

Toni Roslind

PIKAMALLILAITTEEN TUOTTEISTAMINEN

PIKAMALLILAITTEEN TUOTTEISTAMINEN

Toni Roslind
Opinnäytetyö
Kevät 2018
Kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Konetekniikan tutkinto-ohjelma, koneautomaatio

Tekijä: Toni Roslind
Opinnäytetyön nimi: Pikamallilaitteen tuotteistaminen
Työn ohjaaja: Jari Viitala
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2018
Sivumäärä: 35 + 5 liitettä

Opinnäytetyön tilaajana oli Oulun ammattikorkeakoulun konetekniikan osaston laboratorio, jonne tuli suunnitella projektisuunnittelija Lassi Kaivosojalle CoreXY- ja FDM-tekniikkaan perustuva koteloitu pikamallilaitte. Tulostimen ohjaus haluttiin toteutettavan Arduino-ohjauksen avulla. Laitteistosta tuli luoda 3D-mallinnukset piirustuksineen, joita voitaisiin myöhemmin hyödyntää opetuksessa niin laboratorioharjoituksissa valmistettavina kappaleina kuin teoriaopetuksenkin tukena.

Suunnitelmat tuli toteuttaa huomioiden kappaleiden valmistus perusvalmistusmenetelmillä käyttäen standardeja markkinoilta löytyviä materiaaleja, kiinnitystarvikkeita ja ostokomponentteja. Lisäksi laitteistolta vaadittiin mahdollisimman modulaarista rakennetta, jotta laitteistosta kokoonpantaessa erikokoisia laiteversioita pystyttäisiin hyödyntämään samoja laboratoriotöissä valmistuneita kappaleita. Suunnitelmissa tuli ottaa huomioon myös oppilaitoksen mahdollisuus myydä valmistuneita kappaleita ja laitteistoja. Tämä vähentäisi laboratorioon hankittavien materiaalien kustannuksia.

Työssä tuli myös tutkia ja ottaa suunnitelmissa huomioon mahdollinen laitteiston käyttö ja soveltuvuus myös muuhun kuin 3D-tulostamiseen. Muita suunnittelun ja mallinnuksen edetessä huomioon otettuja käyttösovelluksia olivat piirilevyjen jrsintä ja FIP-tiivisteen pursotus. Toissijaisina tavoitteina olivat tulostimen suunnitelmien todentaminen prototyyppin avulla ja tutkimuksen tekeminen tulostimen toteuttamisesta Raspberry Pi -ohjauksella.

3D-mallintaminen toteutettiin SolidWorks 2016 - 2017 -version CAD-ohjelmistolla. Kaikista valmistettavista osista luotiin mallinnuksen lisäksi piirustukset. Kaikille kappaleille, osakokoonpanoille, standardikomponenteille ja valmistajien valmiille malleille luotiin yksilölliset tuotenumerot. Tuotenumerointi tehtiin SolidWorksiin liitettyllä PNG-ohjelmalla oppilaitoksen tuotetiedonhallinnan tarpeita varten.

Tilaaaja rajasi työn laitteiston prototyyppin valmistamisessa 3D-tulostimeen Arduino-pohjaisella elektroniikalla toteutettuna, ilman laitteiston lisäkäyttöön vaadittuja ominaisuuksia. Työssä saavutettiin ensisijaiset tavoitteet täysin toteutettavissa olevilla suunnitelmilla. Näitä suunnitelmia tilaaja voi halutessaan alkaa soveltamaan käytännössä.

Asiasanat: pikamallilaitte, 3D-tulostus, 3D-mallinnus, CoreXY, SolidWorks

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree programme in Mechanical Engineering, Machine automation

Author: Toni Roslind
Title of thesis: Productization of a rapid prototyping machine
Supervisor: Jari Viitala
Term and year when the thesis was submitted: spring 2018
Pages: 35 + 5 appendices

The client of this thesis was Oulu University of Applied Sciences Mechanical Engineering Department's project planner Lassi Kaivosoja. The content of the thesis was to plan and create a 3D-modeling and drawings for CoreXY and FDM -based encased rapid prototyping machine. Machine control wanted to be implemented with Arduino based electronics. Later these achieved outcomes can be used at students laboratory works and for supporting the theoretical teaching.

The plans had to take into account the manufacture of the pieces by the basic manufacturing methods using standard materials, fasteners and purchase components found on the market. In addition, a modular structure was required for the hardware, so that when assembling the hardware, different versions of the machine could be utilized by the same parts completed in the laboratory works. Overall, these plans takes account the Oulu University of Applied Sciences ability to sell completed parts and machines, which in turn would reduce the cost of materials to be acquired in the lab.

The thesis also investigated and planned to take into account the possible use of equipment and suitability for other use than 3D printing. Other applications that were considered were power circuit board milling and FIP seal extrusion. Secondary goal was also to study the printer's control using the Raspberry Pi. Other secondary goal also were to verify the plans with the prototype of the printer.

3D-modeling was implemented with SolidWorks 2016-2017 version. In addition to modeling, all drawings were created. For each modeled part's, sub-assemblies, standard components, and by manufacturer's finished modeling, unique product numbers were created with the PNG program attached to SolidWorks. Unique item numbers were created to support the Oulu university of applied sciences product information management needs.

The subscriber limited the work of hardware prototype to a 3D printer using Arduino-based electronics, without any additional features required for hardware use. The plans achieved priority objectives with a fully achievable design, and these plans can be applied by the subscriber if they wish to apply in practice.

Keywords: 3D printing, 3D modeling, CoreXY, SolidWorks, Manufacturing technology

ALKULAUSE

Työ suoritettiin Oulun ammattikorkeakoulun konetekniikan laboratorion projektisuunnittelija Lassi Kaivosojan tilaamana. Haluan kiittää Lassiä ja ohjaavaa opettajaani Jari Viitalaa, jotka antoivat vaadittuja tekniikoita lukuun ottamatta vapaat kädet koko pikamallilaitteiston suunnitteluun. Vapauden vuoksi tämä työ antoi mahdollisuuden ja tunteen toteuttaa itseäni ja niinpä tuloksena syntyikin varsin laaja ja omalaatuinen kokonaisuus.

Laaja-alainen suunnittelutyö oli yllättävän mukaansa tempaavaa, ja työn parissa tuli vietettyä monet talviset viikonloput ja arki-illat. Omasta puolestani suunnittelu olisi voinut vielä vaikka jatkua ja olisin voinut hieroa mallinnuksia aina vain uudelleen kohti täydellisempää lopputulosta. Johonkin on vain suunnitelmat rajattava ja ojennettava eteenpäin.

Paljon on perheen yhteistä aikaa kulunut koulunkäynnin ja työn ohella tätä opinnäytetyötä tehdessä. Tämän vuoksi lausunkin erityisen kiitoksen vaimolleni, joka on jaksanut minun loputtomalta tuntuneet hiiren naksutukset illasta ja päivästä toiseen viimeisen vuoden aikana.

Oulussa 20.5.2018

Toni Roslind

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
SANASTO	8
1 JOHDANTO	10
2 LAITTEISTOON VAADITTU TEKNIikka	11
2.1 FDM-tekniikka	11
2.2 FDM- ja FFF-tekniikan historiaa	11
2.3 Yleisimmin käytetyt 3D-tulostusmateriaalit	12
2.4 CoreXY-tekniikka	13
3 SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT	14
3.1 Valmistusmenetelmät ja toteutus	14
3.2 Opintojaksojen huomiointi toteutuksessa	15
3.2.1 Lähtötasojen huomiointi	15
3.2.2 Opetuksen resurssien huomiointi	15
3.3 Materiaalivalinnat	15
3.4 Kappaleiden valmistettavuus	16
3.5 Suunnittelun aloitus	16
4 SUUNNITTELU JA DOKUMENTAATIO	17
4.1 Rakenteelliset ominaisuudet	17
4.1.1 Skaalaus ja modulaarisuus	17
4.1.2 Kaupalliset komponentit	18
4.1.3 PnP-ominaisuus	18
4.2 Laitteiston suunnittelu	19
4.2.1 Runkorakenne	20
4.2.2 Kotelointi	22
4.2.3 Työkalukiinnitys	24
4.2.4 Dokumentaatio	26
5 SAAVUTETUT TULOKSET	27
5.1 Hyödynnettävät opintojaksot	27

5.2 Valmis 3D-mallinnus	32
5.3 Materiaalikustannukset	32
6 LOPPUSANAT	34
LÄHTEET	35
LIITTEET	
Liite 1 Laitteistoon luodut nimikkeet	
Liite 2 Tulostuslankarullan akselin työpiirustus	
Liite 3 Laitteistoon luodut kokoonpanot	
Liite 4 Liukukelkan kokoonpanopiirustus	
Liite 5 Pääkokoonpanon piirustus	

SANASTO

CAD	Computer-Aided Design. Tietokoneavusteinen suunnittelu.
CAM	Computer-Aided Manufacturing. Tietokoneavusteinen valmistus.
CoreXY	Tekniikka, jolla tulostimen X- ja Y-suuntaiset liikeradat luodaan.
DXF	Drawing Exchange Format. CAD-tiedostomuoto, joka mahdollistaa tietojen siirtoa eri CAD-ohjelmien välillä.
3D-mallinnus	3D-mallien virtuaalista suunnittelua CAD-ohjelmiston avulla.
3D-tulostus	Materiaalia lisäävä valmistusmenetelmä, jossa kappale tehdään 3D-mallin pohjalta materiaalikerroksia lisäämällä.
FDM	Fused Deposition Modeling. Stratasys Incin rekisteröimä tavaramerkki materiaalia lisäävästä valmistusmenetelmästä.
FFF	Fused Filament Fabrication. Materiaalia lisäävä valmistusmenetelmä.
FIP-tiiviste	Formed in Place. Paikalleen muovatut ja pursotetut tiivisteet.
LCD	Liquid Crystal Display. Nestekidenäyttö eli LCD on ohut ja kevyt näyttölaite.
Mikrokontrolleri	Mikro-ohjain (MCU) on mikropiiri eli IC-piiri, jossa on mikroprosessori ja joitain muisti- ja liityntälohkoja.
PDM	Product data Management. Tuotetiedon hallintajärjestelmä.
PNG	Part number generator. Ohjelma, jolla voidaan luoda osalle tai kokoonpanolle yksilöllinen nimikekoodi.
PnP	Lyhenne sanonnasta Plug and Play. Tarttuva sanonta, jota käytetään kuvaamaan laitteita, jotka toimivat tietokonejärjestelmän tai toistensa kanssa heti, kun ne ovat kytketty toisiinsa.

- SLS** Selective Laser Sintering. Tulostusjauheen sulatukseen perustuva lisäävän valmistuksen teknologia.
- STL** Standardi 3D-tulostinten käyttämä tiedostomuoto.

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä suunnitellaan SolidWorks-ohjelmiston avulla 3D-mallinnus FDM- ja CoreXY-tekniikkaan pohjautuvasta koteloidusta pikamallilaitteesta sekä työpiirustukset valmistettavista osista. Työssä valmistuvien 3D-mallinnusten ja piirustusdokumentaation on tarkoitus tulla Oulun ammattikorkeakoulun konetekniikan osaston laboratorioharjoitusten sekä teoriaopetuksen tueksi.

Laboratorioharjoituksissa valmistettuja kappaleita ei ole jatkohyödynnetty juuri laisinkaan ja hankitut materiaalit ovat olleet pelkkä kuluerä. Tämän laitesuunnittelun tarkoituksena on kohdentaa laboratorioharjoitusten materiaalihankintoja ja kappaleiden valmistusta hyötykäyttöön. Syntyvien suunnitelmien tarkoituksena on tarjota oppilaitokselle vaihtoehto konetekniikan laboratorioharjoituksissa valmistettaville kappaleille.

Opiskelijat voivat kappaleita valmistaessaan käyttää teoriassa opittua tietoa hyödyksi ja saavat samalla käytännön tuntumaa valmistukseen vaikuttavista asioista. Laboratorioharjoituksissa valmistuvista kappaleista voidaan rakentaa täydellisiä laitteistokokoonpanoja sekä jatkokehittää näitä opiskelijoiden ryhmitöissä. Opinnäytetyön onnistuessa tarjoutuu oppilaitokselle mahdollisuus myös myydä oppilastöissä valmistuneita kappaleita sekä laitekoonpanoja opiskelijoille ja talon ulkopuolelle. Myynnin avulla voidaan kattaa iso osa materiaalikustannuksista nykyisiin laboratorioden harjoituskäytäntöihin verrattuna. Kokonaisuutena tämä auttaa opiskelijaa näkemään suunnittelutyön sekä tuotekehityksen merkitystä laitekokonaisuuksien toteutuksessa.

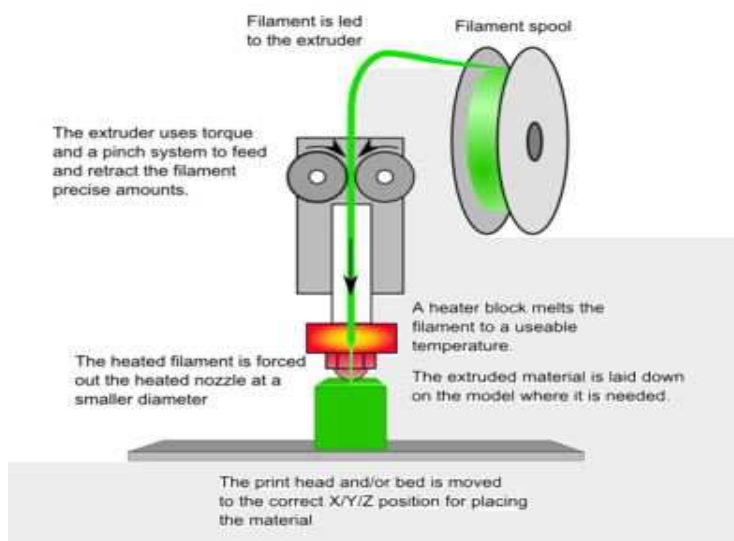
Opinnäytetyöprojektin ensisijaisena tavoitteena on suunnitella ja dokumentoida FFF- ja CoreXY-tekniikkaan perustuva koteloitu pikamallilaitte Arduino-ohjauksella toteutettuna. Laitteisto suunnitellaan valmistettavuudeltaan ja kokoonpanoltaan mahdollisimman modulaariseksi, sekä kytkennöiltään ja elektroniikaltaan PnP-tyyppiseksi markkinoilla olevan elektroniikan kanssa. Suunnittelussa otetaan huomioon myös tekniikan käytettävyyttä muussa työkäytössä kuin 3D-tulostuksessa. Näitä käytettäviä kohteita laitteistolle ovat piirilevyn protojyrsintä ja FIP-tiivisteiden pursotus. Toissijaiset tavoitteet olivat suunnitelmien todentaminen valmistamalla 3D-tulostimesta prototyyppi ja tutkia tulostimen toteuttamista Raspberry Pi -ohjauksella.

2 LAITTEISTOON VAADITTU TEKNIikka

Laitteisto suunniteltiin tilaajan toimesta määrättyjen tulostustekniikoiden pohjalta. Materiaalia lisääväksi tekniikaksi määriteltiin FDM-tekniikka ja tulostimien liikeradat toteuttavaksi tekniikaksi CoreXY-tekniikka.

2.1 FDM-tekniikka

FDM-tekniikassa (Fused Deposition Modeling) thermoplastista muovilankaa eli filamenttia syötetään tulostuspäälle, jossa se kuumennetaan suuttimessa lähelle sulamislämpötilaa ja puristetaan suuttimen lävitse, pursottaen samalla mallia kerros kerrokselta tietokoneen ohjatessa suuttimen liikettä halutun liikeradan mukaisesti. (Kuva 1.) Yleisesti pursotettavat kerrospaksuudet vaihtelevat tulostimen laadun ja tarkkuuden mukaan noin 0,1 - 0,33 mm:n välillä. (1.)



KUVA 1. FDM-tekniikan toimintaperiaate (2)

FDM-tekniikka on myös eniten käytetty tekniikka kotitulostimissa. Tämän tekniikan soveltuvuus on parhaimmillaan suuremmissa kappaleissa, joissa pinnanlaatu ei ole se oleellisin asia. (1.)

2.2 FDM- ja FFF-tekniikan historiaa

FDM-tekniikka 3D-tulostuksessa on alun perin Stratasys Incin perustajan Scott Crumpin 1980-luvulla kehittelemä ja loppupuolella patentoima menetelmä. Myös itse FDM-nimitys

tälle tekniikalle on Stratasys Incin rekisteröimä tavaramerkki. Ja tästä syystä tekniikasta on muiden kaupallisten valmistajien tuotteissa alettu käyttämään myöhemmin korvaavaa nimitystä FFF-tekniikka (Fused Filament Fabrication). Tätä korvaavaa nimitystä käytetään myös tämän opinnäytetyön laitteistossa tulostustekniikan osalta. (3.)

FDM-tekniikan patentin raukeaminen vuonna 2010 käynnisti halvempien 3D-tulostimien nopean kehityksen, ja tämä avasi markkinat myös kotikäyttäjille hintojen pudottua tarjonnan nopean kasvun ja useiden erilaisten laitteistovaihtoehtojen myötä.

2.3 Yleisimmin käytetyt 3D-tulostusmateriaalit

Nykyisin erilaisten muovimateriaalien kirjo 3D-tulostuksessa on erittäin laaja materiaalien kehittyessä koko ajan. 3D-tulostusmateriaaleista saisi varmasti erillisen opinnäytetyönkin aikaiseksi, joten tässä työssä käsitellään vain muutama sana yleisimmin käytetyistä materiaaleista. Yleisimmät muovimateriaalit joita 3D-tulostuksessa käytetään ovat biohajoava PLA (polylaktidi), sekä öljypohjainen ABS (akryylinitriilibutadieenistyreeni). (4.)

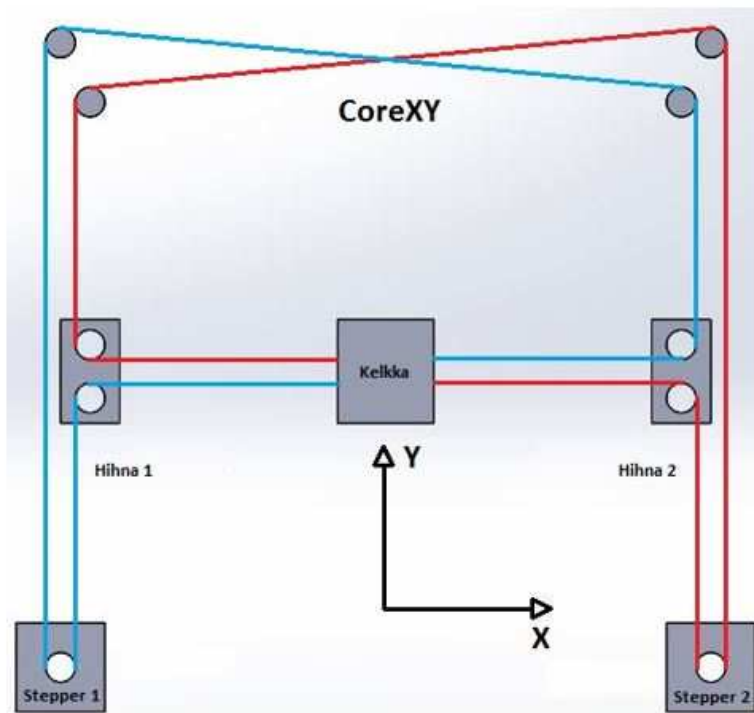
PLA on maissitärkkelys- tai sokerijuurikas pohjainen materiaali, johon voi törmätä muun muassa kauppojen vihannes- sekä hedelmähylyillä siitä valmistettujen pakkausten muodossa. Sen ominaisuuksiin kuuluukin sitkeys ja hyvä kulutuskestävyys. PLA-materiaalin tulostuslämpötilan ohjeavoksi annetaan 180 - 200 °C, joka voi kuitenkin vaihdella paljonkin käytettävän laitteiston ominaisuuksien mukaan. (5.)

ABS on öljypohjainen valmiste, mutta materiaalina edullinen ja sen ominaisuuksia ovat jäykkyys ja keveys. 3D-tulostuksessa kuitenkin teknisesti haastavampi materiaali tulostamisen osalta ja vaatii huomattavasti korkeammat tulostuslämpötilat kuin PLA. Tulostuslämpötila riippuu myös hyvin paljon käytettävän laitteiston ominaisuuksista, mutta ohjeavoksi premium luokan ABS-tulostusmateriaaleille annetaan noin 235 - 256 °C. (5.)

Lisäksi mainittakoon vielä PET/PETG-filamentit, jotka sijoittuvat teknisesti ABS- sekä PLA-filamenttien välimaastoon. Materiaaleina ne ovat joustavampia ja kestävämpiä kuin PLA, mutta helpommin tulostettavia kuin ABS. Tulostuslämpötilan ohjeavoksi PET/PETG-materiaaleille annetaan noin 190 - 230 °C. Lisäksi saatavilla on lukuisa joukko muita materiaaleja ja edellä mainittujen materiaalien eri seoksia, joista aktiivinen alan harrastaja löytää käyttötarkoitukseensa sopivan materiaalin. (6.)

2.4 CoreXY-tekniikka

CoreXY-tekniikassa kahden staattisesti asennetun askelmoottorin, ja kahden erillisen hammashihnan avulla luodaan X- ja Y-koordinaatiston vaatimat liikeradat. Etuna tekniikassa on, että moottoreiden ollessa staattiset voidaan liikuteltava massa suunnitella huomattavasti pienemmäksi. Tällöin X- ja Y-liikeradat ovat nopeampia toteuttaa pienemmän massahitausmomentin vuoksi. (Kuva 2.) (7.)



KUVA 2. CoreXY-tekniikan periaate

Tekniikka toimii siten, että molempien moottoreiden pyöriessä vastapäivään kelkka saa horisontaalisen liikeradan +X-suuntaan. Vastaavasti moottoreiden pyöriessä myötäpäivään liike on -X-suuntainen. Moottoreiden pyöriessä eri suuntiin kelkka liikkuu vertikaaliseksi joko +Y- tai -Y-suuntaan. Viistosuuntaiset liikkeet saadaan aikaiseksi jommankumman moottorin pyörimisnopeutta hidastamalla tai pysäyttämällä. (7.)

Tekniikan etuna on myös tasaiset tulostuskelkan lineaariliikkeiden X- ja Y-suuntaiset hihnojen kuormitukset. Tämän vuoksi kelkka ei pyri liikkeiden aikana vääntämään itseään vinoasentoon ja näin liikkeistä saadaan tasaisempia. (7.)

3 SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT

Laitteiston perusvaatimuksina olivat CoreXY- ja FFF-tekniikka. Lisäksi suunnittelussa ja toteutuksessa tuli huomioida mahdollisimman monen eri konetekniikan opintojakson hyödynnettävyys. Opintojaksojen huomioinnissa kerättiin myös opetushenkilökunnan toivomuksia laitteiston ja osien ominaisuuksista sekä suunnittelussa huomioon otettavista seikoista. Näitä asioita listattiin seuraavasti:

- erityyppiset anturoinnit.
- geometrinen tolerointi.
- kappaleiden tolerointi.
- kiilaurat
- hitsausmerkinnät, kotelointi.
- laadunvalvonta, mittaukset.
- ohjelmointi
- pinnanlaatu
- pintakäsittely
- työstettävien osien kiinnitykset.
- työstön suunnittelu.
- sorvattu kappale.
- sovitteet ja lukitukset.
- vierintä- ja liukulaakerointien toleranssit.
- hihna- ja ketjuvälitykset.

Suurimmiksi suunnittelussa huomioitaviksi asioiksi nousivat kappaleiden tolerointi ja piirustukset. Näiden lisäksi kappaleissa tuli ottaa huomioon valmistettavuus ja kokoonpantavuus. Näitä toivomuksia on pyritty soveltamaan ja ottamaan laitteiston kokonaisuudessa, sekä suunnittelussa mahdollisimman kattavasti huomioon.

3.1 Valmistusmenetelmät ja toteutus

Valmistusmenetelmien ja toteutuksen osalta laitteiston suunnittelussa on pyritty huomioidaan mahdollisimman monta eri valmistustekniikkaa ja -menetelmää osien valmistuksessa. Laitteiston metalliosien valmistamiseen suunniteltiin käytettäväksi pääasiallisesti vesileikkausta, jyräintää, sorvausta, hitsausta TIG- ja MIG-laitteilla. Muovi- ja hartsiosien

valmistamiseen suunniteltiin käytettäväksi 3D-tulostusta (FFF), sintrausta (SLS) sekä tyhjävalua silikonimuotilla.

3.2 Opintojaksojen huomiointi toteutuksessa

Suunnittelussa tuli huomioida mahdollisimman monen eri opintojakson teoriaosuuksien hyödynnettävyys osien ja laitteiston valmistuksessa. Tavoitteen toteuttamiseksi valmistettavissa osissa on ominaisuuksia ja vaatimuksia, joita ei välttämättä markkinoilla olevista kaupallisista osista ole löydettävissä.

3.2.1 Lähtötasojen huomiointi

Osien valmistamisessa ja vaatimuksissa oli otettava huomioon opiskelijoiden täysin erilaiset lähtötasot käytännön tekemisessä. Tämä tarkoitti suunnittelun osalta ja osien valmistusta miettiessä huomioonottamista ihan perusasioista hieman vaativampiin toteutuksiin. Käytännössä osat tuli suunnitella siten, että ne olisivat selkeitä ja helposti valmistettavia mutta antaisivat kuitenkin myös hieman haastetta kokeneemmankin henkilön tehtäväksi.

3.2.2 Opetuksen resurssien huomiointi

Opetustyön ohella toteutettavan osien valmistuksen tuli ottaa huomioon myös oppilaitoksen resurssit valmistettavien osien teknisissä vaatimuksissa. Osat tuli suunnitella suhteellisen helposti toteutettaviksi, jotta valmistaminen onnistuu opiskelijaryhmissä laboratorioharjoitukseen annettuna aikana laboratoriohenkilökunnan opastuksen ja valvonnan alaisena.

3.3 Materiaalivalinnat

Laitteiston materiaalivalinnat tulevat opetusta tukevalla periaatteella, joka käytännön tasolla tarkoittaa todellista tarvetta raskaampaa rakennetta. Moni laitteiston osa on tarkoituksella suunniteltu teknisiltä ominaisuuksiltaan huomattavasti reaalitarvetta kestävämmiksi. Osat valmistetaan sellaisista materiaaleista, joita voidaan helposti työstää ja valmistaa eri laboratorioharjoitusten aikana. Laitteiston päämateriaaleina toimivat alumiini ja teräs eri materiaalikoostumuksillaan. Materiaalit valittiin niiden helpon ja erittäin monipuolisen työstettävyyden vuoksi.

Osien valmistukseen on valittu myös erityyppisiä muovimateriaaleja, jotka tuovat mukanaan pikamallinnuksen eri tekniikoita valmistukseen. Näitä ovat tyhjövalu, sintraus ja 3D-tulostus. Tyhjövalutekniikalla valmistetaan silikonimuotin avulla kulutusta kestäviä pienempiä osia valuhartsista, kuten hihnapyörät ja rungon kulmakiinnikkeet. Sintraamalla valmistetaan Nylon-pohjaiset ja hieman sitkeyttä vaativat osat, kuten tulostuspään muovitukset ja kiinnikkeet. 3D-tulostuksella valmistetaan PLA-pohjaiset ei rasiuksessa olevat pienemmät osat, kuten ääriasentotunnistimien kiinnikkeet ja juoksurullien holkit.

3.4 Kappaleiden valmistettavuus

Osien valmistettavuudessa pyrittiin mahdollisimman suoraviivaiseen valmistamiseen perusmenetelmien ja -tekniikoiden avulla ilman erikoisuuksia vaativia työkaluja ja puolivalmisteita. Peruseriaatteena metalliosien valmistukseen oli aihion leikkaaminen vesileikkaamalla, jonka jälkeen kappale valmistetaan seuraavassa työvaiheessa joko koneistamalla tai hitsaamalla. Vastaavasti metritavara-aiho sahataan määrämittaansa, jonka jälkeen kappale valmistetaan lopputuotteeksi sorvaamalla tai hitsaamalla.

3.5 Suunnittelun aloitus

Laitteiston suunnittelun lähtökohtana oli CoreXY-tekniikka liikeratojen toteutuksessa ja FFF-tekniikka tulostuksessa. Runkorakenteena tuli käyttää 20 x 20 mm:n ja 40 x 20 mm:n V-uritettua alumiiniprofiilijohdetta. Rungon kehikon tuli olla ulkomitoiltaan 400 x 400 x 500 mm. Näiden vaatimusten pohjalta aloitettiin laitteiston ja kappaleiden esisuunnittelu CoreXY-liikeratojen toteutuksesta.

4 SUUNNITTELU JA DOKUMENTAATIO

Laitteiston suunnittelu ja 3D-mallinnus toteutettiin SolidWorks-ohjelmistolla työn tilaajan perusvaatimusten pohjalta. Pikamallilaitteesta tuli suunnitella pöytämallinen FFF-tekniikkaan pohjautuva, yleisimmin 3D-tulostuksessa käytettyjä PLA-, ABS- ja PET/PETG-muoviseoksia pursottava laitteisto. Näiden muovien pursottaminen vaatii kuitenkin materiaalin kuumentamisen korkeisiin lämpötiloihin, joka Työterveyslaitoksen tekemän tutkimuksen mukaan aiheuttaa terveydelle haitallisia nanohiukkaspäästöjä ja kemikaalihöyryjä hengitysilmaan. (8.)

Hiukkaspäästöjen ja kemikaalihöyryjen vuoksi pikamallilaitteesta tuli suunnitella opetusympäristöä varten koteloidulla rakenteella varustettu laite. Koteloinnin avulla tulostuksessa syntyvät hengitykselle haitalliset kemikaalihöyryt ja nanopartikkelit voidaan tuulettaa ilmanvaihdon kautta pois. Koteloinnin tuli myös suojata liikkuvat osat mahdollisten henkilövahinkojen välttämiseksi.

4.1 Rakenteelliset ominaisuudet

Laitteiston suunnittelu toteutettiin siten, että 3D-tulostin on omana laitteistonaan koteloinnin sisällä pulttikiinnityksin. Tämä mahdollistaa koteloinnin jättämisen haluttaessa kokoonpanosta pois kokonaan. Elektroniikka ja tulostuslangansyöttö on sijoitettu koteloinnissa erillisiin ovellisiin päätykaappeihin. Tämän ansiosta elektroniikan jäähdytys ja tuuletus saadaan tehokkaammaksi.

4.1.1 Skaalaus ja modulaarisuus

Runkorakenteiltaan laitteisto on skaalattavissa haluttuihin mittoihin, jolloin laitteen työkentelyalueesta saadaan valmistettua halutun kokoinen. Suuremmaksi skaalatessa tulee kuitenkin huomioida mahdollisten lisätuntojen tarve rakenteen jäykkyyden ylläpitämiseksi. Valmistettavien osien suunnittelussa otettiin huomioon modulaarisuus valmistettavuuden sekä kokoonpanon osalta. Tavoitteena oli luoda mahdollisimman pieni määrä erilaisia osia, joita voidaan käyttää luotaessa laitteistosta erilaisia versioita ja kokoonpanoja.

4.1.2 Kaupalliset komponentit

Laitteiston kokonaisuudessa pyrittiin hyödyntämään markkinoilla olevia kaupallisia osia ja osakokonaisuuksia sekä standardikomponentteja mahdollisimman paljon. Jolloin laitteiston elektronikan päivitykset, sekä tarvittavien varaosien saanti on huomattavasti varmempaa laitteiston elinkaaren aikana. Kiinnitystarvikkeet valittiin standardien mukaisina sekä pyrittiin pitämään määrällisesti mahdollisimman pienenä.

4.1.3 PnP-ominaisuus

Laitteiston elektronikka toteutettiin kuluttajamarkkinoilta valmiina pakettina löytyvän RAMPS 1.4 3D-tulostimen ohjauspakettiin pohjautuen. Valittu paketti pohjautuu Arduino alustaan ja sisältää Arduino Mega2560 -mikrokontrollerin, RAMPS 1.4 -ohjauskortin, viisi A4988-askelmoottoriohjainta, 12864 LCD -näyttömoduulin sekä tarvittavat kaapelit. (Kuva 3.)



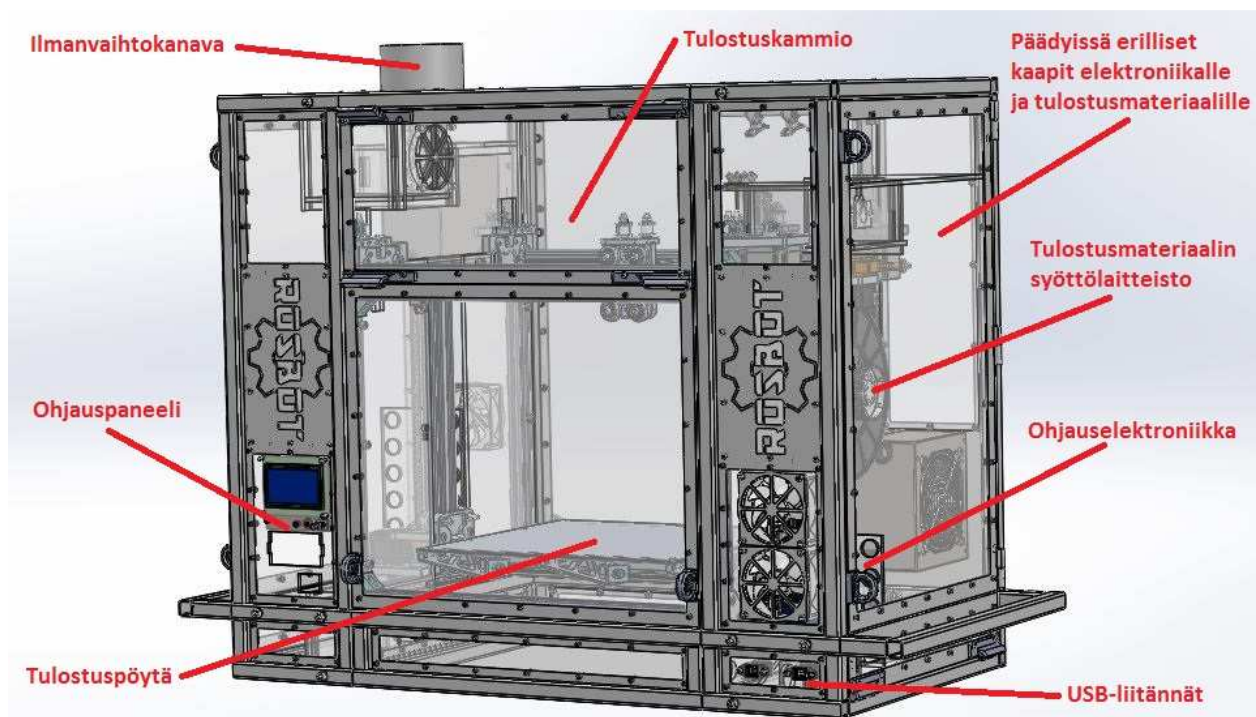
KUVA 3. RAMPS 1.4 3D-tulostimen ohjauspaketti (9)

Arduino on USB-kytkennällä varustettu mikrokontrolleri, joten ohjainpaketti on suoraan PnP-tyyppinen tietokoneiden kanssa (10). Tässä paketissa tulostustiedosto ladataan muistikortille ja kortti kytketään näyttömoduulin takana olevaan muistikorttipaikkaan. Tulostus tapahtuu muistikortilta tiedostoa lukien. Tähän pakettiin löytyy myös eri versiota askelmoottoreiden ohjainkorteista ja LCD-näyttömoduulista. Kaikki ovat kuitenkin yhteensopivia keskenään.

4.2 Laitteiston suunnittelu

Suunnittelu ja 3D-mallinnus aloitettiin tulostimen runkorakenteesta, jolle oli ennalta tilaajan toimesta määrätty ulkomitoiksi 400 x 400 x 500 mm. Tästä mallinnusta jatkettiin CoreXY-tekniikan X-, Y- ja Z-akseleiden liukulevyihin, jonka jälkeen edettiin X-, Y- ja Z-mootoreiden kiinnikkeiden mallinnukseen. Näiden mallinnusten pohjalta pystyttiin jatkamaan X- ja Y-hihnojen kulmakiinnitysten suunnitteluun, jonka jälkeen varsinainen tulostin runkoineen oli mallinnettu. Koteloinnissa ei ollut enakkoon määriteltyjä mitta- ja ulkonäkövaatimuksia, joten tämä antoi suunnitteluun vapautta.

Koteloinnin suunnittelussa otettiin huomioon työturvallisuus ilmanvaihdon ja liikkuvien osien vuoksi. Koko laitteiston rakenne haluttiin pitää mahdollisimman läpinäkyvänä opeuskäyttö huomioiden. Tämän vuoksi suunnittelussa päädyttiin kapeaan kotelon runkorakenteeseen, jossa kaikki rakenteiden aukotukset lasitettiin käyttäen vesileikkaamalla muotoon valmistettuja pleksilaseja. Laitteiston helppo huollettavuus pystyttiin ottamaan huomioon suunnittelemalla päätykaappeihin ja tulostusalueelle pääsy koko rakenteen korkuisten ovien kautta. Tulostimen elektroniikka ja tulostusmateriaalin syöttölaitteisto eristettiin tulostuskammioista päätykaappeihin. (Kuva 4.)

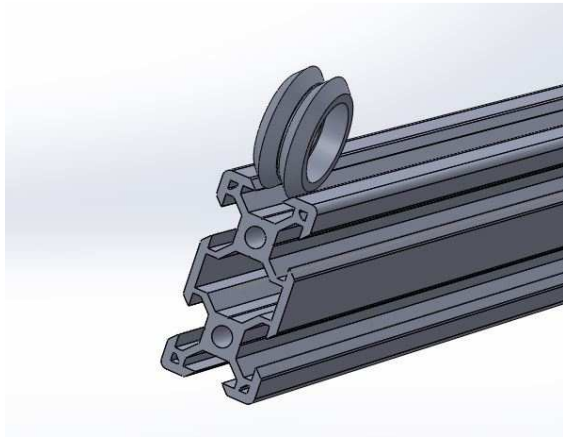


KUVA 4. Tulostimen rakenne

Laitteiston monikäyttöisyyttä haettiin suunnittelemalla työkelkka pikakiinnitteiseksi käytettävän työkalun osalta. Tämä antaa mahdollisuuden jatkokehittää laitteistoa myös muuhun kuin 3D-tulostamiseen. Muita sovellutuksia voisivat olla piirilevyn protojyrsintä ja FIP-tiivisteiden pursotus. Tätä pursotustekniikkaa käytetään kappaleisiin, joissa halutaan kiinteästi kappaleeseen muotoiltuja paikoillaan olevia tiivisteitä.

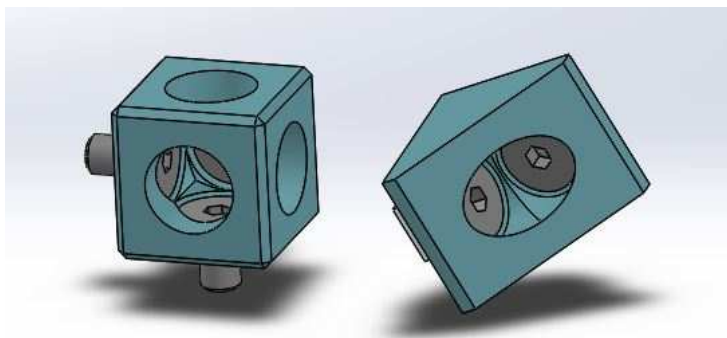
4.2.1 Runkorakenne

Runkorakenne suunniteltiin markkinoilla olevasta määrämittaisena myytävästä V-uriteusta alumiiniprofiilijohteesta. Tämä mahdollisti kuulalaakeroitua rullaa ajettavan profiilin urassa, tai vaihtoehtoisesti profiilin kulmia myöten. Tulostimen runkorakenne 3D-mallinnettiin käyttäen 20 x 20 mm:n ja 40 x 20 mm:n alumiiniprofiilijohdetta. (Kuva 5.)



KUVA 5. 40 x 20 mm:n V-ura alumiiniprofiilijohde

Rungon kokoonpano toteutettiin liittämällä V-ura alumiiniprofiilijohteet toisiinsa 90° kulma-, sekä kuutiomallin nurkkaliitospalojen avulla ruuviliitoksien. (Kuva 6.)



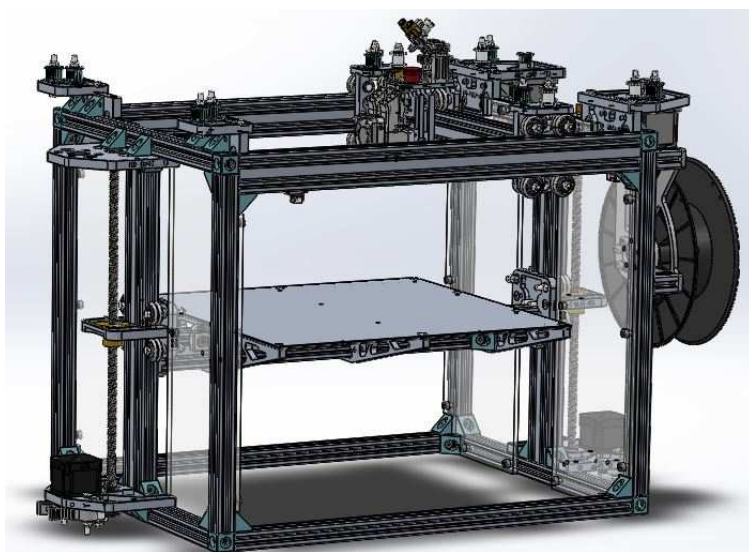
KUVA 6. Kulma- ja nurkkaliitospalat

Kulma- ja nurkkaliitospaloilla rakenne kokoonpantiin jäykäksi kehikoksi. Ruuviliitosten ansiosta rakennetta voidaan muunnella tarpeiden mukaan. (Kuva 7.)



KUVA 7. Rungon kokoonpanon 400 x 400 x 500 mm:n 3D-mallinnus

Tulostimen X- ja Y-liikeradat toteutettiin coreXY-tekniikan ja V-uritettujen kuulalaakeroitujen rullien avulla. Z-akselin pystysuuntainen liike suunniteltiin omna yksikkönään nostamaan ja laskemaan tulostuspöytää kahden trapetsiruuvin ja askelmoottorin avulla. Myös Z-liikkeen rakenteessa V-uritetut rullat toimivat liikettä ohjaavina, mutta pystyprofiileita myöten. (Kuva 8.)



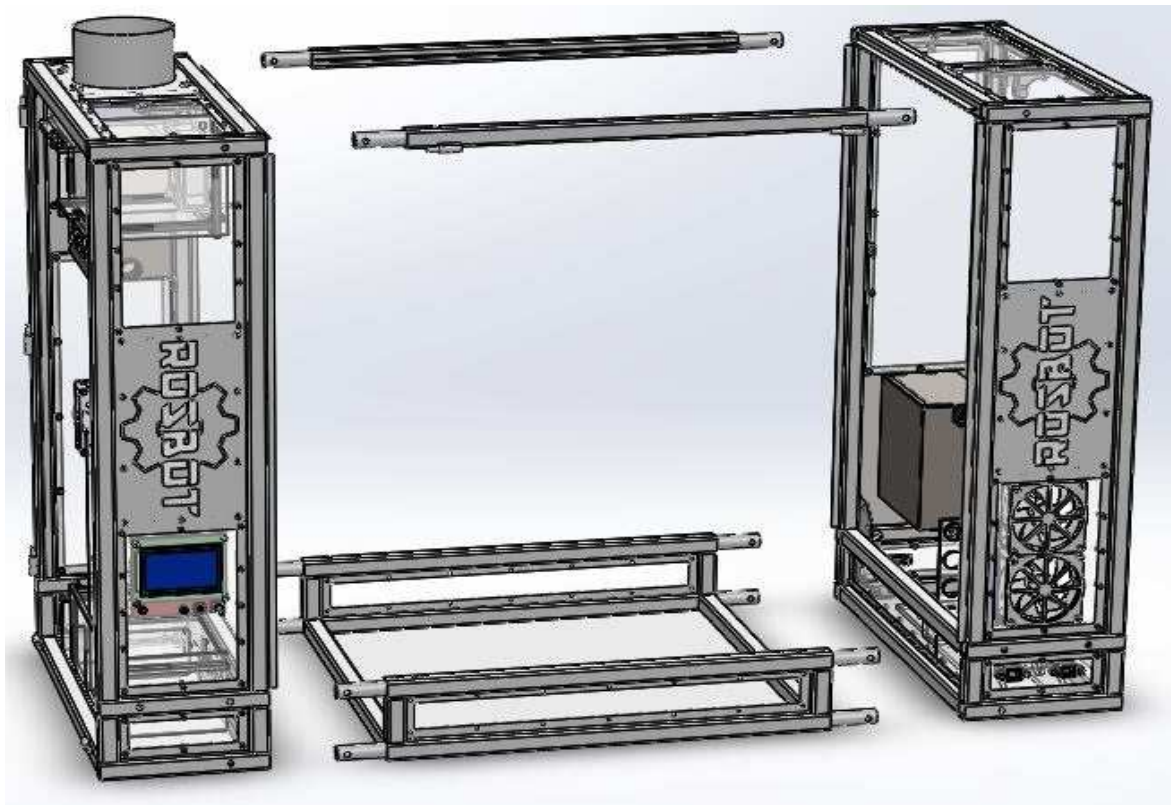
KUVA 8. Tulostimen kokoonpanon 3D-mallinnus

4.2.2 Kotelointi

Koteloinnin suunnittelussa oli tiedossa Stratasys Incin omistamat patentit tulostuskammion esilämmityksestä korkeisiin lämpötiloihin tulostuslaadun parantamiseksi, sekä tulostuskammion kuumuuden ulkopuolelle sijoitetut mekaaniset liikkuvat osat. (11.)

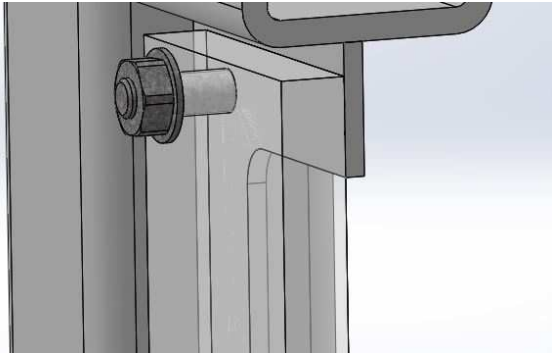
Laitteiston kotelointia ei toteutettu patentoitujen menetelmien pohjalta vaan työturvallisuusnäkökulmasta. Koteloinnin tarkoituksena on mekaanisten liikkuvien osien suojaus ja kemikaalihöyryjen leviämisen estäminen huoneilmaan. Rakenteellisesti tulostin on sijoitettu kokonaisuudessaan koteloinnin sisälle, ja tämän takia kammiota ei voida lämmitellä korkeisiin lämpötiloihin.

Lisäksi koteloinnissa haluttiin jättää sisään jäävä tekniikka mahdollisimman hyvin näkyville, ja tämän takia koteloinnin rungoksi valittiin 20 x 20 x 2 mm:n huonekaluputki. Putkesta suunniteltiin tulostimen ympärille kolme erillistä hitsaamalla kokoonpantavaa kehikorakennetta. Rakenteet suunniteltiin liitettäväksi toisiinsa pulttiliitöksin. (Kuva 9.)



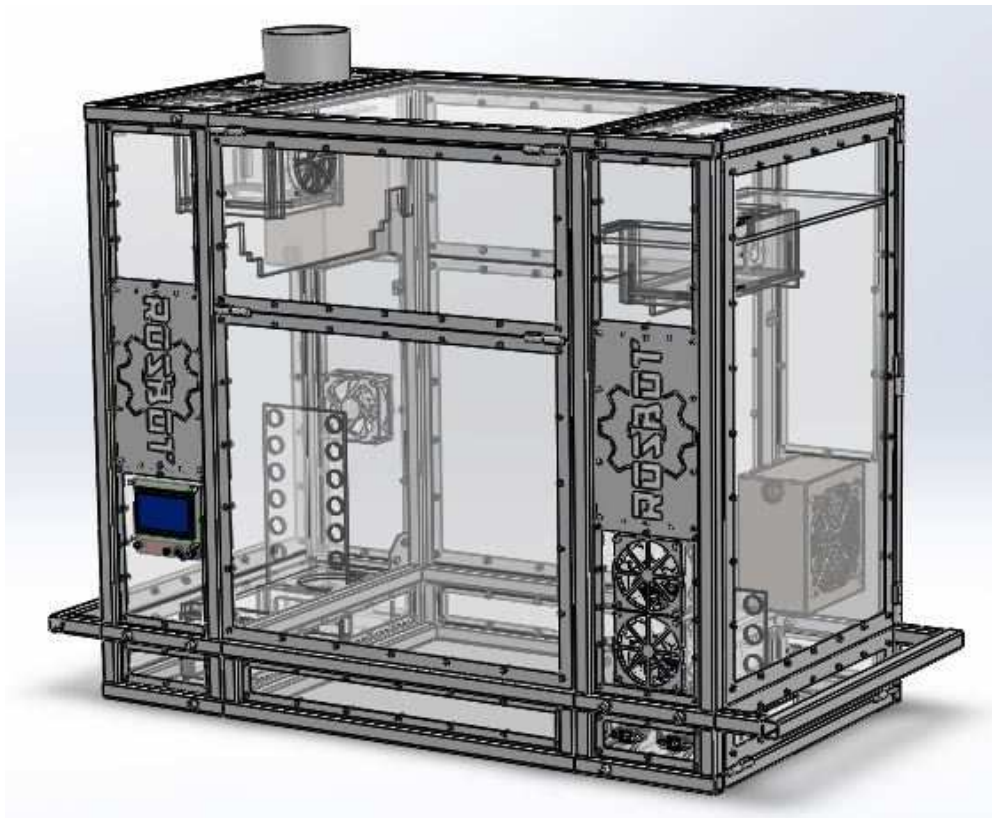
KUVA 9. Koteloinnin kehikorakenteiden 3D-mallinnukset

Kehikon päätyihin ja keskiosan aukkoihin suunniteltiin erilliset tulostimen käyttöä helpottavat irrotettavissa olevat saranoidut ovikehykset. Kaikkiin muihin kehikkorakenteen aukkoihin suunniteltiin kapeat kehykset, joihin kiinnitetään koteloinnin sisäpintaan 5 mm:n paksuinen kirkas pleksilasi pulttiliitoksin. (Kuva 10.)



KUVA 10. Koteloinnin ja lasituksen rakenne

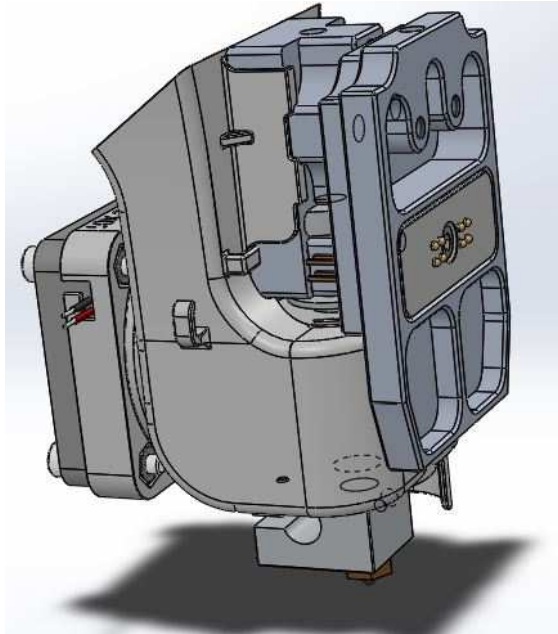
Tällä rakenteella kehikkoon haettiin läpinäkyvyyttä sekä riittävän tukevaa rakennetta. Tulostimen runko-osa suunniteltiin kiinnitettäväksi pulttiliitoksin koteloinnin kehikon sisään jäykistämään samalla tulostimen runkorakennetta. (Kuva 11.)



KUVA 11. ROSBOT-pikamallilaitteiston koteloinnin 3D-mallinnus

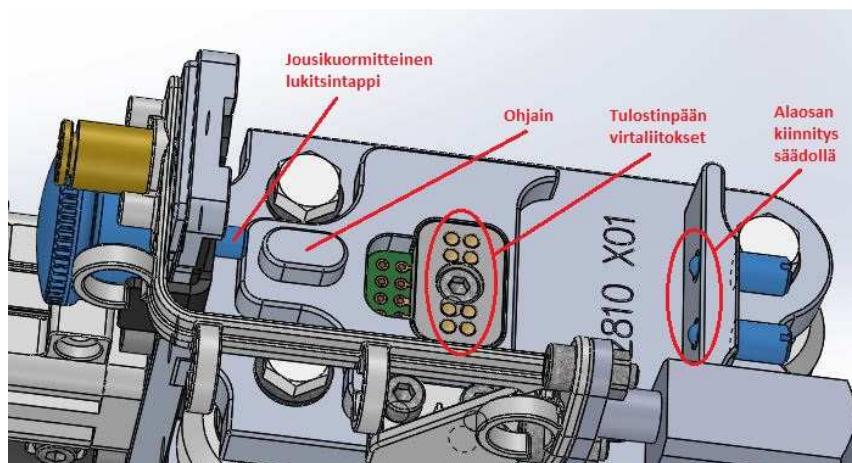
4.2.3 Työkalukiinnitys

Tulostinpää suunniteltiin pikakiinnitteiseksi PnP-tyyppisellä ratkaisulla. Laitteistoon suunniteltaessa eri käyttötarkoitukseen sopivia työkaluja, voidaan pohjaratkaisu pitää samana. Tällöin työkalun vaihto on mahdollista ilman suuria mekaanisia toimenpiteitä. (Kuva 12.)



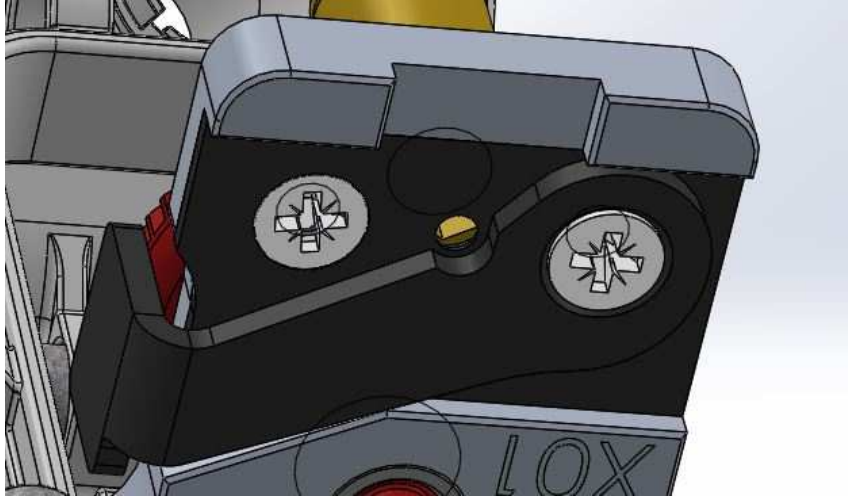
KUVA 12. Pikakiinnitteinen 3D-tulostinpää

Pikakiinnityksessä tulostinpään alaosa asetetaan säädettävien jousikuormitteisten kuu-
lien päälle ja käännetään paikalleen. Käännön jälkeen jousikuormitteiset virtaliittimet oh-
jautuvat kohdilleen ohjaimen avulla. Työlaite lukittuu pystyasentoon jousikuormitteisen
ohjaintapin avulla. (Kuva 13.)



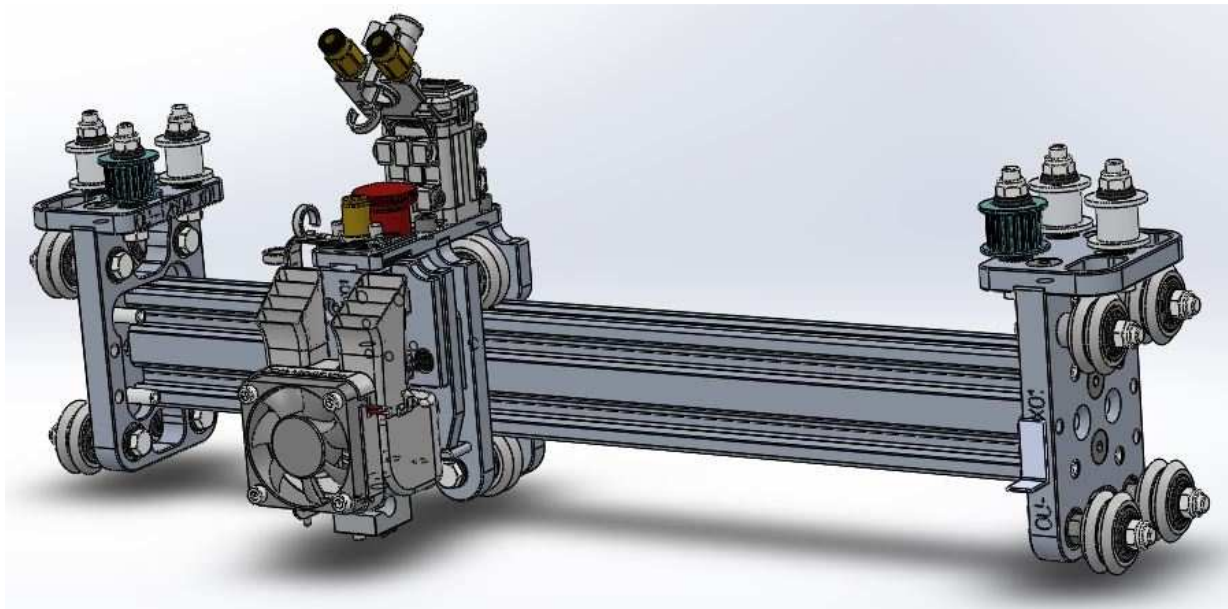
KUVA 13. Tulostinpään liukukelkan pikakiinnitys

3D-tulostinpään nopeaan irrottamiseen suunniteltiin saksimallin tulostinlangan katkaisija. Rakenteellisesti tämä sijoitettiin siten että se ei ole esteenä muiden työkalujen käytölle. (Kuva 14.)



KUVA 14. Tulostinlangan katkaisin

Tulostinpään pohjarakenteen ja liukukelkan suunnittelussa ajatuksena pidettiin, että ne soveltuisivat sellaisenaan myös eri vaihtotyökaluille akseliston ja kiinnityksien pysyessä samana. (Kuva 15.)



KUVA 15. Täydellinen XY-liukuakseliston kokoonpano 3D-mallinnuksena

4.2.4 Dokumentaatio

Dokumentoinnissa kaikille kappaleille ja kokoonpanoille luotiin yksilölliset OU-alkuiset nimikekoodit koulun verkossa SolidWorksiin liitetyn PNG-ohjelman avulla. (Liite 1.) Yksilölliset nimikkeet luotiin sen vuoksi, että samoja nimikekoodeja ei olisi päällekkäisesti luotuna mihinkään oppilas- tai koulutyön dokumentaatioon. Opinnäytetyön kappaleiden ja kokoonpanojen 3D-mallinnukset sekä dokumentaatiot liitetään tulevaisuudessa koulun PDM-järjestelmään. Yksilöllisen numeroinnin avulla vältetään liittämisvaiheen ristiriitaisuuksilta muiden järjestelmään luotujen dokumenttien kanssa.

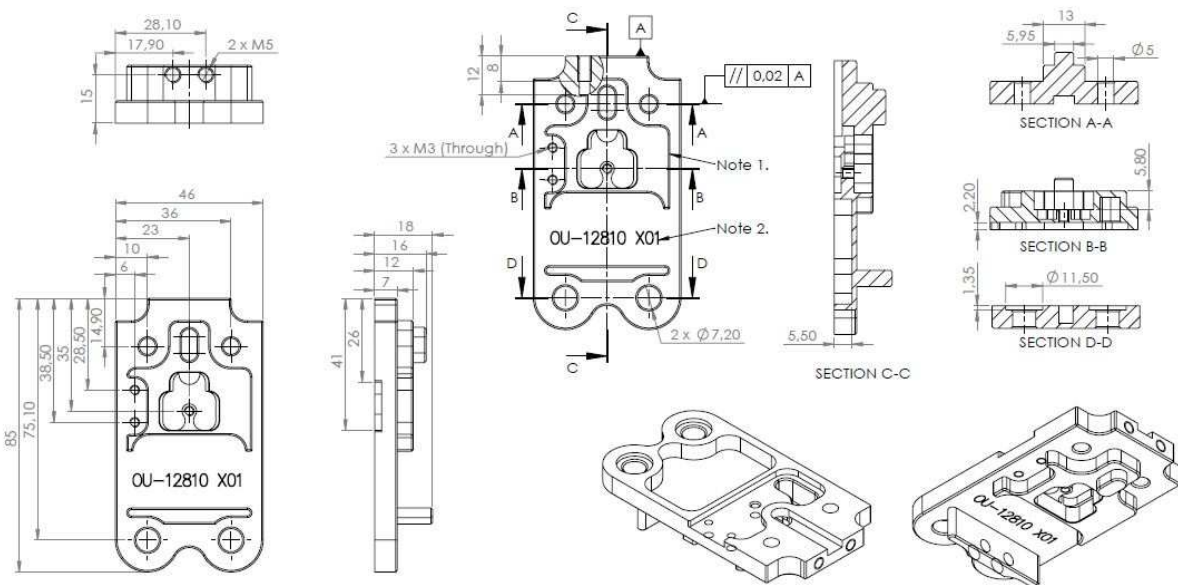
Laitteiston 3D-mallinnuksessa käytettiin hyödyksi kaupallisten komponenttien valmistajien www-sivustoilta löytyviä valmiita 3D-mallinnuksia, jolle luotiin myös yksilölliset nimikkeet koulun PDM-järjestelmää varten. Kaikista valmistettavista osista luotiin 3D-mallinnukset, työpiirustukset sekä tarvittavat tiedostokäännökset vesileikkausta ja 3D-tulostamista varten. Koneistuksessa tarvittavia CAM-tiedostoja sekä kaupallisten komponenttien työpiirustuksia ei opinnäytetyön puitteissa luotu.

5 SAAVUTETUT TULOKSET

Opinnäytetyössä saavutettiin ensisijaiset tavoitteet laitteiston suunnittelussa ja luomaan laaja yhteensovittava kokonaisuus. Laitteistosta luotiin FFF- ja CoreXY-tekniikalla toteutettu 3D-mallinnus. Kappaleista luotiin työpiirustukset ja tärkeimmistä kokoonpanoista kokoonpanopiirustukset. Lisäksi kappaleiden 3D-mallinuksista tehtiin tarvittavat tiedostomuotojen käännökset vesileikkausta ja prototyypiteknikoita varten. Näitä tuotoksia voidaan halutessa hyödyntää monella konetekniikan eri opintojaksolla niin teoriaopetuksessa kuin laboratorioharjoituksissakin.

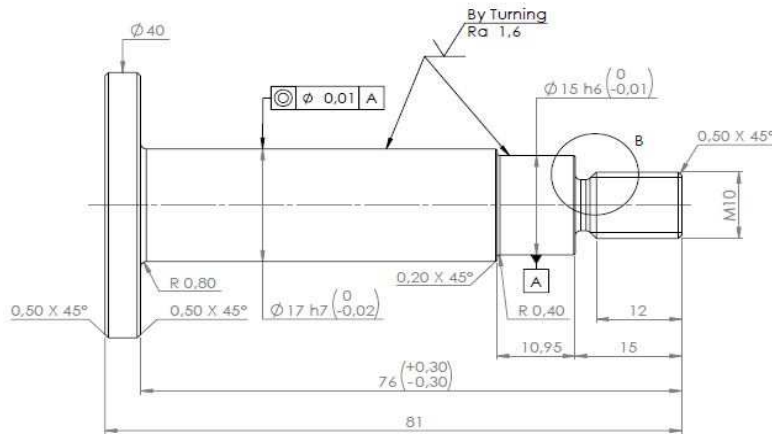
5.1 Hyödynnettävät opintojaksot

Koneistusta vaativat kappaleet suunniteltiin valmistettavaksi levy- ja lattamateriaaleista, jolloin aihoiden valmistukseen voidaan hyödyntää vesileikkausta Valmistustekniikka 1:n opintojakson laboratorioharjoituksissa. Näistä syntyneistä aihioista voidaan valmistaa Valmistustekniikka 2:n ja Valmistustekniikan jatkokurssin opintojaksojen laboratorioharjoituksissa kappaleet lopputuotteiksi koneistamalla. Erilaisia alumiinista koneistettavia kappaleita työssä syntyi yhteensä 15 kpl, joissa kaikissa voidaan hyödyntää vesileikkausta aihion valmistuksessa. Koneistuksessa vaadittujen CAM-tiedostojen luominen voidaan toteuttaa valmiiden 3D-mallinnusten avulla käyttämällä hyödyksi kappaleiden työpiirustuksia. (Kuva 16.)



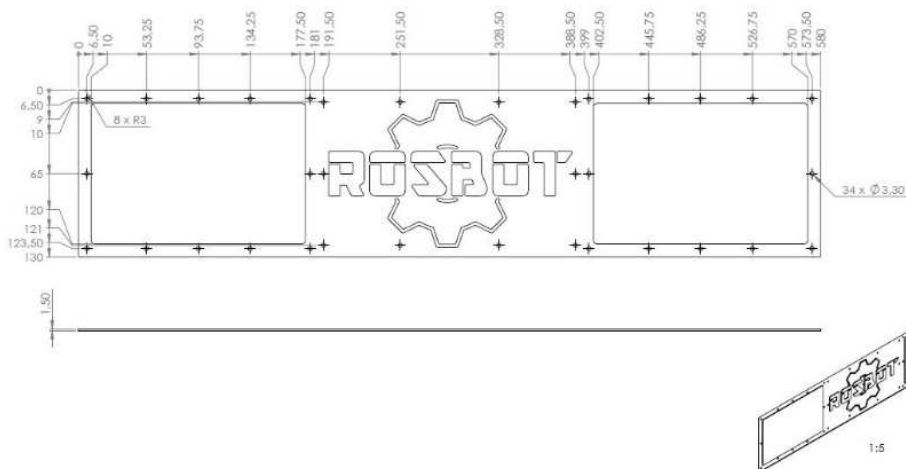
KUVA 16. Tulostinkelman kiinnityslevy

Pyörähdyssymmetrisiä ja sorvaamalla valmistettavia kappaleita työssä syntyi 2 kpl, joihin otettiin huomioon sorvauksessa käytettyjä työstötapoja aina rouhinnasta pinnan viimeistelyyn ja väistöjen tekoon. Kappaleille asetettiin myös toleranssi- ja pinnankarheusvaatimukset sekä geometriset toleranssit sama-akselisuuksien suhteen. (Kuva 17.)



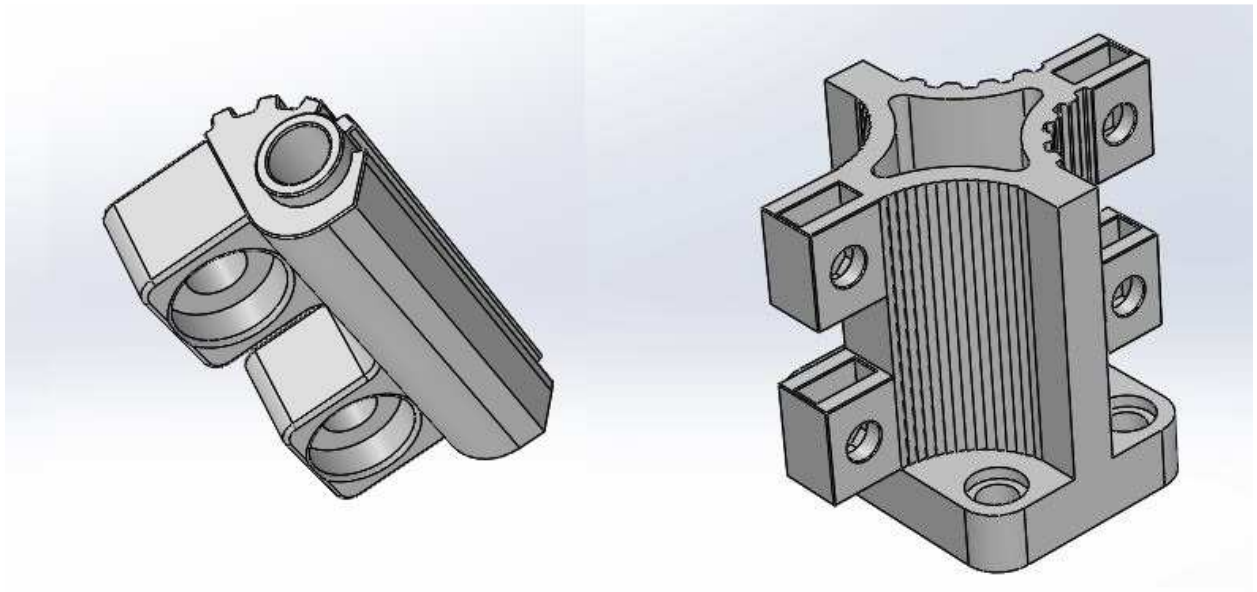
KUVA 17. Akselin mitoitus

Koneistettavista ja sorvattavista kappaleista saatiin luotua teknillisen piirustuksen opintojakson teoriaopintoihin hyödynnettävissä olevat piirustukset monipuolisilla piirustusmerkinnöillä. Vastaavasti Valmistustekniikka 2 :n opintojaksolla laboratorioharjoituksessa työpiirustuksia voidaan hyödyntää sellaisenaan kappaleiden valmistuksessa. (Liite 2.) Vesileikkausta vaativia ja eri materiaaleista valmistettavia kappaleita työssä syntyi kaiken kaikkiaan yhteensä 80 kpl. Näistä kaikista luotiin mittapiirustukset ja käännökset DXF-tiedostomuotoon. (Kuva 18.)



KUVA 18. Mittapiirustus vesileikattavalle kappaleelle

Erilaisia prototyypiteknikoilla valmistettavia kappaleita työssä syntyi yhteensä 24 kpl. Näiden kappaleiden valmistusta voidaan hyödyntää niin Valmistustekniikan kuin Prototyypiteknikankin opintojaksojen laboratorioharjoituksissa. (Kuva 19.) Kappaleet valmistetaan SLS- tai FFF-menetelmän avulla tulostamalla, ja valmistuneista osista voidaan valita sopivimmat tyhjövalutekniikalla toteutettavaksi. Näille kappaleille valmistetaan silikonimuotit, jonka jälkeen kappaleita voidaan valmistaa hartsista tyhjövalutekniikalla. Prototyypiteknikoilla valmistettavista kappaleista luotiin tiedostokäännökset STL-tiedostomuotoon.



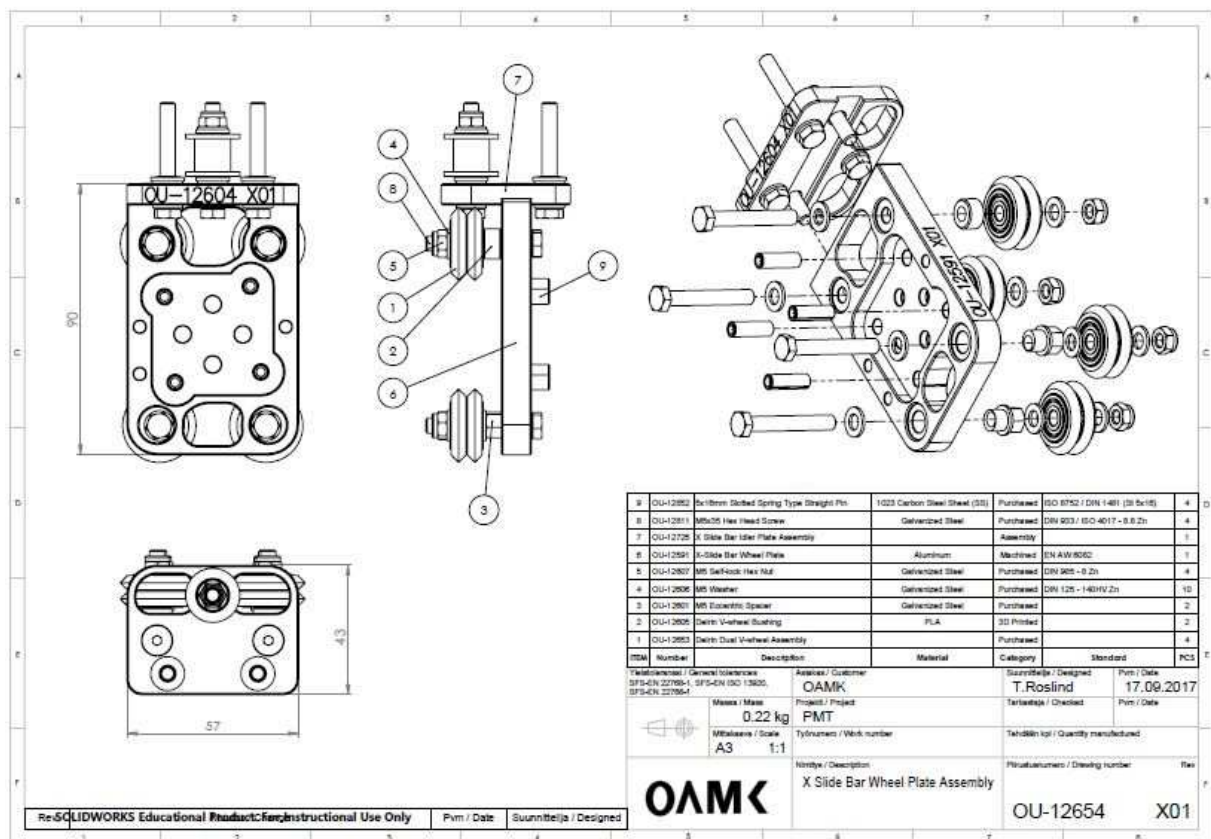
KUVA 19. Hammashihnan lukitsin ja vastakappale

Tulostimen X- ja Y-liikeradat toteutettiin hammashihnakäytöllä ja Z-liikeradat kahden trapetsiruuvien avulla. Tämä antaa mahdollisuuden muokata laitteesta erilaisiin käyttötarkoituksiin sopivia laiteversioita. Kone-elimien opintojaksolla voidaan mitoittaa rakenteeseen vaadittavat hammashihnat ja trapetsiruuvit välityksineen. Mekanisointiyksiköt opintojaksolla voidaan laskea ja perehtyä laajemmin tulostimen kiihtyvyyteen ja tulostusnopeuteen vaikuttaviin seikkoihin. Näiltä opintojaksoilta opittuja teoretietoja yhdistelemällä voidaan Sähkökäytöt opintojaksolla mitoittaa laitteistoon halutunlaiset askelmoottorikäytöt.

Tämän vuoksi opinnäytetyössä ei oteta kantaa laitteen tulostusnopeuteen eikä kiihtyvyyteen. Todettakoon vain, että rakenteellisesti X- ja Y-liikeradat on suunniteltu Nema23 -luokan, ja Z-liikeradat Nema17 -luokan askelmoottorikäyttöille.

Koteloinnin kokoonpanot on suunniteltu toteutettavan pääasiassa MIG-hitsauksella. Tämä mahdollistaa Kone-elimet opintojakson teoriassa hitsauksesta saadun opin yhdistämisen valmistustekniikan laboratorioharjoituksiin.

Kokoonpanoja työssä syntyi yhteensä 58 kpl, mukaan lukien markkinoilta löytyvät valmiit mallinnukset. (Liite 3.) Opinnäytetyön puitteissa vain näistä tärkeimmistä luotiin kokoonpanopiirustukset. (Kuva 20.) Tärkeimmiksi kokoonpanoiksi valittiin tulostimen liikeratojen luomiseen vaadittavat kokoonpanot. (Liite 4.) Muiden kokoonpanojen sisältö voidaan opilastöiden puitteissa muokata kulloiseenkin tarpeeseen sopivaksi ja luoda uuden rakenteen mukainen kokoonpanopiirustus. 3D-mallinnusten muokkaaminen ja piirustusten valmistaminen voidaan sisällyttää 3D-CAD opintojaksojen harjoitustöihin.



KUVA 20. Liukukelkan kokoonpanopiirustus

Laitteiston pääkokoonpano käsittää yhteensä 215 kpl erilaista osaa kiinnitystarvikkeineen. (Liite 5). Yksittäisiä osia kokoonpanoon kertyi yhteensä noin 2 700 kpl, joista kiinnitystarvikkeiden osuus on noin 2 100 kpl. 3D-mallinnuksesta jäi puuttumaan kaikki tarvittavat kaapeloinnit elektroniikasta ja käyttölaiteistosta, joten todellinen osien määrä on ilmoitettua huomattavasti suurempi.

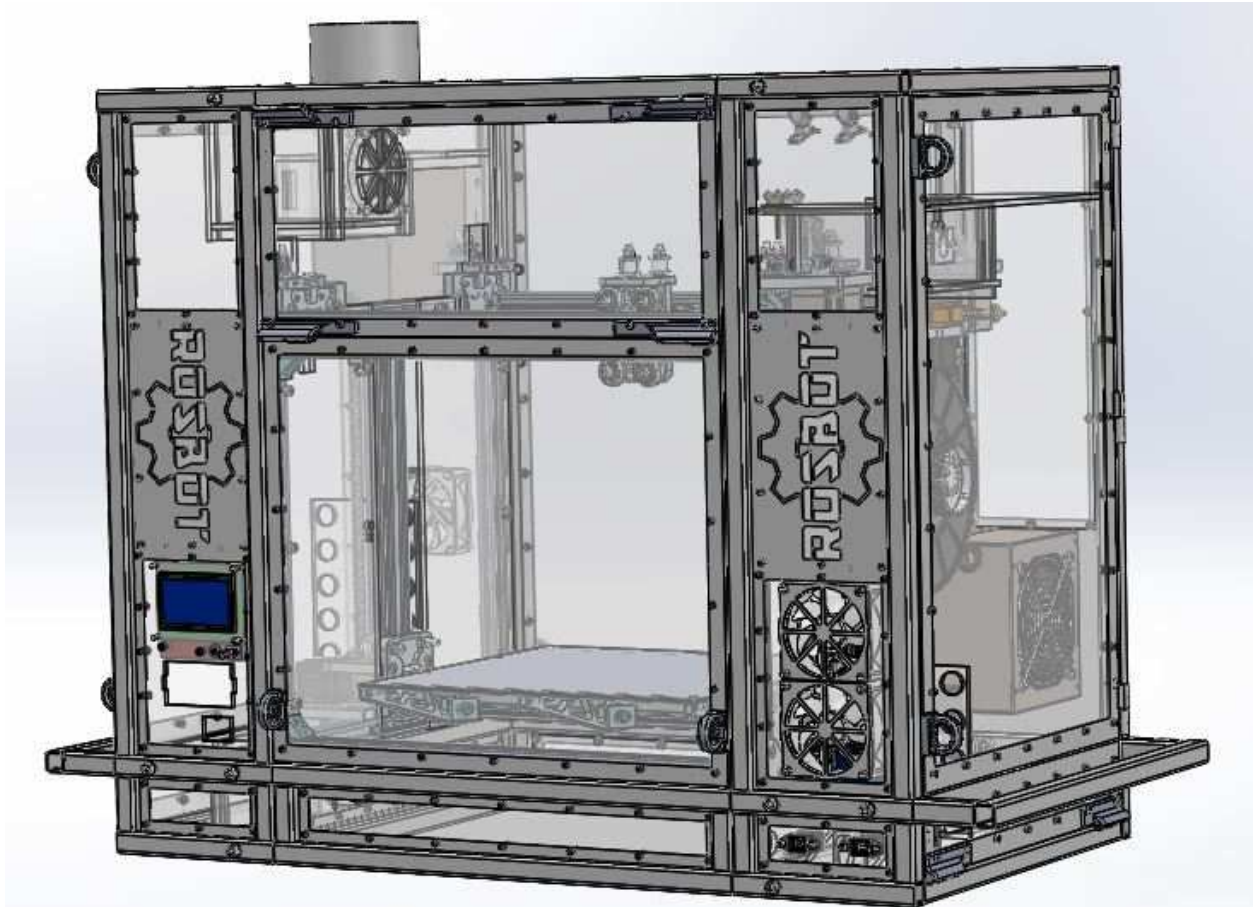
Suunnitelmia voidaan halutessa hyödyntää usean eri konetekniikan opintojakson teoriaopetuksessa ja viedä toteutettavaksi käytännön tasolle. Opintojen rytmityksellä laitteistoa voidaan jatkokehittää yhdistelemällä opintojaksojen teoriaopintoja ja harjoitustöitä laitteiston toteutukseen saakka. Kehittämistä ja toteutustyötä voidaan tehdä ainakin seuraavien opintojaksojen opinnoissa:

- 3D CAD 1
- 3D CAD 2
- 3D CAD 3
- Elektroniikan perusteet
- Johdatus ohjelmointiin
- Kone-elimet 1
- Kone-elimet 2
- Lujuusoppi
- Mekanisointiyksiköt
- Mekaniikkasuunnittelu
- Ohjausjärjestelmät
- Prototyypitekniikka
- Sähkökäytöt
- Tuotekehitys
- Tuotetiedon hallinta
- Teknillinen piirustus ja CAD
- Valmistustekniikka 1
- Valmistustekniikka 2
- Valmistustekniikan jatkokurssi.

Tuotteistamalla suunnitelmat opetuksen sisältöön on mahdollista kehittää mitä erilaisempia laitekokonaisuuksia vastaamaan myös mahdollisia asiakastarpeita. Haluttaessa tästä on mahdollista rakentaa konetekniikan opiskelijalle sisältö, jossa voi nähdä kokonaisuuden suunnittelusta valmiin laitteiston toteutukseen.

5.2 Valmis 3D-mallinnus

Mallinnuksesta rakentui varsin suuri ja raskastekoinen laitteisto. Tähän vaikuttivat vaatimukset eri valmistusmenetelmistä sekä kappaleissa käytetyt raaka-aineet. Kokonaispainoksi ilman kaapelointeja kertyi noin 59 kg. Suuri osa painosta kertyi yksistään koteloinnin teräsrakenteesta, joka on painoltaan noin 25 kg. Laitteiston lopullisiksi ulkomitoiksi muodostui 950 x 457 x 691,5 mm. (Kuva 21.)



KUVA 21. ROSBOT Fantasy -3D-tulostimen kokoonpanon 3D-mallinnus

Tulostustilavuudeksi mallinnuksessa saatiin 280 x 280 x 260 mm, joka on tulostimen rungon kehikolle määrättyjen ulkomittojen 400 x 400 x 500 mm:n puitteissa varsin kohtuullinen.

5.3 Materiaalikustannukset

Valmistettavien kappaleiden raaka-aineet valittiin yleisimpien perusmateriaalien puolelta materiaalikustannusten pitämiseksi mahdollisimman alhaisina. Näin ollen valinnat tehtiin

standardien mukaisista helposti markkinoilta saatavista olevista materiaaleista ja raaka-aineista. Materiaalikustannukset koko laitteiston osalta mukaan lukien kaupalliset komponentit ja kiinnitystarvikkeet ovat noin 1 300 € ilman työ- ja laitekustannuksia. Laskelmat perustuvat opinnäytetyön tekohetkellä markkinoilta vapaasti löytyvien raaka-aineiden ja tarvikkeiden hintoihin.

Kiinnitystarvikkeiden ja kaupallisten komponenttien kustannukseksi kustannusarviossa kertyi kokonaisuudessaan noin 860 €. Näiden materiaalien hintoja voisi saada huomattavasti alhaisemmaksi keskittämällä ostoja sekä ostamalla tarvikkeet kerralla useampaan laitteistoon. Vesileikattavissa nimikkeissä laskelma suoritettiin pelkän kappaleen pinta-alan perusteella materiaalin neliöhinnasta. Huomioon otettiin noin 10 % materiaalihukka kappaleiden erilaisten muotojen vuoksi. Tämän ryhmän nimikkeille materiaalikustannukseksi kertyi noin 260 €.

Koneistettavien ja sorvattavien nimikkeiden materiaalikustannukset on laskettu myös pelkän raaka-aineen mukaan, mutta vesileikkauksen vuoksi laskelmiin lisättiin arvio 10 % materiaalihukasta. Tämän ryhmän kustannusarvioksi kertyi noin 75 €. 3D-tulostettavien, sintraamalla valmistettavien sekä tyhjövaluna tehtävien nimikkeiden materiaalikustannukset ovat noin 80 €. Perustuen pelkästään raaka-aine hintoihin. Metritavarasta määrätään leikattavien raaka-aineiden hinnaksi kertyi noin 40 €. Tähän ryhmään kuuluu muun muassa kotelon runkorakenne.

6 LOPPUSANAT

Työssä luotiin suunnitelmat ja dokumentaatio pikamallilaitteen kaupallistamiseksi koulun opetustyön ohella. Suunnittelu pohjattiin standardien mukaisiin komponentteihin ja hyödynnettiin valmistajien omia 3D-mallinnuksia. Elektroniikassa hyödynnettiin kotikäytössä eniten käytettyä Arduino-pohjaista tekniikkaa. Tekniikka on helposti saatavilla ja hyvien yhteensopivuuksien lisäksi komponentit ovat suhteellisen halpoja.

Suunnittelussa otettiin huomioon laitteiston muita mahdollisia käyttötarpeita heti suunnittelun alkuvaiheessa. Näitä onnistuttiin huomioimaan suunnittelemalla tulostuspää pika kiinnitteiseksi, ja se mahdollistaa erilaisten vaihdettavien työkalujen kehittämisen laitteistoon. Koko laitteisto onnistuttiin koteloimaan ensisijaisen tavoitteen sekä työturvallisuus huomioon ottaen. Laitteistosta tosin kehittyi koteloinnin ja käytettyjen materiaalien vuoksi varsin raskaansarjan pöytälaite.

Opinnäytetyön aihe osoittautui yllättävän laajaksi, ja tämän vuoksi tulevien oppilasprojektien myötä jatkokehitystarpeita laitteistosta löytyy varmasti. Suunnittelun edetessä yhä pidemmälle tuli todettua kappaleiden mallinuksissa monta asiaa jotka olisi voinut toteuttaa täysin toisella tavalla. Rajallisen ajan vuoksi näihin en kuitenkaan palannut tekemään muutoksia. Suuren työmäärän takia työssä jäikin selvittämättä toissijaisista tavoitteista 3D-tulostimen ohjaus Raspberry Pi:n avulla. Lisäksi suunnitelmien todentaminen prototyypin avulla jäi toteuttamatta koululla vallinneen resurssipulan takia kappaleiden valmistuksessa ja kokoonpanossa.

Kokonaisuudessaan opinnäytetyössä onnistuttiin kuitenkin luomaan suunnitelmat ensisijaisien tavoitteiden mukaisesti FFF-tekniikan omaavasta koteloidusta pikamallilaitteesta. Saavutettuja suunnitelmia voidaan haluttaessa hyödyntää eri laboratoriotöiden harjoituksissa, sekä teoriaopetuksen tukena. Lisäksi laboratorion materiaalihankintoja voidaan järkevöittää hyötykäyttöön ja pienentää halutessa hankintakuluja osien ja laitteistojen myynnillä. Opinnäytetyössä valmistuneiden suunnitelmien pohjalta laitteistoa ja kappaleiden valmistamista opetuksen tukena on kuitenkin helpompi ryhtyä jatkokehittämään.

LÄHTEET

1. Tietoa eri tulostustekniikoista ja termeistä. 2016. Grano 3D Oy. Saatavissa: <http://www.rpcase.fi/Sovellukset/Tietoa-eri-teknikoista>. Hakupäivä 6.5.2018
2. FFF Vs. SLA Vs. SLS: 3D Printing. 2018. Sd3d. Saatavissa: <https://www.sd3d.com/fff-vs-sla-vs-sls/>. Hakupäivä 6.5.2018
3. Fused filament fabrication. 2018. Wikipedia. Saatavissa: https://en.wikipedia.org/wiki/Fused_filament_fabrication. Hakupäivä 6.5.2018
4. Filamentit 3D-tulostimille. 2010 – 2018. 3DJake. Saatavissa: <https://www.3djake.fi/filamentit>. Hakupäivä 6.5.2018
5. 3D-tulostusmateriaaleista tietoa. 2018. MyNewsDesk. Saatavissa: <http://www.mynewsdesk.com/fi/news/3d-tulostusmateriaaleista-tietoa-80005>. Hakupäivä 6.5.2018
6. PET / PETG -filamentti 3D-tulostimille. 2010 – 2018. 3DJake. Saatavissa: <https://www.3djake.fi/filamentit/pet-filamentit>. Hakupäivä 6.5.2018
7. Principle of Operation. 2012. Corexy.com. Saatavissa: <http://corexy.com/theory.html>. Hakupäivä 6.5.2018
8. Uudet ohjeet: Näin työskentelet turvallisesti 3D-tulostinten kanssa. 2016. Työterveyslaitos. Saatavissa: <https://www.ttl.fi/uudet-ohjeet-nain-tyoskentelet-turvallisesti-3d-tulostinten/>. Hakupäivä 6.5.2018
9. RAMPS 1.4. 2018. paradisetric.com. Saatavissa: <https://paradisetric.com/en/3d-printer/ramps-1-4-kit-shield-mega-2560-5x-a4988-12864-lcd-reprap-3d-printer>. Hakupäivä 6.5.2018
10. Arduino Mega. 2018. arduino.cc. Saatavissa: <https://store.arduino.cc/arduino-mega-2560-rev3>. Hakupäivä 23.5.2018
11. Heated Build Chamber. 2017. RepRap.org. Saatavissa: http://reprap.org/wiki/Heated_Build_Chamber. Hakupäivä 6.5.2018

LAITTEISTOON LUODUT NIMIKKEET

LIITE 1/1

ITEM	Number	Description	Material	Category	Standard	PCS
1	OU-12591	X-Slide Bar Wheel Plate	Aluminum	Machined	EN AW 6082	2
2	OU-12592	40x20x347 Y-slide V-slot bar	6063-T5	Purchased		1
3	OU-12593	40x20x460mm X-Slide V-slot Bar	6063-T5	Purchased	SFS EN 755-2 (AW-6063-T5 [Al Mg0.75Si])	2
4	OU-12594	20x20x360mm V-slot End Bar	6063-T5	Purchased	SFS EN 755-2 (AW-6063-T5 [Al Mg0.75Si])	8
5	OU-12598	20x20x460mm V-slot Bottom Side Bar	6063-T5	Purchased	SFS-EN 755-2 (AW-6063-T5 [Al Mg0.75Si])	2
6	OU-12599	20x40x360mm Z-Slide V-slot Bar	6063-T5	Purchased	SFS EN 755-2 (AW-6063-T5 [Al Mg0.75Si])	2
7	OU-12600	Three Way Cube Corner	Polyester Resin	Molded		8
8	OU-12601	M5 Eccentric Spacer	Galvanized Steel	Purchased		10
9	OU-12602	Delrin Dual V-Wheel	Nylon 101	Purchased		20
10	OU-12603	XY-Motor Housing Plate	Aluminum	Machined	EN AW 6082	2
11	OU-12604	XY-Slide Idler Plate	Aluminum	Machined	EN AW 6082	2
12	OU-12605	Delrin V-wheel Bushing	PLA	3D Printed		18
13	OU-12606	M5 Washer	Galvanized Steel	Purchased	DIN 125 - 140HV Zn	134
14	OU-12607	M5 Self-lock Hex Nut	Galvanized Steel	Purchased	DIN 985 - 8 Zn	42
15	OU-12609	M5x16 Hex Socket Countersunk Screw	Galvanized Steel	Purchased	DIN 7991 - 10.9 Zn	12
16	OU-12610	90 Degree Angle Corner	Polyester Resin	Molded		50
17	OU-12611	M5x10 Hex Socket Countersunk Head Screw	Galvanized Steel	Purchased	DIN 7991 - 10.9 Zn	156
18	OU-12612	M5 Square Nut	Chrome Stainless Steel	Purchased	DIN 562 - A2	138
19	OU-12613	M3x10 Socket Head Screw	Galvanized Steel	Purchased	DIN 912 / ISO 4762 - 8.8 Zn	359
20	OU-12614	M3 Washer	Galvanized Steel	Purchased	DIN 125 - 140HV Zn	417
21	OU-12615	M3x10 PZ Countersunk Head Screw	Galvanized Steel	Purchased	DIN 965 - Zn	2
22	OU-12616	Print Table Beam	Aluminum	Machined	EN AW 6082	3
23	OU-12617	Filament Spool				1
24	OU-12622	20x40x447mm Z-Table Bar	6063-T5	Purchased		1
25	OU-12623	Z-Slide Trapez Plate	Aluminum	Machined	EN AW 6082	2
26	OU-12625	Z-Slide Bar Wheel Plate	Aluminum	Machined	EN AW 6082	2
27	OU-12626	Print Table Bottom Plate	Aluminum	Water Cut	EN AW 6082	1
28	OU-12627	Feeder Axle Roll	1.0037 (S235JR)	Turned	EN 10210	1
29	OU-12628	Filament Spool Arm Plate	Aluminum	Water Cut	EN AW 6082	1
30	OU-12629	Feeder Stand Axle	1.0570 (S355J2G3)	Turned	EN 10025	1
31	OU-12630	ACME ANTI-BACKLASH NUT Acme Anti-Backlash Nut	Brass	Purchased		2
32	OU-12631	TR8x8x379mm 4 Lead Acme Screw	AISI 304	Purchased		2

LAITTEISTOON LUODUT NIMIKKEET

LIITE 1/2

ITEM	Number	Description	Material	Category	Standard	PCS
33	OU-12633	Top Corner Assembly Plate	Aluminum	Machined	EN AW 6082	4
34	OU-12635	80mm Fan Finger Guard	Plain Carbon Steel	Water Cut		3
35	OU-12636	Print Table Top Plate	Aluminum	Water Cut	EN AW 6082	1
36	OU-12637	Print Table Center Frame	Aluminum	Water Cut	EN AW 6082	1
37	OU-12638	300x300x1 Silicone Heating Mat	Silicon	Purchased		1
38	OU-12640	Z-Motor Housing Plate	Aluminum	Machined	EN AW 6082	4
39	OU-12642	T2.5 Timing Belt Closed Loop	POLYURETHANE (11671)	Purchased		2
40	OU-12643	T2.5 16 teeth pulley w heel, 6,35mm bore	6061 Alloy	Purchased		2
41	OU-12644	4x6mm Socket Set Screw Cup Point	Galvanized Steel	Purchased	DIN 916 / ISO 4029 45H Zn	12
42	OU-12645	T2.5 - idler pulley	Polyester Resin	Molded		8
43	OU-12646	12864 LCD Full Graphic Display Controller, RAMPS 1.4		Purchased		1
44	OU-12648	422x150mm Cabinet Bottom Plate	Plain Carbon Steel	Water Cut		2
45	OU-12649	16x1.5 Connecting Pipe	Plain Carbon Steel	Cut to size	DIN 2395 / SS-EN 10305-5 (S235)	16
46	OU-12650	20x20x2 Cabinet Center Connector Beam	Plain Carbon Steel	Cut to size	DIN 2395 / SS-EN 10305-5 (S235)	6
47	OU-12691	T2.5 idler pulley w asher	Polyester Resin	Molded		8
48	OU-12692	M5 Conical Spring Washer	Galvanized Steel	Purchased	DIN 6796 - Zn	44
49	OU-12694	M5x40 Hex Head Screw	Galvanized Steel	Purchased	DIN 933 / ISO 4017 - 8.8 Zn	27
50	OU-12695	Corner Idler Plate	Aluminum	Machined	EN AW 6082	2
51	OU-12697	M4x16 Socket Head Screw	Galvanized Steel	Purchased	DIN 912 / ISO 4762 - 8.8 Zn	2
52	OU-12698	Nema 23, Bipolar Stepper Motor, ht 1.26Nm, 2.8A		Purchased	PKP264D28A-L / 23HS22-2804S	2
53	OU-12699	M4 Washer	Galvanized Steel	Purchased	DIN 125 - 140HV Zn	56
54	OU-12700	M5x20 Hex Head Screw	Galvanized Steel	Purchased	DIN 933 / ISO 4017 - 8.8 Zn	10
55	OU-12701	M4x10 Socket Head Screw	Galvanized Steel	Purchased	DIN 912 / ISO 4762 - 8.8 Zn	17
56	OU-12702	T2.5 16 teeth pulley w heel, 5mm bore	Aluminum	Purchased	EN AW 6082	4
57	OU-12703	T2.5 Belt Tensioner Body	Plain Carbon Steel	Water Cut		4
58	OU-12704	M5x25mm Threaded Rod	Plain Carbon Steel	Cut to size	DIN 975 - 8.8 St	4
59	OU-12705	T2.5 Belt Tensioner Handle Left	PLA	3D Printed		2
60	OU-12706	T2.5 Belt Tensioner Handle Right	PLA	3D Printed		2
61	OU-12708	Cabinet Upper Vertical Beam	Plain Carbon Steel	Cut to size	DIN 2395 / SS-EN 10305-5 (S235)	8
62	OU-12709	Cabinet Bottom Vertical Beam	Plain Carbon Steel	Cut to size	DIN 2395 / SS-EN 10305-5 (S235)	12
63	OU-12710	Cabinet Outer Horizontal Crossbeam	Plain Carbon Steel	Cut to size	DIN 2395 / SS-EN 10305-5 (S235)	8
64	OU-12711	Cabinet Inner Horizontal Crossbeam	Plain Carbon Steel	Cut to size	DIN 2395 / SS-EN 10305-5 (S235)	12

LAITTEISTOON LUODUT NIMIKKEET

LIITE 1/3

ITEM	Number	Description	Material	Category	Standard	PCS
65	OU-12712	Middle Housing Bottom Plate	Plain Carbon Steel	Water Cut		1
66	OU-12713	130x50 Cabinet Bottom Window Frame	Plain Carbon Steel	Water Cut		4
67	OU-12714	Right Cabinet Back Window Frame	Plain Carbon Steel	Water Cut		1
68	OU-12715	Left Cabinet Back Window Frame	Plain Carbon Steel	Water Cut		1
69	OU-12716	Cabinet Front Window Frame	Plain Carbon Steel	Water Cut		2
70	OU-12717	Cabinet Middle Housing Window Frame	Plain Carbon Steel	Water Cut		2
71	OU-12718	Right Cabin Front Center Window	Makrolon® UV clear 2099	Water Cut		1
72	OU-12719	End Cabinet Bottom Window	Makrolon® UV clear 2099	Water Cut		2
73	OU-12720	Nema 17, Bipolar Stepper Motor, ht 59Ncm, 2.0A		Purchased	17HS19-2004S1	3
74	OU-12741	M3 Hex Nut	Galvanized Steel	Purchased	DIN 934 - 8.8 St	440
75	OU-12742	M4x40 Socket Head Screw	Galvanized Steel	Purchased	DIN 912 / ISO 4762 - 8.8 Zn	16
76	OU-12743	M4 Hex Nut	Galvanized Steel	Purchased	DIN 934 - 8.8 St	28
77	OU-12744	Cabinet Front Top Window	Makrolon® UV clear 2099	Water Cut		2
78	OU-12745	Left Cabinet Center Window	Makrolon® UV clear 2099	Water Cut		1
79	OU-12746	M3x20 Socket Head Screw	Galvanized Steel	Purchased	DIN 912 / ISO 4762 - 8.8 Zn	4
80	OU-12747	Center Bottom Window	Makrolon® UV clear 2099	Water Cut		2
81	OU-12748	Printer Bottom Connecting Plate	Plain Carbon Steel	Water Cut		4
82	OU-12749	Cabinet Top Window Frame	Plain Carbon Steel	Water Cut		2
83	OU-12750	Printer Upper Connection Plate	Plain Carbon Steel	Water Cut		4
84	OU-12751	Cabinet Inner Bottom Window Frame	Plain Carbon Steel	Water Cut		2
85	OU-12752	Cabinet Top Half Window	Makrolon® UV clear 2099	Water Cut		3
86	OU-12753	Cabinet Ventilation Pipe	Plain Carbon Steel	Water Cut		1
87	OU-12754	Cabinet Ventilation Pipe Mounting Plate	Plain Carbon Steel	Water Cut		1
88	OU-12755	120mm Cooling Fan		Purchased		1
89	OU-12756	End Cabin Upper Door Frame	Plain Carbon Steel	Water Cut		2
90	OU-12757	End Cabin Upper Door Window	Makrolon® UV clear 2099	Water Cut		2
91	OU-12758	Printer Upper Door Frame	Plain Carbon Steel	Water Cut		2
92	OU-12759	Printer Lower Door Frame	Plain Carbon Steel	Water Cut		2
93	OU-12760	Filament Spool Back Centering Roll	Nylon 101	3D Sintered		1
94	OU-12761	M5x12 Socket Head Screw	Galvanized Steel	Purchased	DIN 912 / ISO 4762 - 8.8 Zn	5
95	OU-12762	Logo Light Window	Makrolon® UV clear 2099	Water Cut		2
96	OU-12763	Logo Back Plate	Plain Carbon Steel	Water Cut		2

LAITTEISTOON LUODUT NIMIKKEET

LIITE 1/4

ITEM	Number	Description	Material	Category	Standard	PCS
97	OU-12764	M3x12 Socket Head Screw	Galvanized Steel	Purchased	DIN 912 / ISO 4762 - 8.8 Zn	54
98	OU-12765	35/37/2 Circlip		Purchased	DIN 472	2
99	OU-12766	Weld-on Hinge Top	Plain Carbon Steel	Purchased		18
100	OU-12767	Weld-on Hinge Bottom	Plain Carbon Steel	Purchased		18
101	OU-12770	Weld-on Hinge Bushing	Brass	Purchased		18
102	OU-12801	M10 Self-lock Flanged Hex Nut	Galvanized Steel	Purchased	DIN 6926-8 Zn	1
103	OU-12802	Filament Spool Locking Roll	Nylon 101	3D Sintered		1
104	OU-12803	Filament Spool Locking Push Plate	Nylon 101	3D Sintered		1
105	OU-12804	20x20x29mm Filament Spool Arm Bushing	6061 Alloy	Cut to size		3
106	OU-12805	Inner Locking Plate	Nylon 101	3D Sintered		1
107	OU-12805	Guide Pin 2.5m6X6	Plain Carbon Steel	Purchased	DIN 6325 ST	4
108	OU-12806	Locking Claw	Nylon 101	3D Sintered		4
109	OU-12808	Filament Spool Release Push Button	Nylon 101	3D Sintered		1
110	OU-12809	M4x8 PZ Countersunk Head Screw	Galvanized Steel	Purchased	DIN 965 / ISO 7046	12
111	OU-12810	Y-Slide Bar Front Wheel Plate	Aluminum	Machined	EN AW 6082	1
112	OU-12811	M5x35 Hex Head Screw	Galvanized Steel	Purchased	DIN 933 / ISO 4017 - 8.8 Zn	14
113	OU-12812	Pogo Pin Female Connector	Gold plated (3μ) Brass	Purchased		8
114	OU-12813	Female Connector PCB Mounting Plate	PLA	3D Printed		1
115	OU-12814	M3x8 Socket Head Screw	Galvanized Steel	Purchased	DIN 912 / ISO 4762 - 8.8 Zn	6
116	OU-12815	Extruder Quick Mounting Plate	Aluminum	Machined	EN AW 6082	1
117	OU-12816	Pogo Pin Male Spring Connector	Gold plated (3μ) Brass	Purchased		8
118	OU-12817	Male Connector PCB Mounting Plate	PLA	3D Printed		1
119	OU-12818	Extruder Heat Sink Mounting Plate	Aluminum	Machined	EN AW 6082	1
120	OU-12819	Y-Slider Top Main Mounting Plate	Aluminum	Machined	EN AW 6082	1
121	OU-12820	Y-Slide Bar Rear Wheel Plate	Aluminum	Machined	EN AW 6082	1
122	OU-12821	Belt & Connector Mounting Plate	Nylon 101	3D Sintered		1
123	OU-12822	Timing Belt Locker 1	Nylon 101	3D Sintered		2
124	OU-12823	Timing Belt Locker 2	Nylon 101	3D Sintered		2
125	OU-12824	Cable Mounting Cover	Nylon 101	3D Sintered		1
126	OU-12825	M3x25 Socket Head Screw	Galvanized Steel	Purchased	DIN 912 / ISO 4762 - 8.8 Zn	6
127	OU-12826	Main Connector PCB	Power Circuit Board	Machined		1
128	OU-12827	Cable Quick Mounting Lock	Nylon 101	3D Sintered		2

LAITTEISTOON LUODUT NIMIKKEET

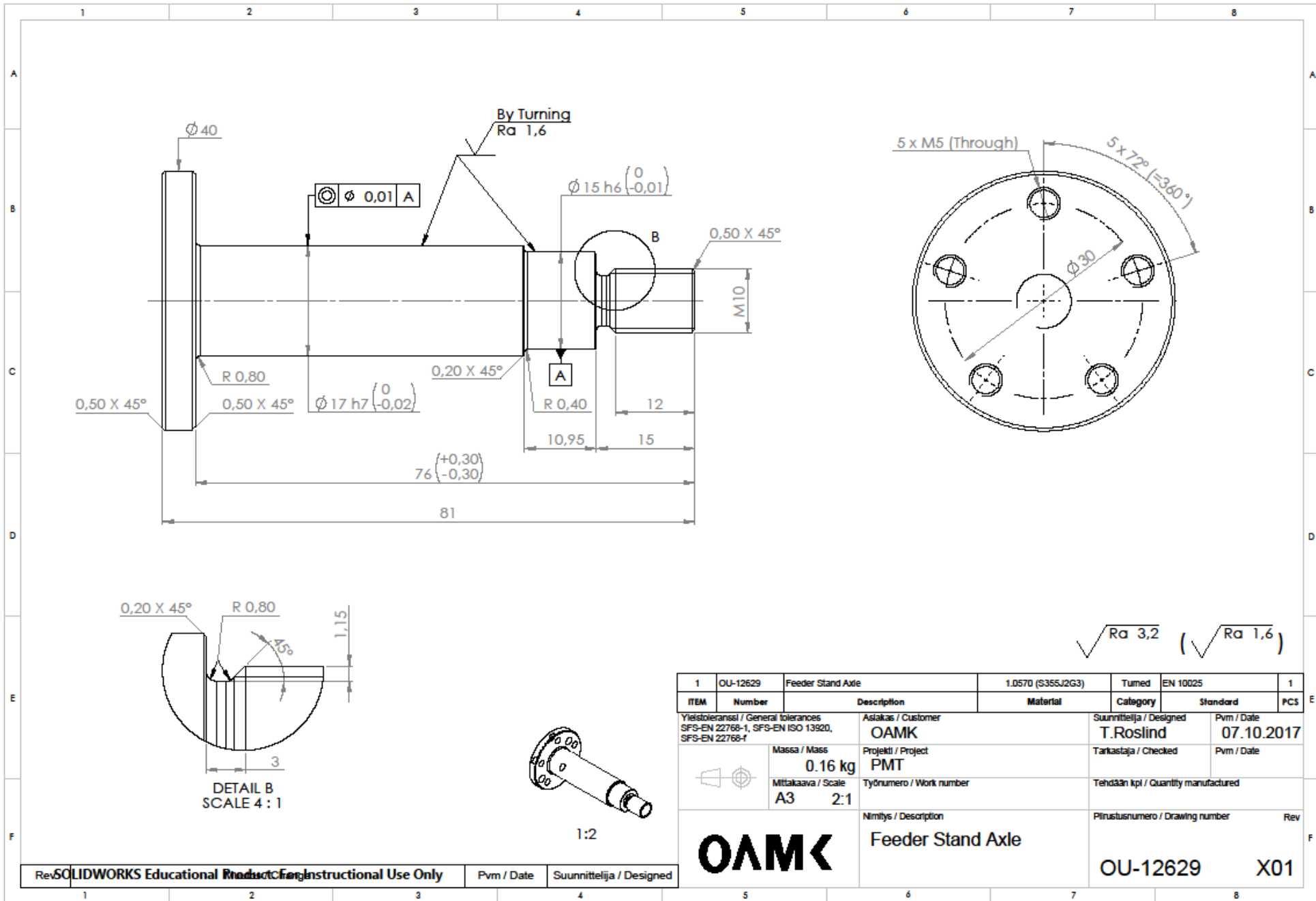
LIITE 1/5

ITEM	Number	Description	Material	Category	Standard	PCS
129	OU-12828	Y-min/max End Stop Assembly Plate	PLA	3D Printed		1
130	OU-12829	Connector Cover	Nylon 101	3D Sintered		1
131	OU-12830	Auto Bed Leveling Sensor		Purchased		1
132	OU-12831	Filament Cutter Arm	Malleable Cast Iron	Water Cut		1
133	OU-12832	Filament Cutter Bottom Plate	Malleable Cast Iron	Water Cut		1
134	OU-12833	Auto Bed Leveling Sensor Mount	Nylon 101	3D Sintered		1
135	OU-12835	Extruder Cooling Case	Nylon 101	3D Sintered		1
136	OU-12836	Y-min/max End Stop Adjust Plate	Nylon 101	3D Sintered		2
137	OU-12839	M6 Weld On Nut	Plain Carbon Steel	Purchased	DIN 929 St M6	16
138	OU-12840	X-min/Z-max End Stop Mounting	PLA	3D Printed		2
139	OU-12841	M5x10 Socket Head Screw	Galvanized Steel	Purchased	DIN 912 / ISO 4762 - 8.8 Zn	29
140	OU-12842	X-max End Stop Mounting	PLA	3D Printed		1
141	OU-12843	X-max End Stop Adjust Plate	Nylon 101	3D Sintered		1
142	OU-12844	X-min End Stop Adjust Plate	Nylon 101	3D Sintered		1
143	OU-12845	Z-max Adjust Plate	Nylon 101	3D Sintered		1
144	OU-12846	40x40x10mm Cooling Fan	PA Type 6	Purchased		1
145	OU-12847	M3x16 Socket Head Screw	Galvanized Steel	Purchased	DIN 912 / ISO 4762 - 8.8 Zn	8
146	OU-12848	4mm Pneumatic Male Stud Fitting	Brass	Purchased	ISO 14743, Rohs	1
147	OU-12849	4mm Pneumatic Male Stud Fitting	Brass	Purchased		2
148	OU-12850	Female Connector PCB	Power Circuit Board	Machined		1
149	OU-12851	Male Connector PCB	Power Circuit Board	Machined		1
150	OU-12852	5x16mm Slotted Spring Type Straight Pin	1023 Carbon Steel Sheet (SS)	Purchased	ISO 8752 / DIN 1481 (St 5x16)	12
151	OU-12853	M4x25 Socket Head Screw	Galvanized Steel	Purchased	DIN 912 / ISO 4762 - 8.8 Zn	6
152	OU-12854	M6x30 Socket Head Screw	Galvanized Steel	Purchased	DIN 912 / ISO 4762 - 8.8 Zn	16
153	OU-12855	M6 Washer	Galvanized Steel	Purchased	DIN 125 - 140HV Zn	16
154	OU-12858	Printer Frame Inner Back Window	Makrolon® UV clear 2099	Water Cut		2
155	OU-12859	Printer Frame Inner Front Window	Makrolon® UV clear 2099	Water Cut		2
156	OU-12860	Right Cabinet Inner Bottom Window	Makrolon® UV clear 2099	Water Cut		1
157	OU-12871	Left Cabinet Inner Bottom Window	Makrolon® UV clear 2099	Water Cut		1
158	OU-12872	Top Window Guide Frame	Plain Carbon Steel	Water Cut		2
159	OU-12873	Printer Upper Window Guide Frame	Plain Carbon Steel	Water Cut		2
160	OU-12874	Printer Top Center Window	Makrolon® UV clear 2099	Water Cut		1

LAITTEISTOON LUODUT NIMIKKEET

LIITE 1/6

ITEM	Number	Description	Material	Category	Standard	PCS
161	OU-12875	Center Upper Door Window	Makrolon® UV clear 2099	Water Cut		2
162	OU-12876	Center Low er Door Window	Makrolon® UV clear 2099	Water Cut		2
163	OU-12877	Door Guide Frame	Plain Carbon Steel	Water Cut		8
164	OU-12878	End Cabin Low er Door Frame	Plain Carbon Steel	Water Cut		2
165	OU-12879	End Cabin Low er Door Window	Makrolon® UV clear 2099	Water Cut		2
166	OU-12880	Cabinet Center Outer Crossbeam	Plain Carbon Steel	Cut to size	DIN 2395 / SS-EN 10305-5 (S235)	4
167	OU-12881	Right Cabinet Inner Sealing Window	Makrolon® UV clear 2099	Water Cut		1
168	OU-12882	RAMPS 1.4 Full Assembly		Purchased		1
169	OU-12883	RAMPS 1.4 Mounting Plate	Makrolon® UV clear 2099	Water Cut		1
170	OU-12884	RAMPS 1.4 Support Plate	Makrolon® UV clear 2099	Water Cut		2
171	OU-12885	Electronics Mounting Plate	Makrolon® UV clear 2099	Water Cut		1
172	OU-12886	Right Cabinet Back Window	Makrolon® UV clear 2099	Water Cut		1
173	OU-12887	Right Cabinet Bottom Front Window	Makrolon® UV clear 2099	Water Cut		1
174	OU-12889	DB25 Male to Female RS232 Ribbon Flat Cable		Purchased		1
175	OU-12890	Right Cabinet Bottom Back Window	Makrolon® UV clear 2099	Water Cut		1
176	OU-12891	Cable Hanger Bottom Mounting Plate	PLA	3D Printed		2
177	OU-12892	Cable Hanger Bar Mounting	PLA	3D Printed		2
178	OU-12893	6mm Cable Carrier Rod	1.5714 (16NiCr4)	Cut to size		1
179	OU-12894	Cable Slide Mounting	PLA	3D Printed		3
180	OU-12895	Cable Mounting Plate	PLA	3D Printed		3
181	OU-12896	LM6UU Linear Ball Bearing		Purchased		3
182	OU-12899	Left Cabinet Back Ventilation Frame	Makrolon® UV clear 2099	Water Cut		4
183	OU-12900	Left Cabinet Back Ventilation Window	Makrolon® UV clear 2099	Water Cut		1
184	OU-12901	M3x30 Socket Head Screw	Galvanized Steel	Purchased	DIN 912 / ISO 4762 - 8.8 Zn	7
185	OU-12902	Ventilation Tunnel End Plate	Makrolon® UV clear 2099	Water Cut		2
186	OU-12903	Ventilation Tunnel Fan Plate	Makrolon® UV clear 2099	Water Cut		1
187	OU-12904	Electronics Mounting Plate	Makrolon® UV clear 2099	Water Cut		1
188	OU-12905	Ventilation Tunnel Sealing Plate	Makrolon® UV clear 2099	Water Cut		1
189	OU-12906	Left Cabinet Back Window	Makrolon® UV clear 2099	Water Cut		1
190	OU-12907	Top Ventilation 120mm Fan Mounting Plate	Makrolon® UV clear 2099	Water Cut		2
191	OU-12908	Left Cabinet Upper Ventilation Fan Plate	Makrolon® UV clear 2099	Water Cut		1
192	OU-12909	Left Cabinet Ventilation Upper Bottom Plate	Makrolon® UV clear 2099	Water Cut		1



1	OU-12629	Feeder Stand Axle	1.0570 (S355J2G3)	Turned	EN 10025	1
ITEM	Number	Description	Material	Category	Standard	PCS
Yleistoleranssi / General tolerances SFS-EN 22768-1, SFS-EN ISO 13920, SFS-EN 22768-1		Asiakas / Customer OAMK	Suunnittelija / Designed T.Roslind		Pvm / Date 07.10.2017	
Massa / Mass 0.16 kg		Projekti / Project PMT	Tarkastaja / Checked		Pvm / Date	
Mittakaava / Scale A3 2:1		Työnumero / Work number		Tehdään kpl / Quantity manufactured		
OAMK				Nimitys / Description Feeder Stand Axle		Rev
				Piirustusnumero / Drawing number OU-12629		X01

LAITTEISTOON LUODUT KOKOONPANOT

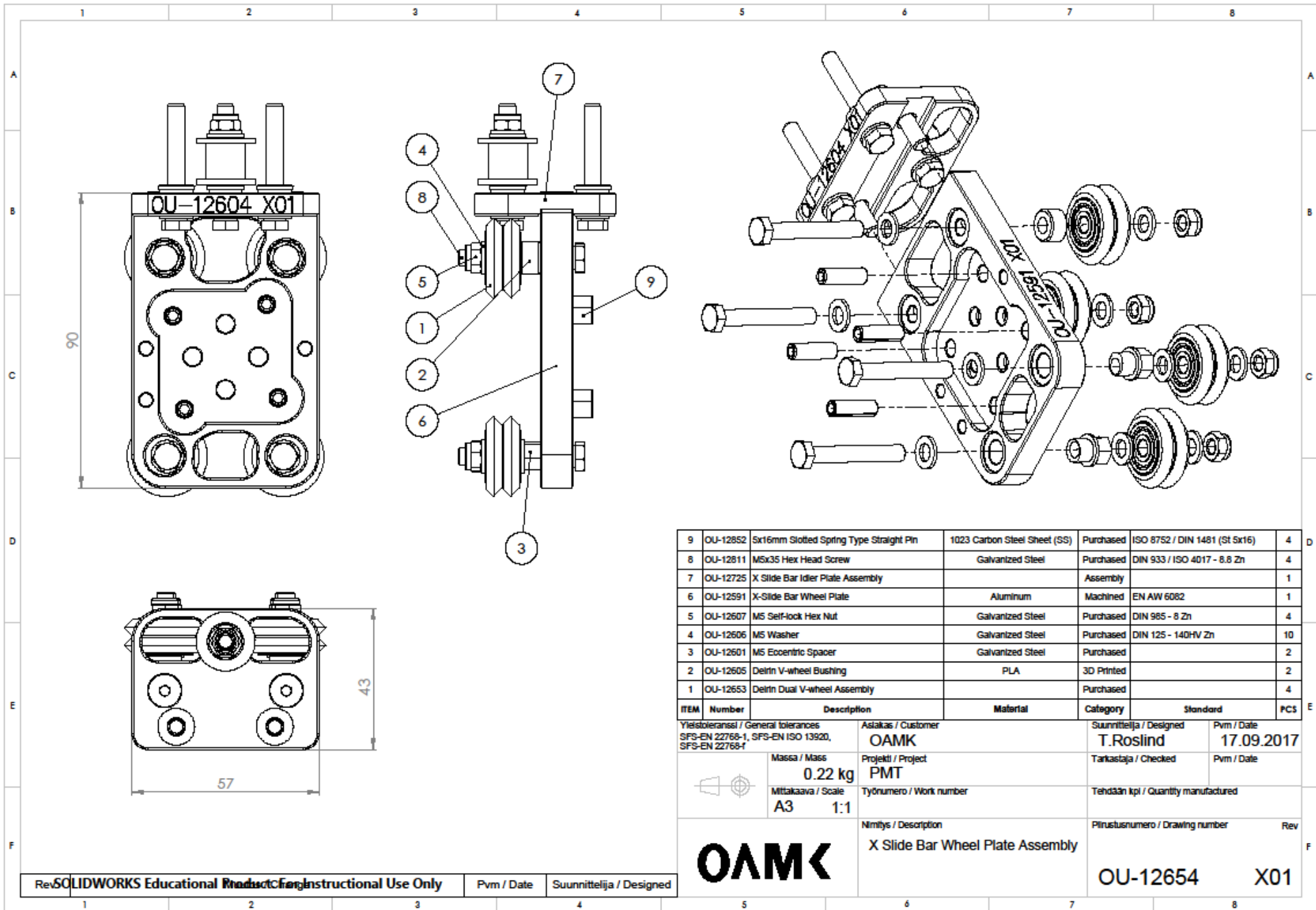
LIITE 3/1

ITEM	Number	Description	Material	Category	Standard	PCS
1	OU-12651	Printer Frame Assembly		Assembly		1
2	OU-12654	X Slide Bar Wheel Plate Assembly		Assembly		2
3	OU-12655	Y-Slide Bar Assembly		Assembly		1
4	OU-12662	Z-Table Bar Assembly		Assembly		1
5	OU-12663	Z-Slide Bar End Plate Assembly		Assembly		2
6	OU-12669	Right Cabinet Cable Tunnel Assembly		Assembly		1
7	OU-12670	ROSBOT Fantasy		Assembly		1
8	OU-12672	Filament Spool Arm Assembly		Assembly		1
9	OU-12677	XY-Motor Assembly Front		Assembly		1
10	OU-12681	Z-Motor Plate Assembly Bottom		Assembly		2
11	OU-12682	Z-Motor Plate Assembly Top		Assembly		2
12	OU-12683	XY Motor Assembly Back		Assembly		1
13	OU-12685	T2.5 - idler pulley assembly		Assembly		2
14	OU-12685	T2.5 - idler pulley assembly		Assembly		8
15	OU-12687	Back Corner Belt Idler Assembly		Assembly		1
16	OU-12688	Front Corner Belt Idler Assembly		Assembly		1
17	OU-12723	T2.5 Belt Tensioner Assembly Right		Assembly		2
18	OU-12724	T2.5 Belt Tensioner Assembly Left		Assembly		2
19	OU-12725	X Slide Bar Idler Plate Assembly		Assembly		2
20	OU-12727	340x340mm Print Table Assembly		Assembly		1
21	OU-12732	Cabinet Connecting Beam Assembly		Weld Assy		4
22	OU-12733	Cabinet Middle Housing Assembly		Assembly		1
23	OU-12735	Control Cabinet Frame Weld Assembly		Weld Assy		2
24	OU-12736	Cabinet Ventilation Pipe Weld Assembly		Weld Assy		1
25	OU-12738	Left Cabinet Door Assembly		Assembly		1
26	OU-12739	Printer Right Cabin Frame Weld Assembly		Weld Assy		1
27	OU-12740	Printer Left Cabin Frame Weld Assembly		Weld Assy		1
28	OU-12771	Cabinet Upper Connecting Beam Weld Assembly		Weld Assy		2
29	OU-12772	Printer Upper Door Weld Assembly		Weld Assy		2
30	OU-12773	Printer Lower Door Weld Assembly		Weld Assy		2
31	OU-12776	Filament Spool Locking Taper		Assembly		1
32	OU-12778	Female Push Connector Assembly		Assembly		1
33	OU-12779	Quick Mounting Plate Push Connector Assembly		Assembly		1

LAITTEISTOON LUODUT KOKOONPANOT

LIITE 3/2

ITEM	Number	Description	Material	Category	Standard	PCS
34	OU-12780	Quick Mounting Plate Assembly		Assembly		1
35	OU-12781	Y-Slider Main Connector Assembly		Assembly		1
36	OU-12783	Cabinet Middle Housing Weld Assembly		Weld Assy		1
37	OU-12784	X-min/Z-max End Stop Assembly		Assembly		2
38	OU-12785	X-max End Stop Assembly		Assembly		1
39	OU-12786	Rosbot Extruder Assembly		Assembly		1
40	OU-12788	Extruder Hot End Heat Sink Cooler Assembly		Assembly		1
41	OU-12789	Left Cabinet Assembly		Assembly		1
42	OU-12790	Right Cabinet Assembly		Assembly		1
43	OU-12792	Y-min/max End Stop Assembly		Assembly		1
44	OU-12796	Printer Upper Center Door Assembly		Assembly		2
45	OU-12797	Printer Center Low er Door Assembly		Assembly		2
46	OU-12798	End Cabinet Bottom Door Weld Assembly		Weld Assy		2
47	OU-12799	End Cabinet Bottom Door Assembly		Assembly		2
48	OU-12800	Printer Assembly		Assembly		1
49	OU-12861	RAMPS 1.4 + Electronics Mounting Assembly		Assembly		1
50	OU-12863	Cable Hanger Bar Mounting Assembly		Assembly		1
51	OU-12863	Cable Hanger Bar Mounting Assembly		Assembly		1
52	OU-12864	Cable Hengar Assembly		Assembly		3
53	OU-12865	Left Cabinet Back Ventilation Frame Assembly		Assembly		1
54	OU-12866	Left Cabinet Ventilation Tunnel Assembly		Assembly		1
55	OU-12867	Left Cabin Top Ventilation Tunnel		Assembly		1
56	OU-12869	Right Cabinet Door Assembly		Assembly		1
57	OU-12911	Energy Chain Z-bar Mounting Assembly		Assembly		1
58	OU-12912	Printer Handle Weld Assembly		Weld Assy		2

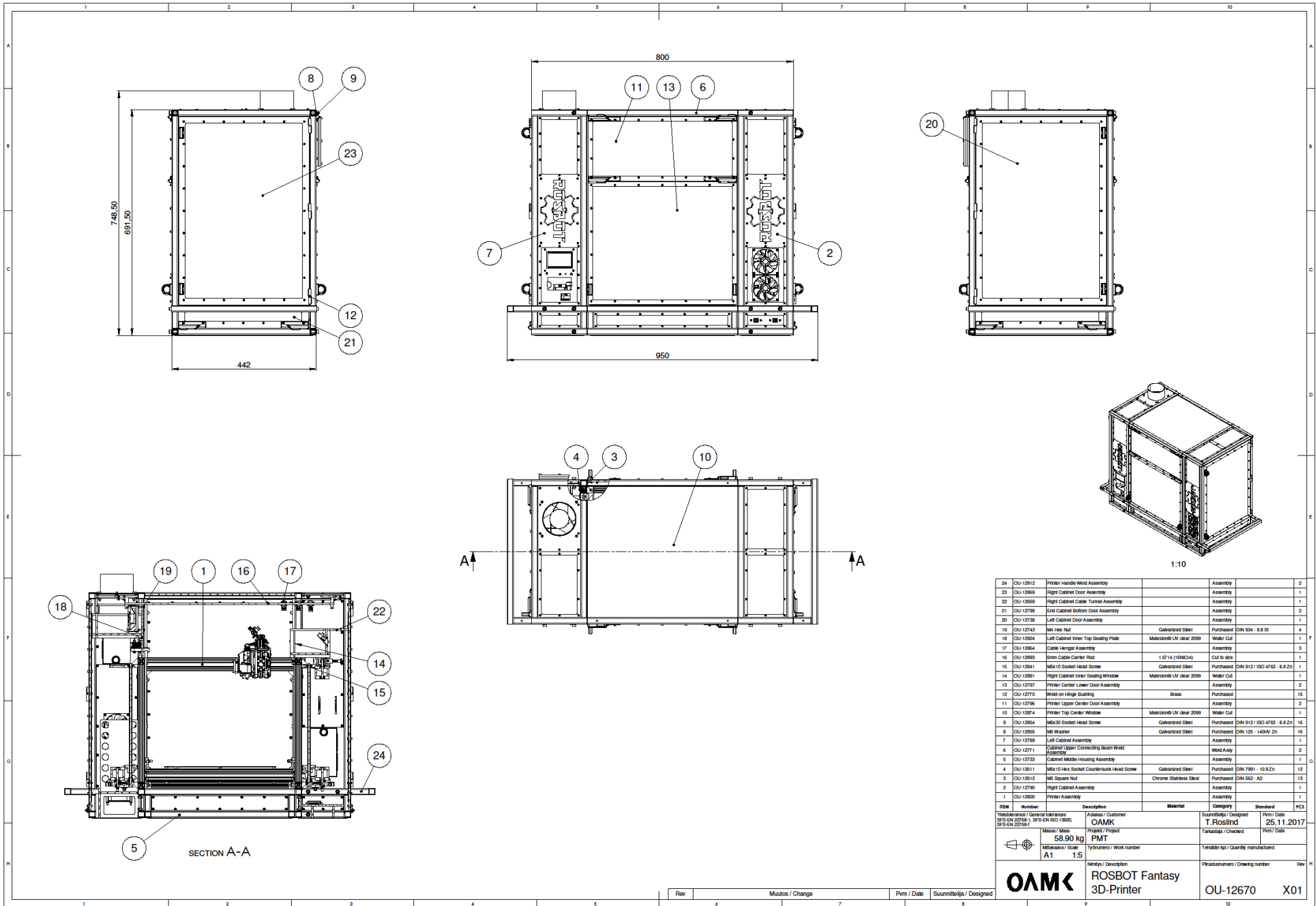


ITEM	Number	Description	Material	Category	Standard	PCS
9	OU-12852	5x16mm Slotted Spring Type Straight Pin	1023 Carbon Steel Sheet (SS)	Purchased	ISO 8752 / DIN 1481 (St 5x16)	4
8	OU-12811	M5x35 Hex Head Screw	Galvanized Steel	Purchased	DIN 933 / ISO 4017 - 8.8 Zn	4
7	OU-12725	X Slide Bar Idler Plate Assembly		Assembly		1
6	OU-12591	X-Slide Bar Wheel Plate	Aluminum	Machined	EN AW 6062	1
5	OU-12607	M5 Self-Lock Hex Nut	Galvanized Steel	Purchased	DIN 985 - 8 Zn	4
4	OU-12606	M5 Washer	Galvanized Steel	Purchased	DIN 125 - 140HV Zn	10
3	OU-12601	M5 Eccentric Spacer	Galvanized Steel	Purchased		2
2	OU-12605	Delrin V-wheel Bushing	PLA	3D Printed		2
1	OU-12653	Delrin Dual V-wheel Assembly		Purchased		4

Yleistoleransit / General Tolerances SFS-EN 22768-1, SFS-EN ISO 13920, SFS-EN 22768-4		Asiakas / Customer OAMK		Suunnittelija / Designed T.Roslind	Pvm / Date 17.09.2017
Massa / Mass 0.22 kg		Projekti / Project PMT		Tarkastaja / Checked	Pvm / Date
Mittakaava / Scale A3 1:1		Työnumero / Work number		Tehdään kpl / Quantity manufactured	
		Nimitys / Description X Slide Bar Wheel Plate Assembly		Pitustusnumero / Drawing number OU-12654	Rev X01

PÄÄKOKOONPANON PIIRUSTUS

LIITE 5



Item	Number	Description	Material	Category	Standard	PCS
24	Ou-12912	Printer Hands Weld Assembly		Assembly		2
23	Ou-12950	Right Cabinet Door Assembly		Assembly		1
22	Ou-12950	Right Cabinet Cable Tunnel Assembly		Assembly		1
21	Ou-12799	End Cabinet Bottom Door Assembly		Assembly		2
20	Ou-12738	Left Cabinet Door Assembly		Assembly		1
19	Ou-12743	M6 Hex Nut	Galvanized Steel	Purchased	DIN 934 - 6.8 St	4
18	Ou-12824	Left Cabinet Inner Top Sealing Plate	Macrobril UV clear 2099	Water Cut		1
17	Ou-12854	Cable Hanger Assembly		Assembly		3
16	Ou-12893	Iron Cable Center End	1.5714 1604040	Cut to Size		1
15	Ou-12841	M6x10 Socket Head Screw	Galvanized Steel	Purchased	DIN 913 / ISO 4762 - 6.8 Zn	1
14	Ou-12881	Right Cabinet Inner Sealing Window	Macrobril UV clear 2099	Water Cut		1
13	Ou-12787	Printer Center Lower Door Assembly		Assembly		2
12	Ou-12770	Weld-on Hinge Bushing	Brass	Purchased		15
11	Ou-12796	Printer Upper Center Door Assembly		Assembly		2
10	Ou-12874	Printer Top Center Window	Macrobril UV clear 2099	Water Cut		1
9	Ou-12954	M6x10 Socket Head Screw	Galvanized Steel	Purchased	DIN 913 / ISO 4762 - 6.8 Zn	16
8	Ou-12855	M6 Washer	Galvanized Steel	Purchased	DIN 125 - 140Mn Zn	16
7	Ou-12799	Left Cabinet Assembly		Assembly		1
6	Ou-12771	Cabinet Upper Connecting Beam Weld Assembly		Weld Assy		2
5	Ou-12733	Cabinet Middle Housing Assembly		Assembly		1
4	Ou-12611	M6x10 Hex Socket Countersunk Head Screw	Galvanized Steel	Purchased	DIN 7991 - 10.9 Zn	12
3	Ou-12612	M6 Square Nut	Chrome Stainless Steel	Purchased	DIN 662 - A2	13
2	Ou-12790	Right Cabinet Assembly		Assembly		1
1	Ou-12800	Printer Assembly		Assembly		1

Item	Number	Description	Material	Category	Standard	PCS
Yhteisnimitykset / General abbreviations		Asiakas / Customer				
ISO 4218:2018 & SFS-EN ISO 15926, SFS-EN 22768-F		OAMK				
Massa / Mass		Projekti / Project				
58.90 kg		PMT				
Mittakaava / Scale		Työnumero / Work number				
A1		1:5				
Nimitys / Description		Piirustuksen / Drawing number				
OAMK		ROSBOT Fantasy 3D-Printer				
		Ou-12670				
		X01				

Rev	Muutos / Change	Pvm / Date	Suunnittelija / Designed