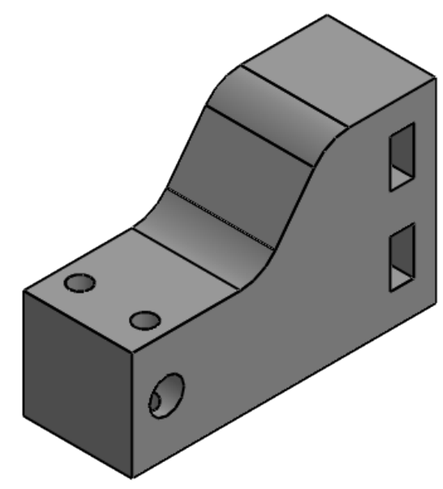


LÕIGE A-A



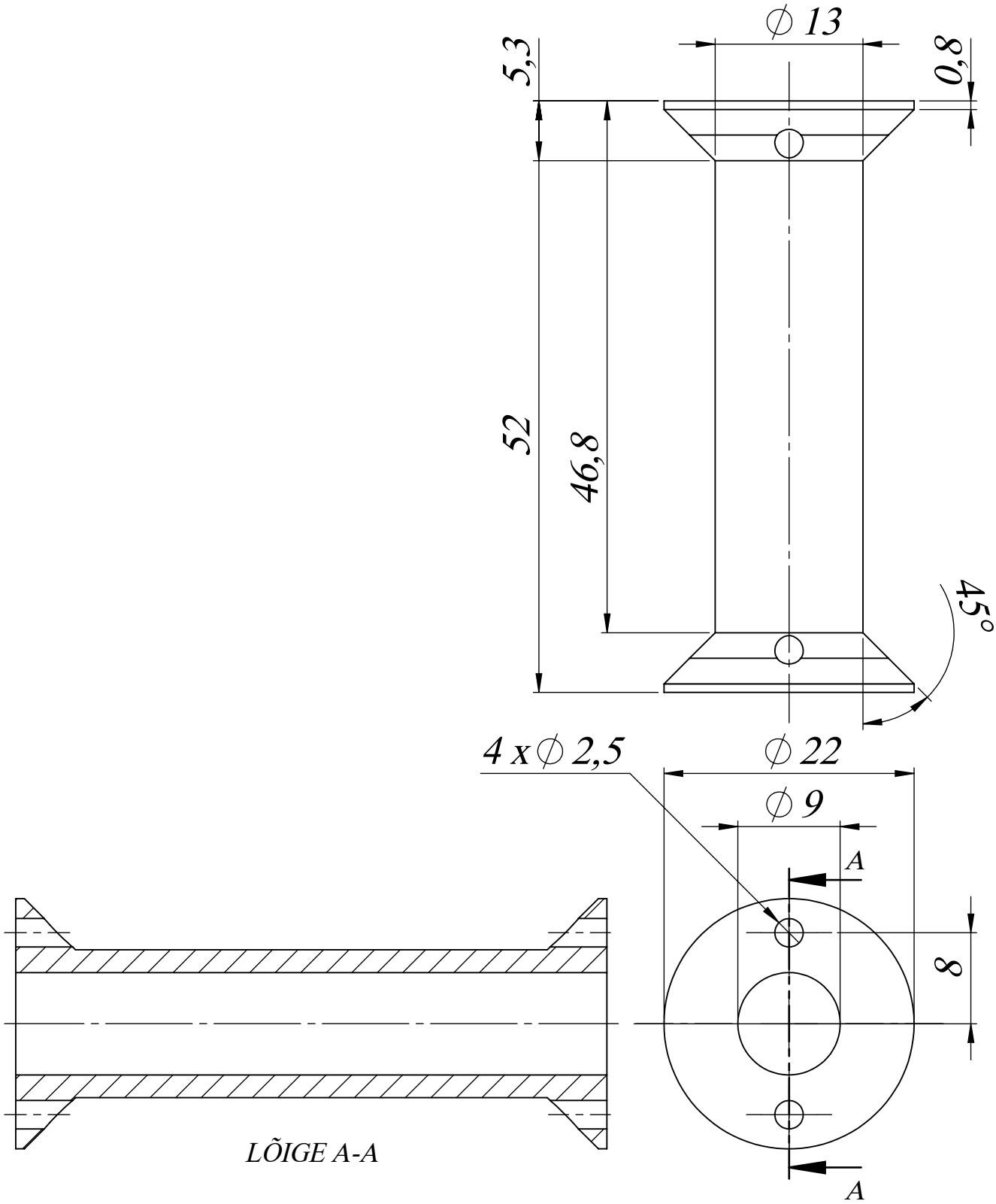






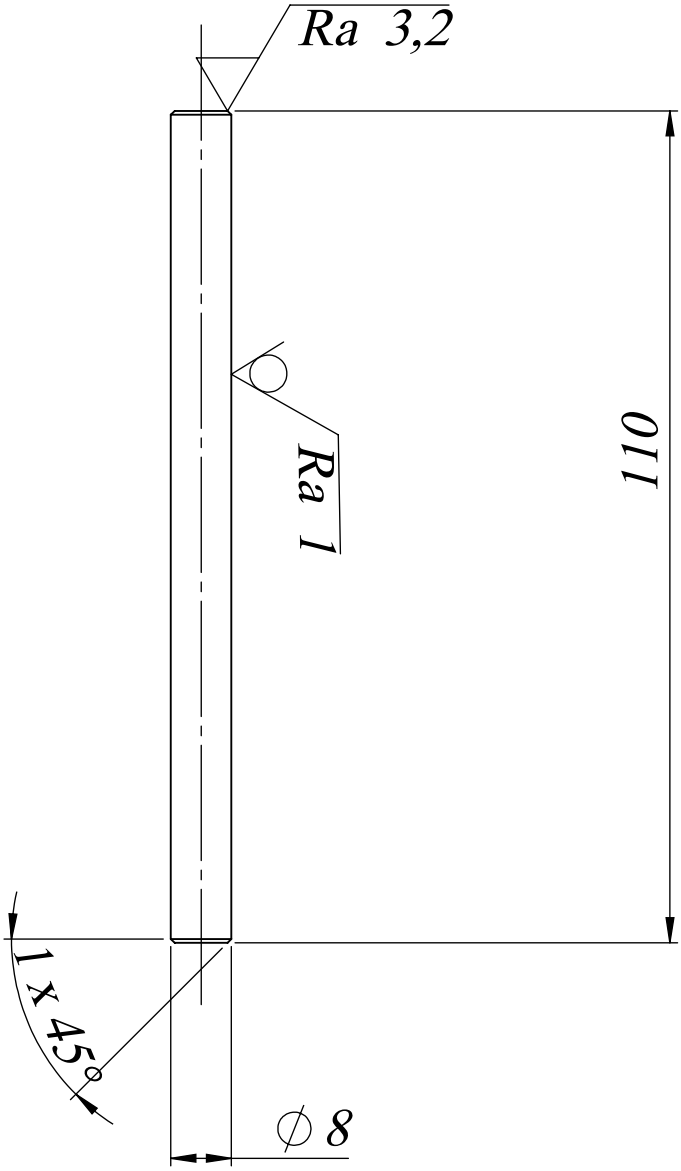
Materjal: PLA		Näitamata piirhälbed: ISO 2768 mK	Mass: 10 g / Mõõt: 1:1
Teostas	Kevin Maasing	Nimetus: Pingutusrulli tugi	
Kontrollis	Kaarel Soots		
Kinnitas	Kaarel Soots		
Eesti Maaülikool, Estonian University of Life Sciences, Metsanduse ja inseneeria instituut, Institute of Forestry and Engineering		Leht: 1/1	Tähis: TN 22/180466 A 04 01 D

Valmistamistehnoloogia: 3D printimine FDM/FFF tehnoloogiaga - pinnakaredus vastavalt 3D printerile

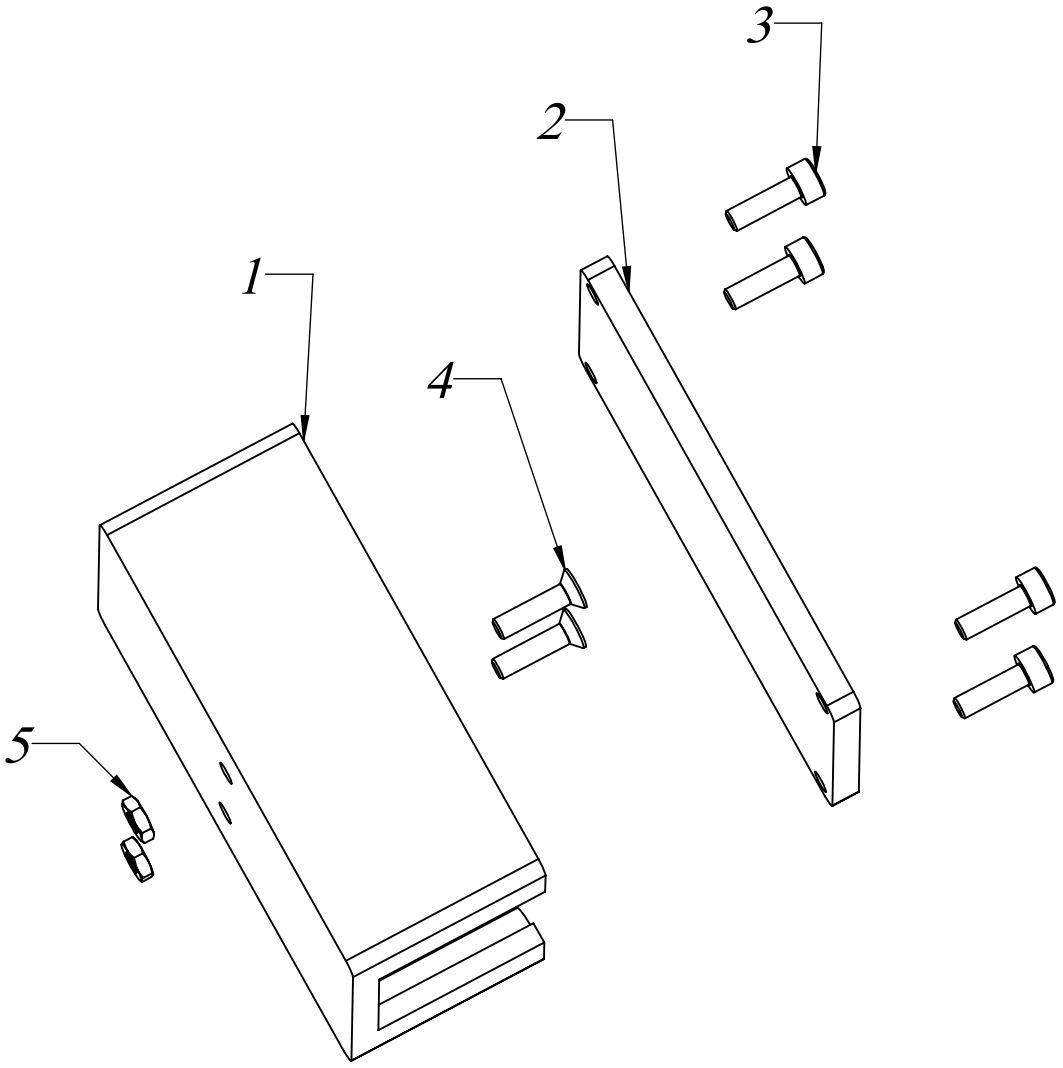


Valmistamistehnoloogia: 3D printimine FDM/FFF tehnoloogiaga - pinnakaredus vastavalt 3D printerile

Materjal: PLA		Näitamta piirhälbed: ISO 2768 mK	Mass: 3 g	Mõõt: 2:1
Teostas	Kevin Maasing	Nimetus: Pingutustoe rull		
Kontrollis	Kaarel Soots			
Kinnitas	Kaarel Soots			
Eesti Maaülikool, Estonian University of Life Sciences, Metsanduse ja inseneeria instituut, Institute of Forestry and Engineering		Leht: 1/1	Tähis: TN 22/180466 A 04 02 D	



	Materjal: Roostevaba teras AISI 304	Näitamta piirhälbed: ISO 2768 mK	Mass: 150 g	Mõõt: 1:1
Teostas	Kevin Maasing	Nimetus: Pingutusrulli telg		
Kontrollis	Kaarel Soots			
Kinnitas	Kaarel Soots			
Eesti Maaülikool, Estonian University of Life Sciences, Metsanduse ja inseneeria instituut, Institute of Forestry and Engineering, www.emu.ee		Leht: 1/1	Tähis: TN 22/180466 A 04 03 D	



Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
5		Mutter, DIN 4035 - M3		2	
4		Polt, DIN 7991 - M3 x 12 - 8.8		2	
3		Polt, DIN 4762 - M3 x 10 - 10		4	
2		Karbi kaas, PLA	TN 22/180466 A 05 02 D	1	
1		Karbi alus, PLA	TN 22/180466 A 05 01 D	1	

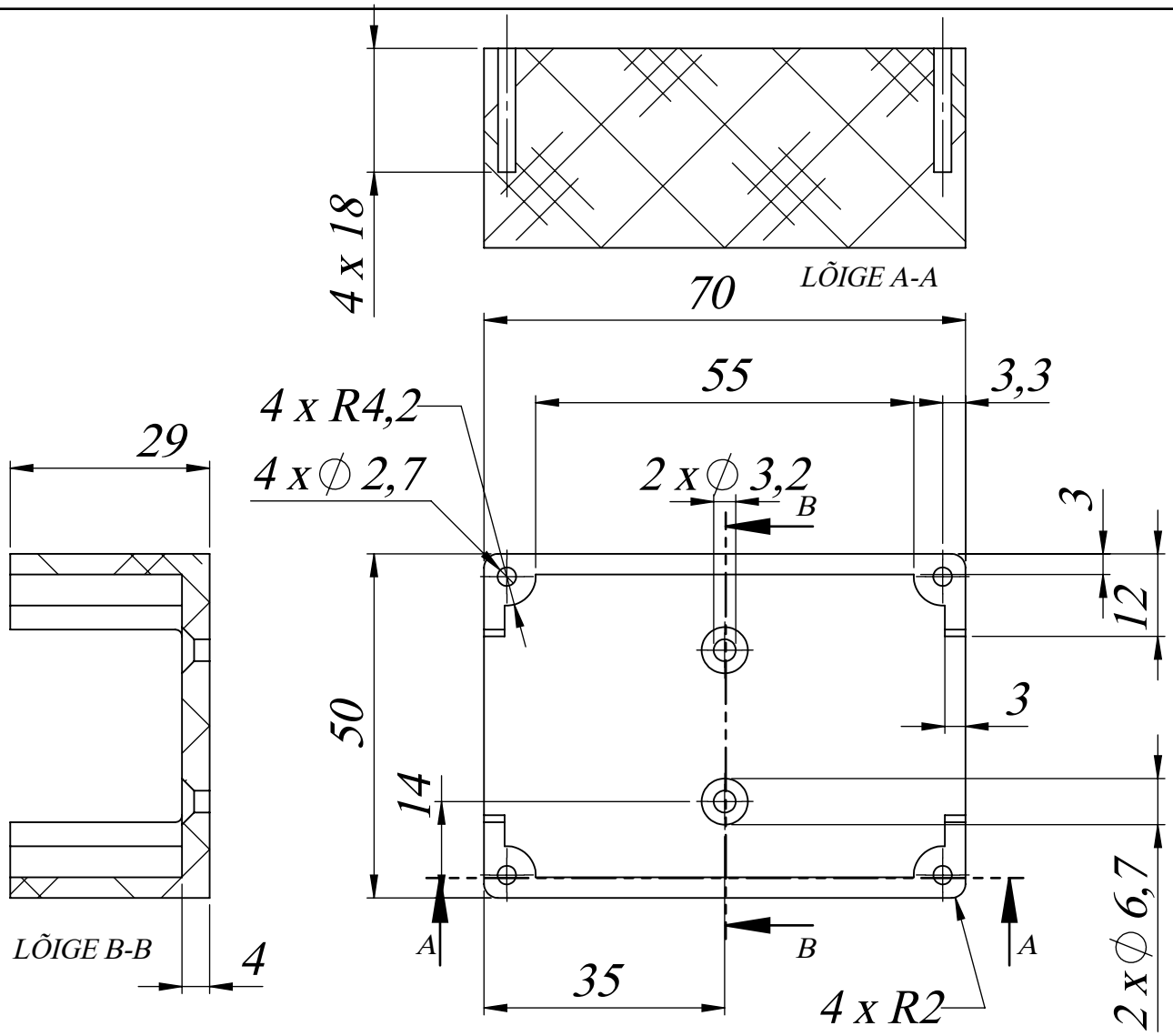
Materjal:	Näitamta piirhälbed:	Mass:	Mõõt:
		10 g	1:1

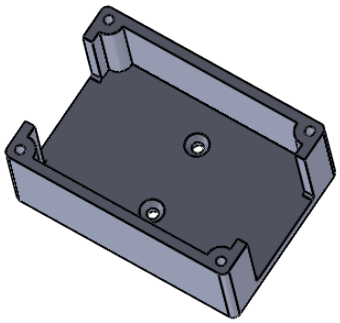
Teostas	Kevin Maasing	Nimetus:
Kontrollis	Kaarel Soots	Pingemuunduri karp
Kinnitas	Kaarel Soots	

www.emu.ee
Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences
Metsanduse ja inseneeria instituut
Institute of Forestry and Engineering

Leht: 1/1

Tähis: TN 22/180466 A 05 01 K





MÕÕT 1:2

Kõik märkimata faasid 45°

Valmistamistehnoloogia: 3D printimine FDM/FFF tehnoloogiaga - pinnakaredus vastavalt 3D printerile

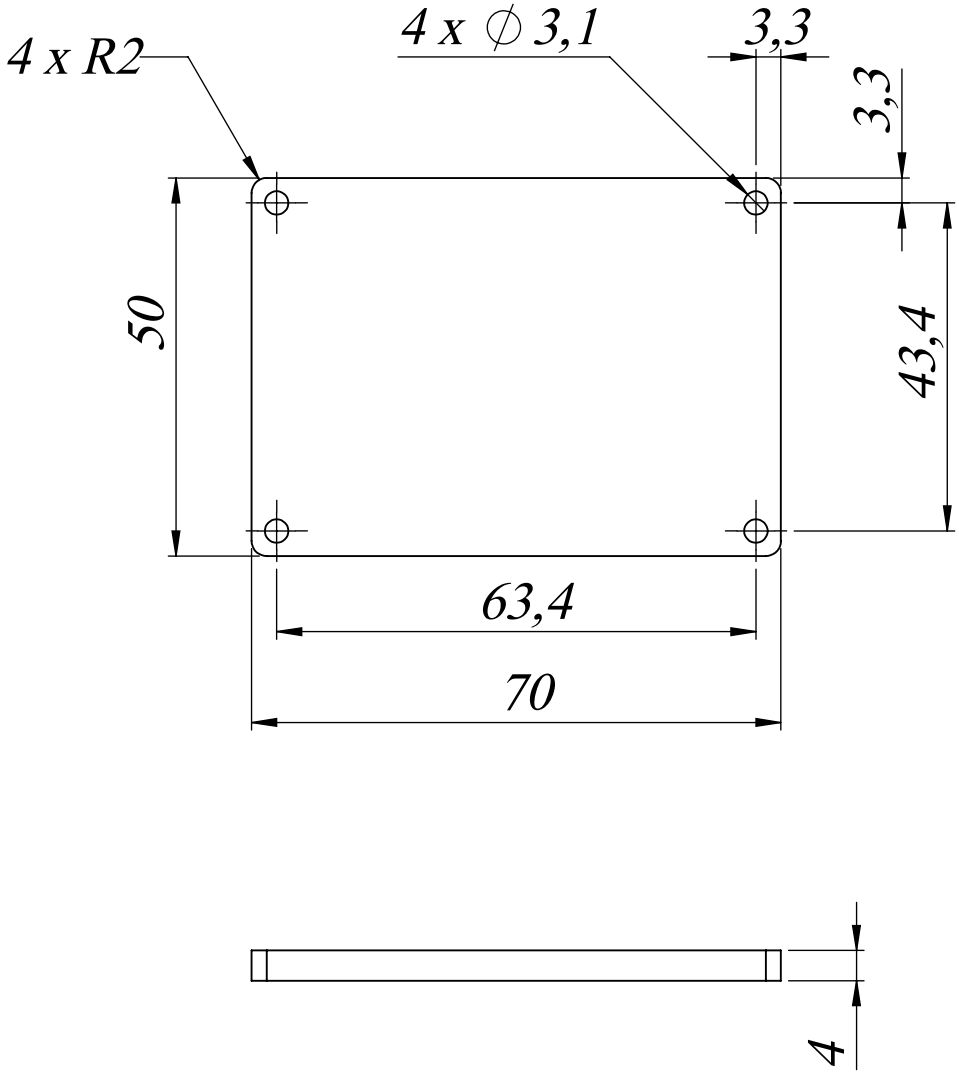
	Materjal:	Näitamta piirhälbed:	Mass:	Mõõt:
	PLA	ISO 2768 mK	5 g	1:1

Teostas	Kevin Maasing	Nimetus:
Kontrollis	Kaarel Soots	Pingemuunduri karbi alus
Kinnitas	Kaarel Soots	

Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences
Metsanduse ja inseneeria instituut
Institute of Forestry and Engineering
www.emu.ee

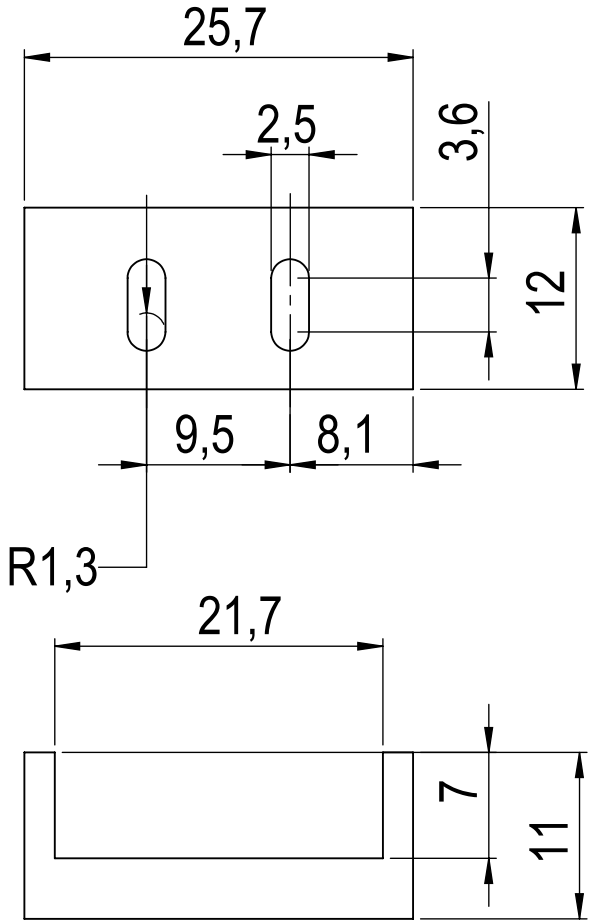
Leht: 1/1

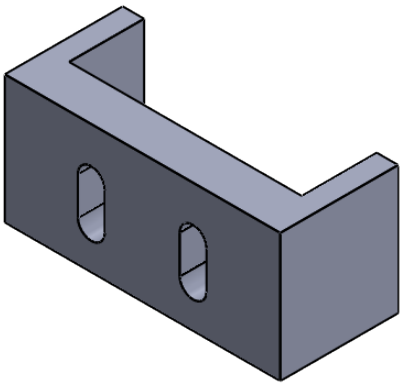
Tähis: TN 22/180466 A 05 01 D



Valmistamistehnoloogia: 3D printimine FDM/FFF tehnoloogiaga - pinnakaredus vastavalt 3D printerile

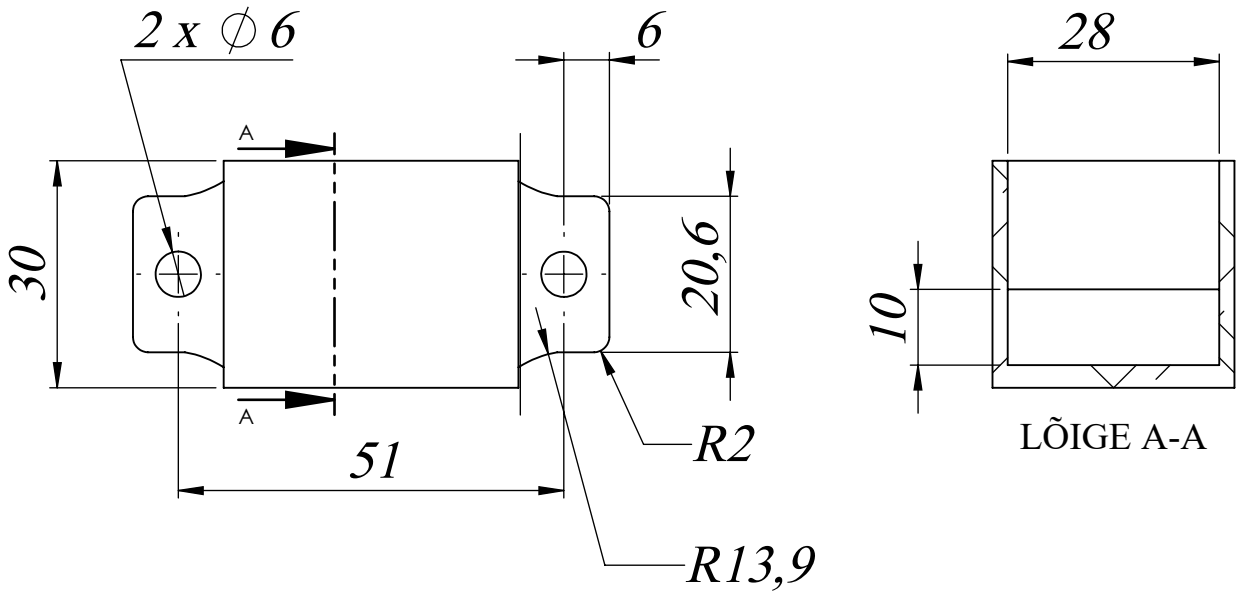
Materjal: PLA	Näitamta piirhälbed: ISO 2768 mK		Mass: 5 g	Mõõt: 1:1
Teostas	Kevin Maasing	Nimetus: Pingemuunduri karbi kaas		
Kontrollis	Kaarel Soots			
Kinnitas	Kaarel Soots			
Eesti Maaülikool, Estonian University of Life Sciences, Metsanduse ja inseneeria instituut, Institute of Forestry and Engineering, www.emu.ee		Leht: 1/1	Tähis: TN 22/180466 A 05 02 D	

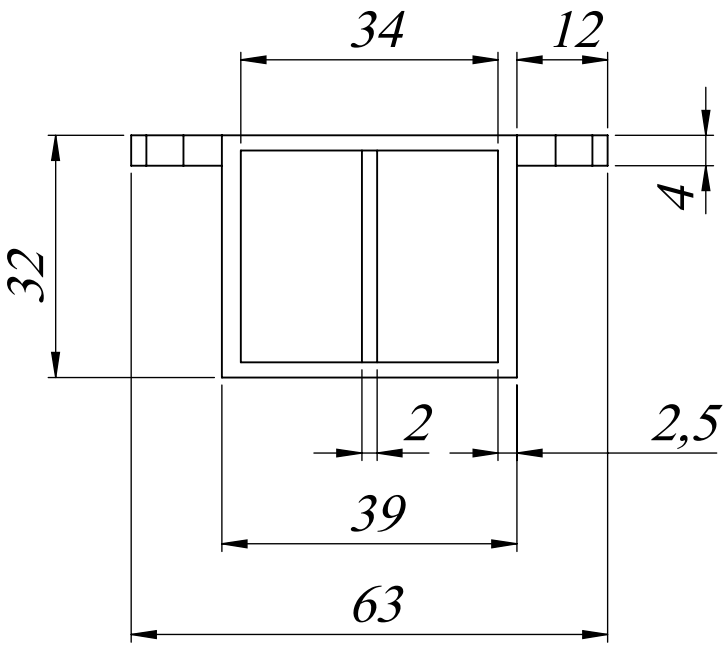


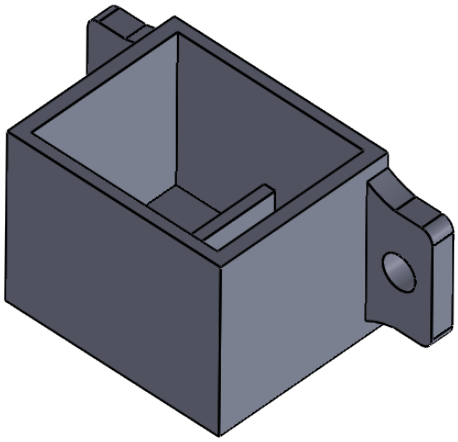


Valmistamistehnoloogia: 3D printimine FDM/FFF tehnoloogiaga - pinnakaredus vastavalt 3D printerile

Materjal: *PLA*		*Näitamta piirhälbed:* *ISO 2768 mK*	*Mass:* *1,5 g*	*Mõõt:* *1:1*
Teostas	*Kevin Maasing*	*Nimetus:* *Lüliti kinnitus korpus*		
Kontrollis	*Kaarel Soots*			
Kinnitas	*Kaarel Soots*			
Eesti Maaülikool, Estonian University of Life Sciences, Metsanduse ja inseneeria instituut, Institute of Forestry and Engineering, www.emu.ee		*Leht:* *1/1*	*Tähis:* *TN 22/180466 A 00 02 D*	

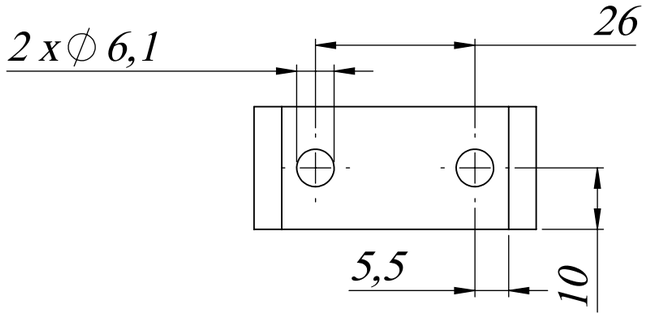


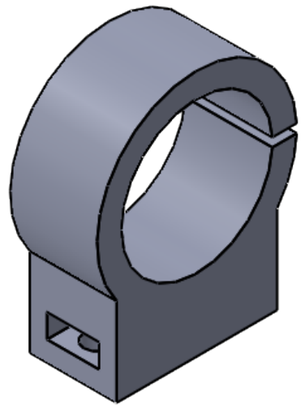


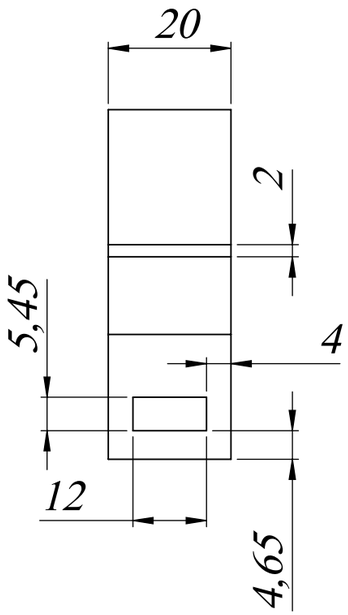


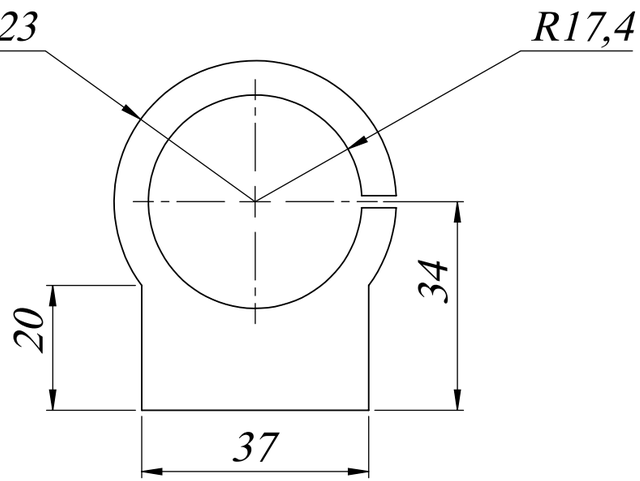
Valmistamistehnoloogia: 3D printimine FDM/FFF tehnoloogiaga - pinnakaredus vastavalt 3D printerile

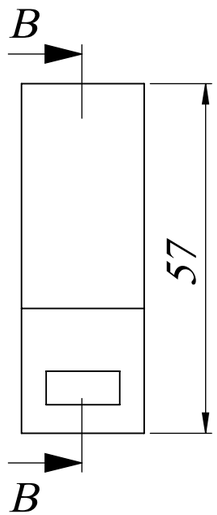
	Materjal: PLA	Näitamta piirhälbed: ISO 2768 mK	Mass: 5 g	Mõõt: 1:1
Teostas	Kevin Maasing	Nimetus:		
Kontrollis	Kaarel Soots	Relee karp		
Kinnitas	Kaarel Soots			
Eesti Maaülikool, Estonian University of Life Sciences, Metsanduse ja inseneeria instituut, Institute of Forestry and Engineering		Leht: 1/1	Tähis: TN 22/180466 A 00 03 D	

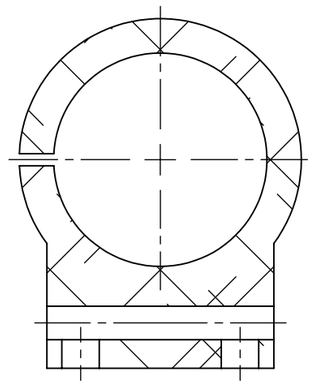










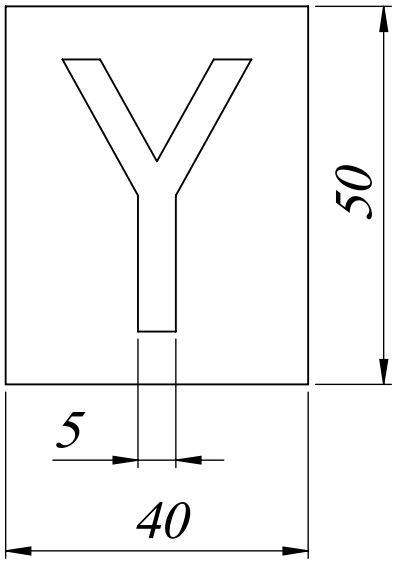


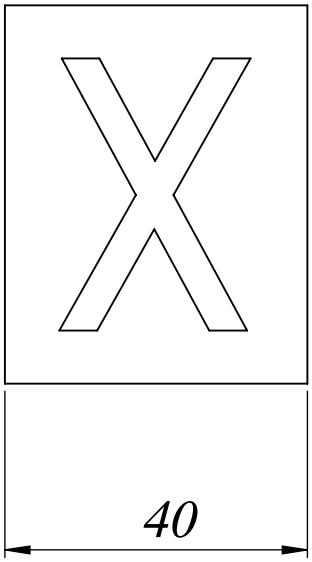
LÕIGE B-B

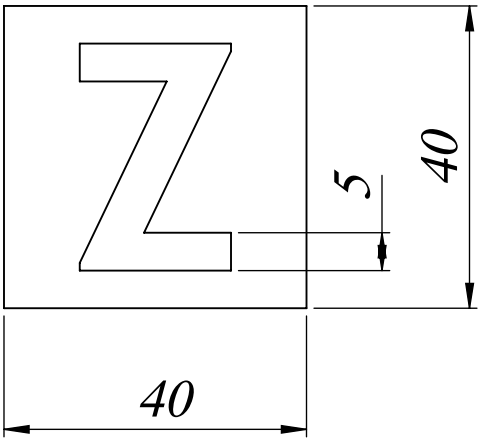
Valmistamistehnoloogia: 3D printimine FDM/FFF tehnoloogiaga - pinnakaredus vastavalt 3D printerile

	Materjal: PLA	Näitamata piirhälbed: ISO 2768 mK	Mass: 10 g	Mõõt: 1:1
Teostas	Kevin Maasing	Nimetus: Mootori kinnitus klamber		
Kontrollis	Kaarel Soots			
Kinnitas	Kaarel Soots			
Eesti Maaülikool, Estonian University of Life Sciences, Metsanduse ja inseneeria instituut, Institute of Forestry and Engineering		Leht: 1/1	Tähis: TN 22/180466 A 00 04 D	

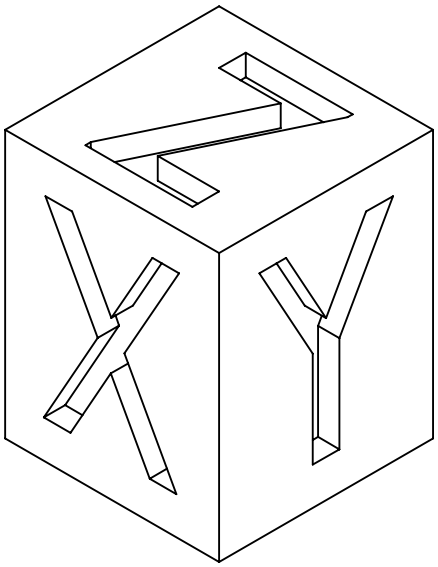
LISA B. Katsekeha







Tähtede sügavus 4 mm



Detaili mõõtudel lähtuda CAD step failist

Valmistamistehnoloogia: 3D printimine FDM/FFF tehnoloogiaga - pinnakaredus vastavalt 3D printerile.

	Materjal: PLA	Näitamta piirhälbed: ISO 2768 mK	Mass: 10	Mõõt: 1:1
Teostas	Kevin Maasing	Nimetus: Katsekeha – XYZ kuubik [www.thingiverse.com]		
Kontrollis	Kaarel Soots			
Kinnitas	Kaarel Soots			
Eesti Maaülikool, Estonian University of Life Sciences, Metsanduse ja inseneeria instituut, Institute of Forestry and Engineering		Leht: 1/1	Tähis: TN 22/180466 B 01 01 D	

LIHTLITSENT

Mina, Kevin Maasing,

sünniaeg 12.01.1998

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

3D printeri Creality CR-10 5s printimiskvaliteedi parendamine

mille juhendaja on Kaarel Soots,

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 Kevin Maasing
(*allkirjastatud digitaalselt*)

Tartu, 27.05.2020
(*kuupäev*)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

Kaarel Soots — 26.05.2020
(*juhendaja nimi ja allkiri, allkirjastatud digitaalselt*) — (*kuupäev*)