

# 3D-TULOSTINRAKENNUSSARJAN KÄYTTÖÖNOTTO

Mäntyniemi Roni

Opinnäytetyö  
Liikenteen ja tekniikanala  
Tieto- ja viestintätekniikka  
Insinööri (AMK)

2017

Liikenteen ja tekniikanala  
Tieto- ja viestintäteknikka  
Insinööri (AMK)

---

<b>Tekijä</b>	Roni Mäntyniemi	<b>Vuosi</b>	2017
<b>Ohjaaja(t)</b>	Tauno Tepsa		
<b>Toimeksiantaja</b>	Oma toimeksianto		
<b>Työn nimi</b>	3D-tulostinrakennussarjan käyttöönotto		
<b>Sivu- ja liitesivumäärä</b>	58 + 14		

---

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, millainen työ on ottaa käyttöön rakennussarjana toimitettu 3D-tulostin ja arvioida sen tuottamien tulosteiden laatua. Lisäksi tavoitteena on selvittää, millaisilla 3D-tulostetuilla osilla ja ostetuilla komponenteilla tulostimen ja tulosteiden laatua voi parantaa. Työn tarkoituksena on antaa yleiskäsitys 3D-tulostamisesta ja antaa lukijalleen mielikuva 3D-tulostimen kanssa työskentelystä.

Opinnäytetyön aineistona käytetään suurimmaksi osin internetistä löytyvää materiaalia. Aineisto koostuu 3D-tulostusta käsittelevistä artikkeleista, blogeista ja tutkimuksista. Opinnäytetyössä esitetään 3D-tulostinrakennussarjan käyttöönottoa vaiheittain selittäen. Rakentamisen jälkeen tulostetuiden kappaleiden laatua arvioidaan käyttäen kahta eri testitulostetta. Arvioinnin jälkeen 3D-tulostinta päivitetään erilaisilla 3D-tulostetuilla ja ostetuilla komponenteilla. Päivityksien jälkeen tulosteiden laatua verrataan alkuperäisiin testitulosteisiin.

Opinnäytetyössä käytettävän 3D-tulostimen kasaaminen oli aikaa vievä prosessi ja ilman hyviä ohjevideoita se olisi ollut haastavaa. Tulostimen kasauksen aikana ilmeni muutamia ongelmia. Tulostimen pystyy kuitenkin kasaamaan ilman aikaisempaa teknistä kokemusta.

Tulosteiden laatu oli jo ennen päivityksiä hyvää, mutta muutamalla yksinkertaisella päivityksellä laadusta saatiin vieläkin parempaa. Laitteeseen tehdyt päivitykset vaikuttivat tulosteiden laatuun positiivisesti, ja ne poistivat tulosteista selkeitä ongelmia.

School of Technology  
Communication and Transport  
Degree Programme in Information  
Technology  
Bachelor of Engineering

---

<b>Author</b>	Roni Mäntyniemi	Year	2017
<b>Supervisor</b>	Tauno Tepsa		
<b>Subject of thesis</b>	Building and Commissioning 3D Printer Kit		
<b>Number of pages</b>	58 + 14		

---

The aim of this thesis was to find out what kind of task is it to build and commission a 3D printer kit. Second task was to figure out what kind of 3D printed and bought parts can be used to improve quality of the 3D printer and 3D printed parts. The Aim of this thesis was to give basic understanding about 3D printing and give a mental image what it is like to work with the 3D printer.

Most of the material used in this thesis was found from the Internet. The material consisted of articles, blog posts and researches. In this thesis building of the 3D printer kit was shown step-by-step. After the printer was completed the 3D prints produced by it were evaluated. Two different test 3D prints are used for evaluation. After the evaluation the 3D printer was upgraded with the printed and bought parts and the same test of the 3D prints were printed. The four 3D prints were compared against each other and the differences were written down.

Building this 3D printer kit was a time consuming process and without good tutorial videos it would have been very challenging. A few problems occurred during building the 3D printer but it is still possible to build it without any previous experience in technology or electronics. The quality of the printed parts was good even before the upgrades but with a few simple parts they came out even better. The upgrades done to the printer affected positively to the quality and they removed clear problems from the prints.

Key words

3D printing, kit, commission

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	7
2	3D-TULOSTUS.....	8
2.1	3D-tulostuksen historia 1980 - 1999.....	8
2.2	3D-tulostus 2000-luvulla .....	9
2.3	Slicer.....	11
2.3.1	Yleisasetukset.....	12
2.3.2	Täyttöasetukset .....	13
2.3.3	Tukirakenteet.....	15
2.3.4	Nopeus.....	16
2.4	Tulostus ja tulostintekniikat .....	16
2.5	FDM-tulostimet .....	19
2.6	FDM-tulostimien materiaalit .....	20
3	ANET A8 -3D-TULOSTINRAKENNUSSARJA .....	22
3.1	Rakennuksen aloitus ja y-akseli .....	22
3.2	Tulostusalustan ja z-akselin rakennus.....	25
3.3	Tulostuspään, x-akselin ja elektroniikan rakennus .....	29
3.4	MOSFET-transistorien asennus ja tulostusalustan säätö.....	32
4	TESTITULOSTEET ENNEN PÄIVITYKSIÄ .....	34
4.1	Ensimmäinen tuloste .....	35
4.2	3DBenchy testituloste .....	36
4.3	Maker's Musen testituloste .....	37
5	PÄIVITYKSET .....	39
5.1	Materiaalieteline .....	39
5.2	Tuuletussuutin Mistral 2.1 .....	41
5.3	Uudet hihnat ja hihnojen kiristimet.....	43
5.4	Rungon tuet.....	44
5.5	IGUS-muovilaakerit .....	48
5.6	Lasinen tulostusalusta.....	49
6	TESTITULOSTEET PÄIVITYKSIEN JÄLKEEN .....	51
6.1	3DBenchyn arviointi .....	51
6.2	Maker's Musen testituloste ja sen arviointi.....	52

7 YHTEENVETO .....	55
LÄHTEET .....	56
LIITTEET .....	58

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

AM	Additive Manufacturing, materiaalia lisäävä valmistusmenetelmä. (3D Printing Industry 2017)
CNC	Computer Numerical Controlled (Printeraction 2017)
DMD	deformable mirror device, muotoutuva peili
FDM	Fused Deposition Modeling
RP	Rapid Prototyping, pikavalmistus (3D Printing Industry 2017)
SLA	Stereolitografia
SLS	Selective Laser Sintering

## 1 JOHDANTO

3D-tulostimet ovat kiinnostaneet minua suuresti siitä hetkestä lähtien, kun näin sellaisen ensimmäisen kerran. Näiden laitteiden hinta oli kuitenkin vielä oman budjettini saavuttamattomissa. Muutaman vuoden aikana 3D-tulostimien hinnat ovat laskeneet rajusti ja löydettyäni sopivan hintaisen laitteen, päätin sellaisen itselleni hankkia. Ostamani laite on nimeltään Anet A8 ja se maksoi Kiinasta toimitettuna noin 350 euroa.

Opinnäytetyöni tavoitteena on selvittää, millainen työ on ottaa käyttöön rakennusarjana toimitettu 3D-tulostin ja arvioida sen tuottamien tulosteiden laatua. Lisäksi tavoitteena on selvittää, millaisilla 3D-tulostetuilla osilla ja ostetuilla komponenteilla tulostimen ja tulosteiden laatua voi parantaa.

Tulostimen rakentaminen kuvataan vaihe vaiheelta ja mahdolliset ongelmat selvitetään rakentamisen edetessä. Tulosteiden laatua arvioidaan tulostamalla kaksi erillistä testaukseen tarkoitettua 3D-mallinnusta. Nämä testitulosteet tulostetaan heti tulostimen rakennuksen jälkeen ja toisen kerran, kun kaikki tulostimeen asennetut ja tulostetut päivitykset ovat valmiina ja asennettuina. Näitä tulosteita vertaillaan ja arvioidaan päivityksien vaikutusta tulosteiden laatuun.

Tässä työssä ei vertailla eri "slicer"-ohjelmien vaikutusta tulosteiden laatuun, vaan käytössä on pelkästään Slic3r-ohjelmisto. Käytössä ei myöskään ole eri tulostusmateriaaleja, vaan kaikki tulosteet tehdään PLA-muovilla.

## 2 3D-TULOSTUS

3D-tulostimet kuuluvat CNC-laitteiden kategoriaan, sillä ne ovat tietokoneohjattuja laitteita. Tapaa jolla 3D-tulostimet valmistavat kappaleita kutsutaan materiaalia lisääväksi valmistukseksi. Toisin kuin perinteiset CNC-laitteet, jotka poraamalla tai leikkaamalla luovat kappaleita yhdestä palasta materiaalia, 3D-tulostimet lisäävät materiaalia vähän kerrallaan valmistaen halutun kappaleen. (Printeraction 2017.)

Muihin CNC-laitteisiin verrattuna 3D-tulostimet ovat hyvin "tehottomia", sillä ne valmistavat kappaleita hitaasti. Usein käyttäen tunteja valmistaakseen kappaleita, jotka ruiskuvalukone voisi valmistaa minuuteissa. Erilaisilla 3D-tulostimilla on omat heikkoudet ja vahvuudet, mutta yleisesti niiden valmistamat kappaleet ovat verrattain heikkoja. (Printeraction 2017.)

3D-tulostus on kuitenkin erittäin halpa ja helppo keino valmistaa kappaleita. Se mahdollistaa suunnittelijoiden tehdä ideoistaan nopeasti prototyyppejä. 3D-tulostimet voivat valmistaa monimutkaisiakin muotoja ilman suuria vaikeuksia. (Printeraction 2017.)

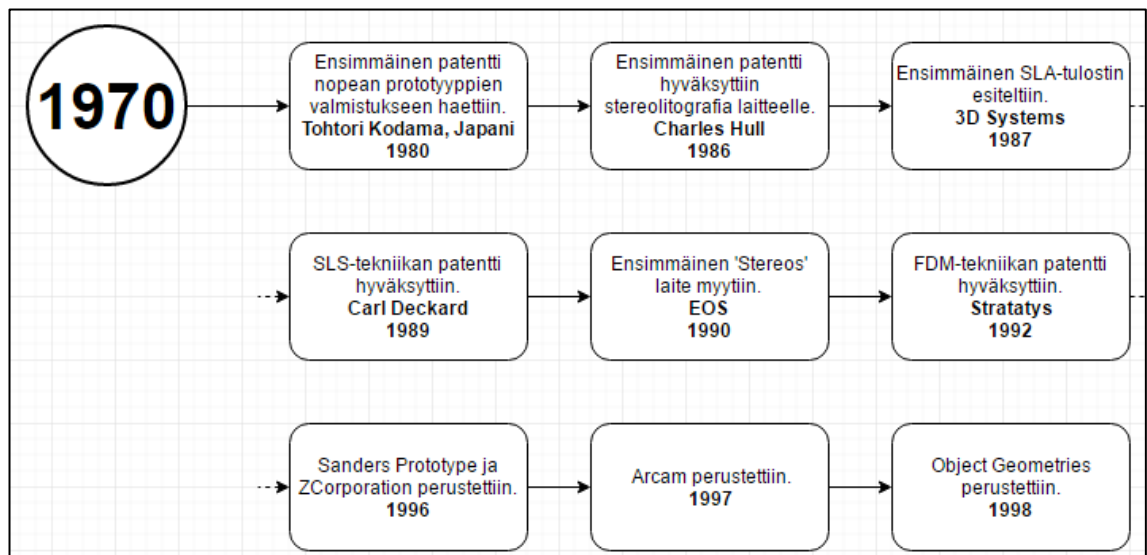
### 2.1 3D-tulostuksen historia 1980 - 1999

Ensimmäiset viitteet 3D-tulostusteknologian syntymisestä ovat havaittavissa 1980-luvun lopulla. Sen ajan teknologiasta käytettiin nimitystä Rapid Prototyping (RP). Japanilainen tohtori Kodama haki ensimmäistä patenttia liittyen RP-tekнологiaan. Kodama ei kuitenkaan saanut patenttiaan läpi, sillä hän ei toimittanut täyttä selontekoa patentistaan ennen yhden vuoden aikarajan umpeutumista. Ensimmäinen stereolitografia-tekнологiaa (SLA) käyttävä RP-laite keksittiin vuonna 1983. Keksiä Charles Hull patentoi kehittämänsä laitteen ja sen käyttämän tekнологian vuonna 1986. Hull on yksi 3D Systems Corporationin perustajista. 3D Systems on yksi tämän päivän suurimmista 3D-tulostinyrityksistä. (3D Printing Industry 2017.)

Ensimmäinen kaupallinen RP-laite SLA-1 esiteltiin vuonna 1987 ja ensimmäinen laite myytiin vuonna 1988. Laitteen kehittäjä ja myyjä oli 3D Systems. Samaan aikaan Carl Deckard kehitti toisenlaisia RP-tekнологiaa. Vuonna 1987 Deckard



haki patenttia Selective Laser Sintering-teknologialle (SLS). Patentti hyväksyttiin vuonna 1989 ja se lisensoitiin DTM Inc yritykselle. Myöhemmin 3D Systems osti DTM Incin. Vuosi 1989 oli merkittävä nykyisille kotikäyttöön suunnatuille 3D-tulostimille, sillä Scott Crump haki patenttia Fused Deposition Modeling-teknologialle (FDM). Patentti hyväksyttiin vuonna 1992. Patentti alkuperäiseen teknologiaan on edelleen Scott Crumpin perustaman Stratasys Incin hallussa, mutta sitä käyttävät monet aloittelijataso 3D-tulostimet. Uusia teknologioita esiteltiin 1990-luvun aikana aina 2000-luvun alku puolelle. Sen ajan uutuudet olivat kuitenkin suunnattu vain teollisuuden käyttöön. Sanders Prototype, ZCorporation, Arcam ja Object Geometries ovat yrityksiä, jotka perustettiin 1990-luvun lopulla. Alla olevassa kuvassa voi nähdä muita vuosien 1970 ja 1998 välillä 3D-tulostukseen merkittävästi vaikuttaneita tapahtumia (Kuvio 1). (3D Printing Industry 2017.)



Kuvio 1. 3D-tulostuksen historia 1970 – 1998

## 2.2 3D-tulostus 2000-luvulla

Aivan 2000-luvun alussa perustettiin lisää yrityksiä ja vuonna 2000 MCP Technologies esitteli ensimmäisen SLM-teknologiaa käyttävän 3D-tulostimen. Kaikki vuosituhannen taitteessa perustetut yritykset edesauttoivat länsimaisten yritysten menestystä maailmanlaajuisilla markkinoilla. Tässä vaiheessa terminologia oli kehittynyt ja kaikki 3D-tulostusprosessit yhdistäväksi termiksi hyväksyttiin Additive Manufacturing (AM) eli materiaalia lisäävä valmistusmenetelmä. (3D Printing Industry 2017.)

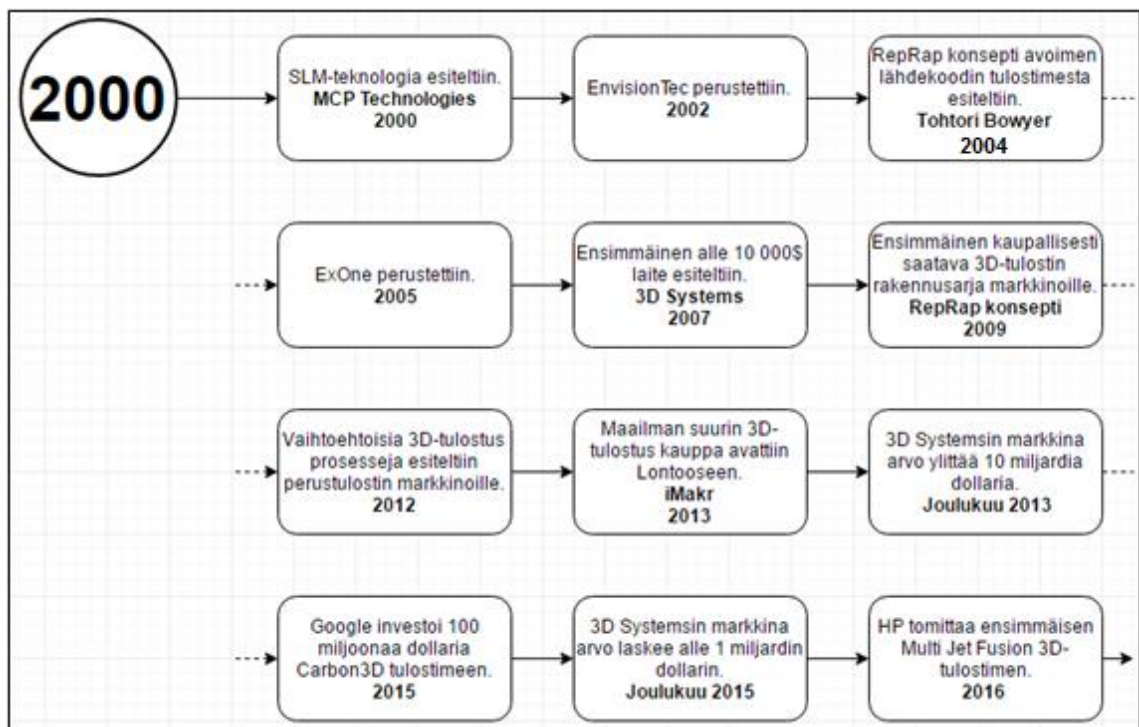
Puolivälissä 2000-lukua 3D-tulostusala alkoi näyttää merkkejä suuntautumisesta kahdelle eri alueelle. Sama suuntautuminen on tänä päivänä näkyvissä hyvin selkeästi. Ensimmäinen suunta oli edelleen kohti korkean tason 3D-tulostusta, jonka tarkoitus on tuottaa pitkälle suunniteltuja, korkealaatuisia ja monimutkaisia osia. Se oli ollut tavoitteena jo pitkään, mutta tulokset alkoivat näkyä eri aloilla vasta nyt. Monet alat kuten ilmailuteollisuus, autoteollisuus, lääketiede ja koruuala alkoivat hyötyä vuosien tutkimus- ja kehitystyöstä. Suuri osa näihin tarkoituksiin kehitetyistä teknologioista ovat edelleen salassapitosopimuksien takana. (3D Printing Industry 2017.)

Toinen suunta oli tehdä 3D-tulostimia kehitystyötä ja prototyyppien valmistusta varten. Ne olivat suunniteltu helppokäyttöisiksi, kustannustehokkaiksi ja sopivan kokoisiksi toimistoympäristöön. Nämä laitteet olivat nykyisten kotikäyttöön suunnattujen 3D-tulostimien edeltäjiä, mutta kuitenkin tarkoitettu teollisille aloille. (3D Printing Industry 2017.)

Silloisessa hintahaarukan alapäässä syntyi hintasota, joka toi mukanaan pieniä parannuksia tulostuksen nopeuteen ja laatuun. Myös uusia materiaaleja ilmestyi saataville. 3D Systems toi markkinoille ensimmäisen alle 10 000 dollarin 3D-tulostimen vuonna 2007, mutta se ei saavuttanut odotettua myyntiä. Tuolloin 5 000 dollarin hintaa pidettiin maagisena rajana. Monien asiantuntijoiden ja käyttäjien mielestä se avaisi 3D-tulostuksen suurelle yleisölle. (3D Printing Industry 2017.)

Vuosi 2007 olikin käännekohta helposti saatavilla oleville 3D-tulostimille, sillä tohtori Bowyerin vuonna 2004 esittelemä avoimen lähdekoodin ja itseään ”kopioivan” tulostimen kehitystyö alkoi tuottaa tulosta ja RepRap-ilmio alkoi kerätä huomiota. Ensimmäinen RepRap-konseptiin perustuva 3D-tulostin tuli markkinoille tammikuussa 2009. Se kantoi nimeä BfB RapMan 3D-tulostin ja se oli saatavilla rakennussarjana. Saman vuoden huhtikuussa Makerbot Industries julkaisi oman 3D-tulostimensa. Makerbot Industriesin perustajat olivat vahvasti mukana RepRap-konseptin kehityksessä, mutta erosivat siitä saatuaan kattavan rahoituksen omaan kehitykseensä. Vuodesta 2009 asti uusia RepRap-konseptiin perustuvia 3D-tulostimia on ilmestynyt markkinoille tuoden mukanaan ainutlaatuisia ominaisuuksia. (3D Printing Industry 2017.)

Vuosi 2012 toi aloittelijatasen markkinoille vaihtoehtoiset 3D-tulostusprosessit. DLP-teknologiaa käyttävä B9Creator tuli markkinoille kesäkuussa ja stereolitografiaa hyödyntävä Form 1 joulukuussa. Kumpikin laite julkaistiin Kickstarter-joukkorahoituspalvelustalla ja ne saivat osakseen suuren suosion. Vuonna 2012 monet suuret mediat huomioivat 3D-tulostuksen. Vuonna 2013 alalla tapahtui suurta kasvua ja suuria muutoksia. Yksi suurimmista tapahtumista oli Makerbotin myyminen Stratasykselle. Muita 2000-luvun merkittäviä tapahtumia on esitetty kuvissa 2. (3D Printing Industry 2017.)



Kuvio 2. 3D-tulostuksen historia 2000 – 2016

### 2.3 Slicer

Slicer on 3D-tulostusohjelmisto, joka muuttaa digitaalisen 3D-mallin tulostusohjeiksi joita 3D-tulostin ymmärtää. Slicer leikkaa 3D-mallin vaakasuoriksi kerroksiksi käyttäjän valitsemien asetusten perusteella. Slicer-ohjelmisto pakkaa kaikki tarvittavat tiedot GCode-tiedostoksi, joka lähetetään tulostimelle. Käytetyillä asetuksilla on suuri vaikutus tulosteen lopulliseen laatuun ja on tärkeää tietää miten jokainen asetusta vaikuttaa tulosteeseen. (PinshapeBlog 2015.)

Alla olevassa kuvassa on Slic3r -nimisen slicer-ohjelmiston asetusvalikko (Kuvio 3). Tässä valikossa on perusasetukset, joilla on suurin vaikutus tulosteiden laatuun.

General	
Layer height:	<input type="text" value="0.3"/> mm
Perimeters:	<input type="text" value="3"/> (minimum)
Solid layers:	Top: <input type="text" value="3"/> Bottom: <input type="text" value="3"/>
Infill	
Fill density:	<input type="text" value="30"/> %
Fill pattern:	<input type="text" value="Rectilinear"/>
Top/bottom fill pattern:	<input type="text" value="Rectilinear"/>
Support material	
Generate support material:	<input type="checkbox"/>
Pattern spacing:	<input type="text" value="2.5"/> mm
Contact Z distance:	<input type="text" value="0.2 (detachable)"/> mm
Support on build plate only:	<input type="checkbox"/>
Don't support bridges:	<input checked="" type="checkbox"/>
Raft layers:	<input type="text" value="0"/> layers
Speed	
Perimeters:	<input type="text" value="30"/> mm/s
Infill:	<input type="text" value="60"/> mm/s
Travel:	<input type="text" value="100"/> mm/s
Brim	
Brim width:	<input type="text" value="0"/> mm
Other	
XY Size Compensation:	<input type="text" value="0"/> mm

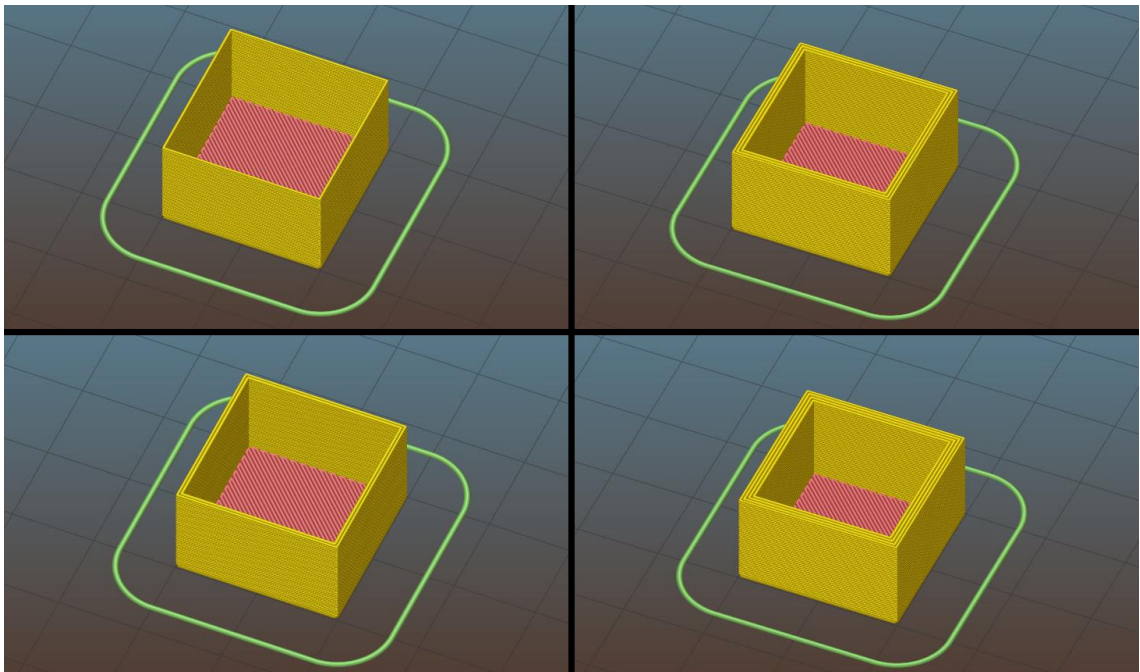
Kuvio 3. Slic3r-ohjelmiston perusasetusvalikko

### 2.3.1 Yleisasetukset

Yleisasetuksiin kuuluvat kerroskorkeus, ulkoreunat ja kiinteät kerrokset. Kerroskorkeus on kuin tulosteen resoluutio. Se asetus määrää kuinka korkea jokainen tulostettu kerros on. Kerroksien korkeus vaihtelee yleisesti 0,06:n ja 0,3 millimetrin välillä. Pienellä kerroskorkeudella tulostetuissa kappaleissa voi nähdä enemmän yksityiskohtia, niiden pinta on sileä ja erilliset kerrokset eivät ole helposti havaittavissa. Pienen kerroskorkeuden huono puoli on tulostuksen ajallinen kesto. Mitä pienempi kerroskorkeus sitä kauemmin tulostuksessa kestää, sillä kerroksia on enemmän. Suurella kerroskorkeudella tulostetuissa kappaleissa pienet yksityiskohdat eivät näy tarkasti, mutta ne tulostuvat nopeasti. Tulostukseen

kuluva aika on lähes suoraan verrannollinen kerroksien paksuuteen. Kerrospaksuuden kaksinkertaistuksessa kerroksien määrä ja siten aika pienenevät puoleen. (PinshapeBlog 2015.)

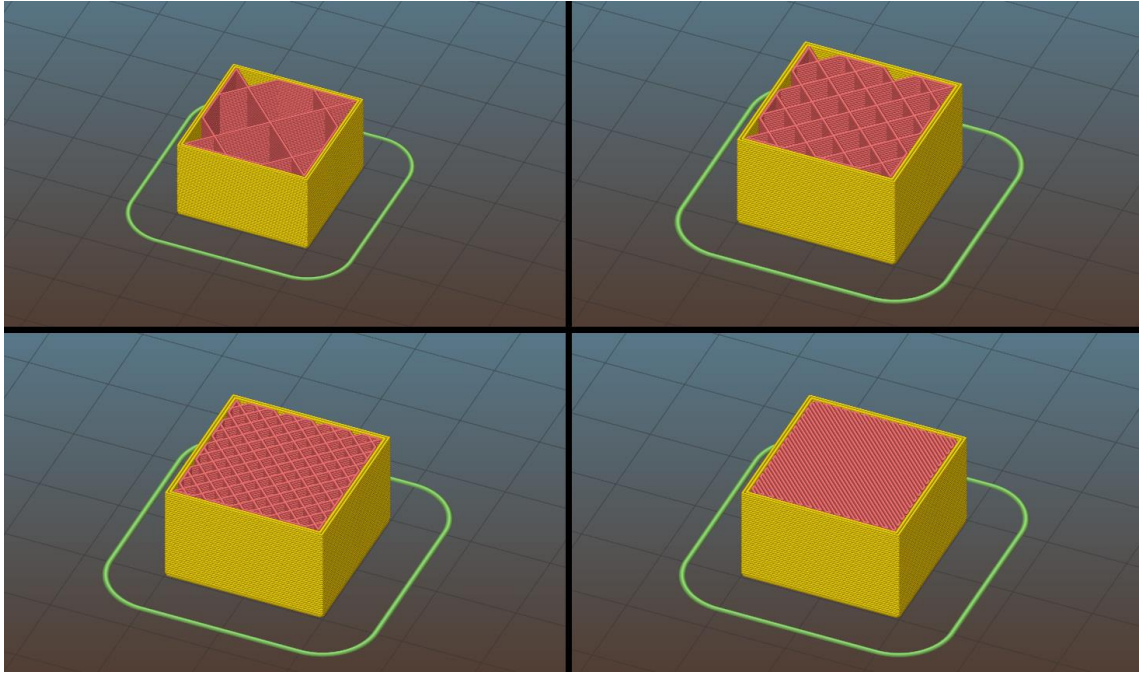
Ulkoreunojen määrä tarkoittaa kuinka monta kertaa tulostettavan kappaleen ulkoreuna kierretään kiinteällä materiaalilla ennen kappaleen sisäosien tulostusta (Kuvio 4). Kyseinen asetus määrää kappaleen seinien paksuuden ja siten vaikuttaa sen kestävyteen. Normaali ulkoseiniä määrä vaihtelee kahden ja viiden välillä. Kiinteät kerrokset tarkoittavat kerroksien määrää tulosteen pohjassa ja yläpinnassa. (PinshapeBlog 2015.)



Kuvio 4. Eri asetuksia ulkoreunojen määrälle

### 2.3.2 Täyttöasetukset

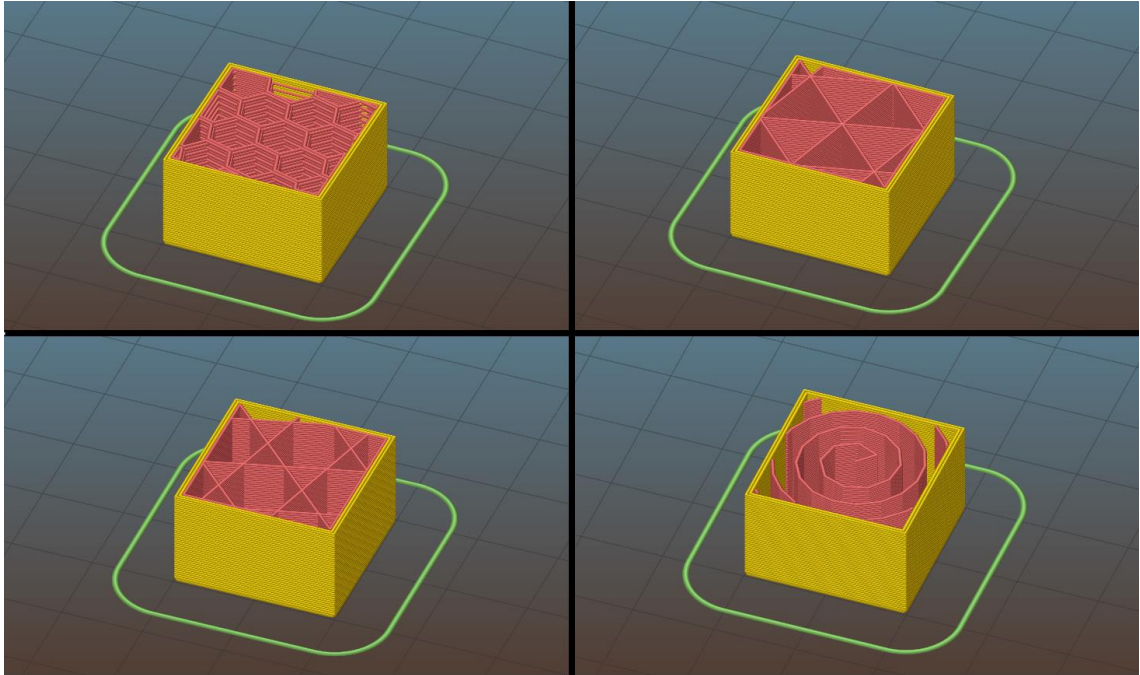
Täyttöasetukset määrittelevät miten tulostettavan kappaleen sisäosa tulostetaan. Täyttöaste ilmoitetaan prosentteina ja se määrittelee, kuinka paljon kappaleen sisäosasta täytetään kiinteällä materiaalilla (Kuvio 5). Jos kappaleen täyttöaste on 100 prosenttia, on se täysin kiinteä. Mitä korkeampi täyttöaste on sitä kestävämpi ja raskaampi tulostettavasta kappaleesta tulee, mutta tulostaminen kestää kauemmin ja materiaalia kuluu enemmän. (PinshapeBlog 2015.)



Kuvio 5. Eri asetuksia kappaleen täyttöasteelle

Jos tulostettavan kappaleen ei tarvitse kestää mekaanista rasitusta, 10-20 prosentin täyttöaste on normaali. Mikäli kappale joutuu kestäämään mekaanista rasitusta 75-100 prosentin täyttöaste käyttökelpoisempi. (PinshapeBlog 2015.)

Täytekuviolla on mahdollista vaikuttaa, millainen kappaleen sisään tuleva täyte on. Ruudukko on yleisimmin käytettävä täyttökuvio (Kuvio 5). Muita mahdollisia kuvioita ovat esimerkiksi hunajakkenno, kolmio, tähti ja spiraali (Kuvio 6). Näitä samoja kuvioita voi käyttää myös tulosteen pohjaan ja yläpintaan.



Kuvio 6. Erilaisia täyttökuvioita

### 2.3.3 Tukirakenteet

Monissa tulostettavissa kappaleissa on kohtia, jotka täytyy tulostaa suureen kulmaan tai täysin vaakatasoon. Koska tulosteet tehdään kerros kerrokselta, yli 45 asteen kulmaan tulostuvien kohtien alle ei jää tarpeeksi materiaalia, jotta ne voisivat tulostua oikein. Tukirakenteet auttavat näitä kohtia tulostumaan paremmin. (PinshapeBlog 2015.)

Joe Larsonin YHT-sääntö antaa kuvan, millaisissa tilanteissa tukirakenteita tulee käyttää.

- ”Y”-muotoiset tulosteet voi tulostaa ilman tukirakenteita, koska niissä ei ole 45 asteen ylittäviä kulmia.
- ”H”-muotoisissa tulosteissa kahden pilarin väliin ilmaan tulostuvia kohtia kutsutaan silloiksi. Kaikki sillat hyötyvät tukirakenteista, mutta tulostusasetuksien ollessa kohdallaan, eivät lyhyet sillat tarvitse tukirakenteita.
- ”T”-muotoiset tulosteet tarvitsevat tukirakenteita, sillä vaakatasossa olevan kohdan toinen pää ei kiinnity mihinkään. (PinshapeBlog 2015.)

#### 2.3.4 Nopeus

Tulostusnopeus viittaa siihen nopeuteen jolla tulostuspää liikkuu tulostaessaan määrättyä kappaletta. Sopivan nopeuden löytämiseen vaikuttavat monet tekijät kuten tulostettava materiaali, käytettävä tulostin ja käytettävä kerroskorkeus. Liian korkea tulostusnopeus aiheuttaa sotkuisen lopputuloksen. Normaali tulostusnopeus FDM-tulostimille on 50 mm/s, mutta tulosteesta riippuen sitä voi muuttaa suuntaan tai toiseen. (PinshapeBlog 2015.)

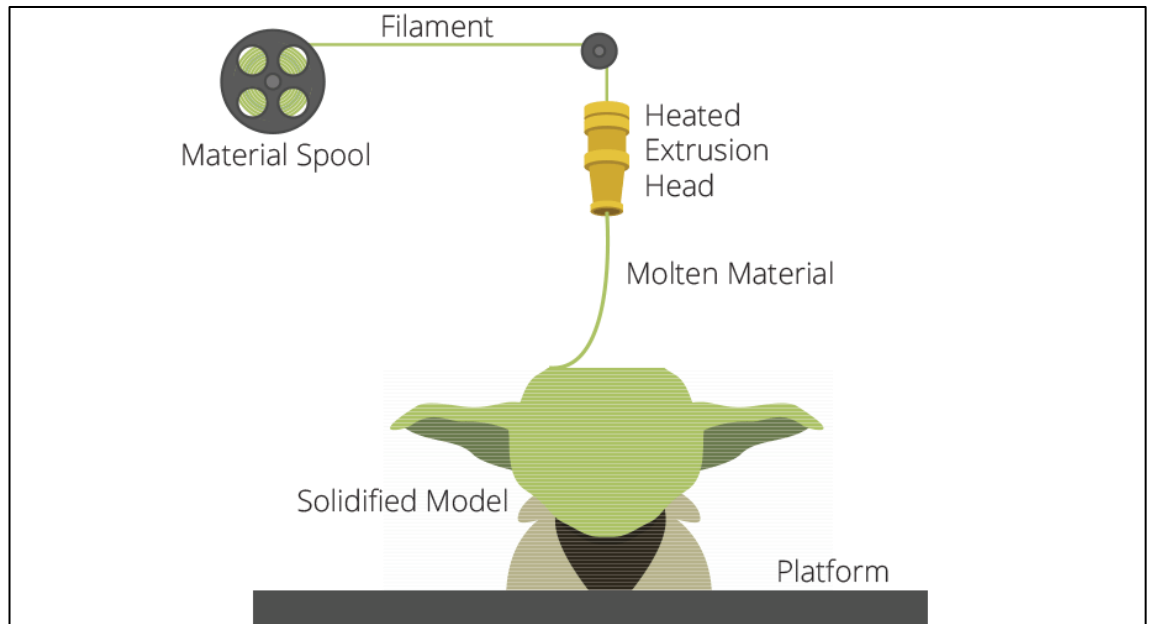
Jotta tulostus olisi mahdollisimman nopeaa, voi tulosteen eri osille määrittää eri tulostusnopeudet. Esimerkiksi tulosteen sisälle tulevalle materiaalille nopeuden voi nostaa korkeammaksi, sillä täytemateriaali ei tule näkymään valmiissa tulosteessa. Tulosteen ulkolaidan nopeuden voi taas hidastaa, jotta ulkopinnasta saadaan mahdollisimman tarkka. Joissain tulosteissa tulostuspää joutuu tekemään liikkeitä joiden aikana materiaalia ei lisätä tulosteeseen. Näiden liikkeiden nopeuden voi nostaa paljon tulostusnopeutta korkeammaksi.

#### 2.4 Tulostus ja tulostintekniikat

Erilaisiin teknologioihin perustuvia 3D-tulostimia on paljon, mutta kaikki toimivat samalla periaatteella. Kaikki tulostimet muuttavat digitaalisen mallin fyysiseksi objektiksi tulostamalla sen kerros kerrokselta. (3D HUBS 2017.)

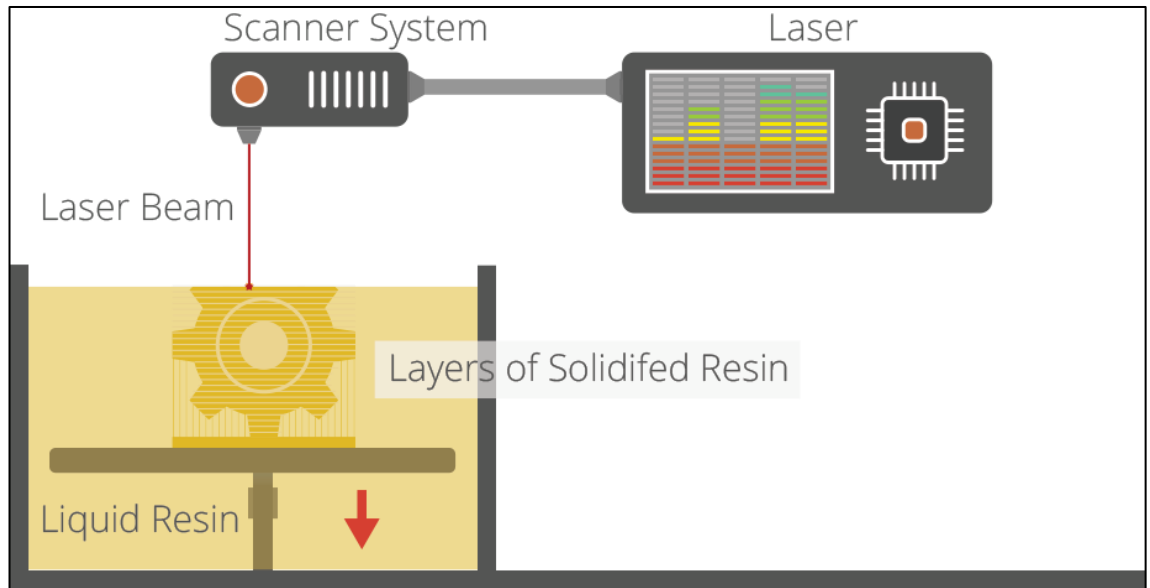
FDM eli Fused Deposition Modeling-tulostuksessa kiinteää muovilankaa syötetään kuumenevaan tulostuspäähän, joka levittää sulaneen muovin tulostusalustalle kerros kerrokselta. Levitetty muovi jäähtyy ja kovettuu paikoilleen. Sen jälkeen levitetään uusi kerros, kunnes tuloste on valmis (Kuvio 7). Useissa tulostimissa tuuletin puhaltaa suoraan tulostuspään alapuolelle nopeuttaen muovin kovettumista. Tukimateriaali rakentuu samasta sulatetusta muovista kuin itse tulostettava kappale. Joissain FDM-tulostimissa on useampi tulostuspää ja tukirakenteisiin voi käyttää toista materiaalia. Erilainen materiaali voi helpottaa tukirakenteiden poistoa. Kotikäyttöön suunnatut tulostimet ovat yleisimmin FDM-tulostimia. (Grano 3D Oy 2017.)





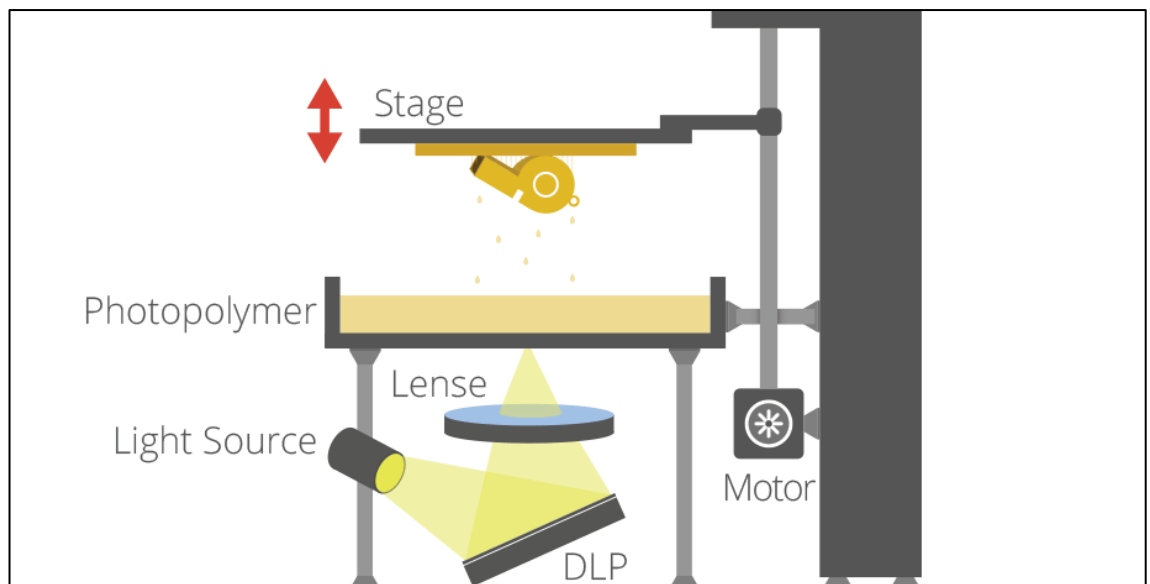
Kuvio 7. FDM-tulostimen toimintaperiaate (3D Printing Industry 2017)

SLA eli stereolitografiatulostus perustuu nestemäisen hartsipohjaisen fotopolymerin kovettamiseen UV-laservalolla. Tulostusalusta on ensimmäisen kerroksen aikana hartsin pinnan alapuolella. Etäisyys pintaa määrittää tulosteen kerroksien paksuuden. X- ja y-akselilla liikkuva UV-laservalo piirtää ensimmäisen kerroksen kovettaen hartsin tulostusalustan pintaan. Sen jälkeen tulostusalusta siirtyy alaspäin ja UV-laser piirto tapahtuu uudestaan. Tätä toistetaan, kunnes tuloste on valmis (Kuvio 8). SLA-tulosteet ovat tarkkuudessaan aivan kärki luokkaa, mutta tulosteiden jälkikäsittely on aikaa vievää, eikä tulosteiden kestävyys pitkällä aikavälillä ole SLA-tekniikan vahvuus. Ajan kuluessa monet tulosteet muuttuvat hauraiksi. SLA-tekniikkaa käyttävät 3D-tulostimet olivat ensimmäisiä, jotka tulivat teollisille markkinoille. Se tapahtui vuonna 1988 (3D Printing Industry 2017; Grano 3D Oy 2017.)



Kuvio 8. SLA-tulostimen toimintaperiaate (3D Printing Industry 2017)

DLP 3D-tulostus toimii lähes samalla periaatteella kuin SLA-tulostus. Suurin ero näiden kahden tulostuksen välillä on valonlähde, jota käytetään kovettamaan nestemäinen tulostusmateriaali. SLA-tulostuksessa käytetään UV-laseria, mutta DLP-tulostuksessa valonlähde on perinteisempi, kuten esimerkiksi kaarilamppu. Kaarilampun valo heijastetaan muotoutuvan peilin (DMD) kautta linssin läpi nestemäiseen hartsiin (Kuvio 9). (3D Printing Industry 2017.)

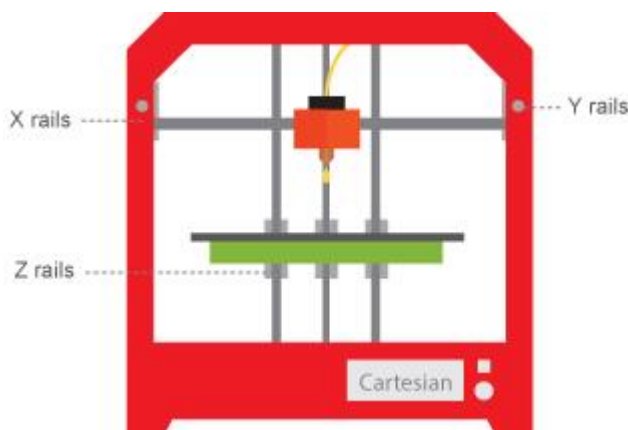


Kuvio 9. DLP-tulostimen toimintaperiaate (3D Printing Industry 2017)

## 2.5 FDM-tulostimet

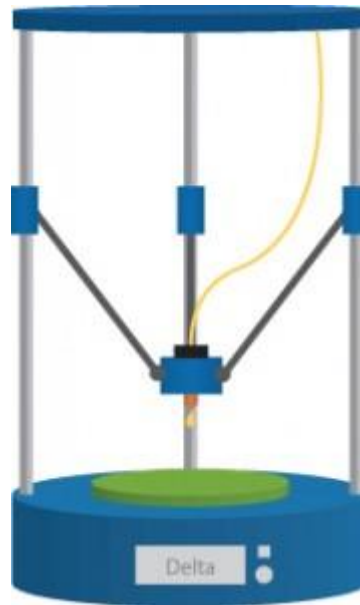
Kaksi yleisintä FDM-tulostintyyppiä ovat Cartesian- ja Delta-tulostimet. Molemmat tulostavat materiaalia samalla tavalla, mutta niiden suurin ero tavassa jolla tulostuspäätä liikutetaan ja sen paikka 3D-avaruudessa arvioidaan. (Spadaro 2016.)

Cartesian-tulostimet käyttävät Cartesiantaulukkoa eli XYZ-koordinaatistoa. Cartesian-tulostimissa on kolme kiskoa joista jokainen vastaa yhtä XYZ-koordinaatiston tasoa (Kuvio 10). Jokaisella kiskolla on liukuva liitos tai kierretanko, joka pystyy liikuttamaan tulostuspäätä. Cartesian-tulostimen ohjaaminen on mekaanisesti yksinkertaista ja elektroniikkaa ohjaavan koodin kirjoittaminen suoraviivaista. Tästä syystä Cartesian-tyyliset tulostimet ovat kaikkein yleisimpiä FDM-tulostimia. (Spadaro 2016.)



Kuvio 10. Cartesian-tyylinen 3D-tulostin (Spadaro 2016)

Delta-tyyliset tulostimet käyttävät hyvin erilaista lähestymistapaa tulostuspään liikuttamiseen. Tulostimessa on kolme pystysuoraa kiskoa, joihin tulostuspää on kiinnitetty kolmella erillisellä tangolla (Kuvio 11). Nämä tangot liikkuvat ylös ja alas toisistaan riippumatta liikuttaen tulostuspäätä. Delta-tulostimet käyttävät tulostuspään paikan määrittämiseen trigonometrisiä funktioita. Funktioiden käyttäminen on huomattavasti monimutkaisempaa kuin Cartesiankoordinaatiston käyttäminen. (Spadaro 2016.)



Kuvio 11. Delta-tyylinen 3D-tulostin (Spadaro 2016)

## 2.6 FDM-tulostimien materiaalit

FDM-tulostimien materiaalina käytetään rullalla säilytettävää muovilankaa. Rullien koko vaihtelee 200:n ja 1000 gramman välillä. Yksi yleisimmin käytettävistä materiaaleista on PLA (Polylactic Acid). PLA on biohajoavaa ja se on tehty kasvipohjaisista tuotteista kuten maissitärkkelyksestä. PLA on hajutonta, ei väänny tulostaessa, eikä tarvitse lämmitettävää tulostusalustaa. PLA on kestävä ja kovaa, mutta tulosteesta riippuen se voi olla haurasta. Pienet osat, lelut ja prototyypit ovat hyviä käyttökohteita PLA-materiaalille. (PrintSpace 3D 2016.)

ABS (Acrylonitrile butadiene styrene) on toinen erittäin yleisesti käytettävä 3D-tulostusmateriaali. ABS on öljypohjainen kestumuovi jolla ei ole todellista sulamispistettä, mutta lämpötilan noustessa se muuttuu pehmeämmäksi. ABS on kestävämpää kuin PLA. ABS kestää hyvin lämpöä, joten sitä voidaan käyttää osissa jotka joutuvat kestäämään isoja lämpötilan vaihteluita. ABS-muovia käytetään laajalti eri tuotteissa autojen puskureista soittimiin, golfmailoihin ja Legoihin. ABS ei ole ruokaturvallista ja tulostus täytyy tapahtua hyvän ilmanvaihdon omaavassa ympäristössä. (PrintSpace 3D 2016.)

PLA ja ABS ovat kaikkein eniten 3D-tulostuksessa käytettäviä materiaaleja, mutta saatavilla on myös kymmenittäin erilaisilla ominaisuuksilla varustettuja tulostusmateriaaleja esimerkiksi erilaisilla kuiduilla tai nylonilla vahvistetut materiaalit. Nämä materiaalit ovat erittäin kiinteitä ja kestäviä. Muita erikoismateriaaleja ovat pehmeät ja joustavat materiaalit, läpikuultavat ja läpinäkyvät materiaalit, tukirakenne materiaalit ja metallivahvisteiset materiaalit.

### 3 ANET A8 -3D-TULOSTINRAKENNUSSARJA

Anet A8 3D-tulostin on RepRap-konseptilla rakennettu ja Prusa i3 -tulostimeen pohjautuva rakennussarja. Alkuperäisen Prusa i3 -tulostimen hinta on noin 1000 euroa, mutta Anet A8 -tulostimen hinnaksi muodostui postituksen, verojen ja tullmaksujen jälkeen noin 350 euroa.

#### 3.1 Rakennuksen aloitus ja y-akseli

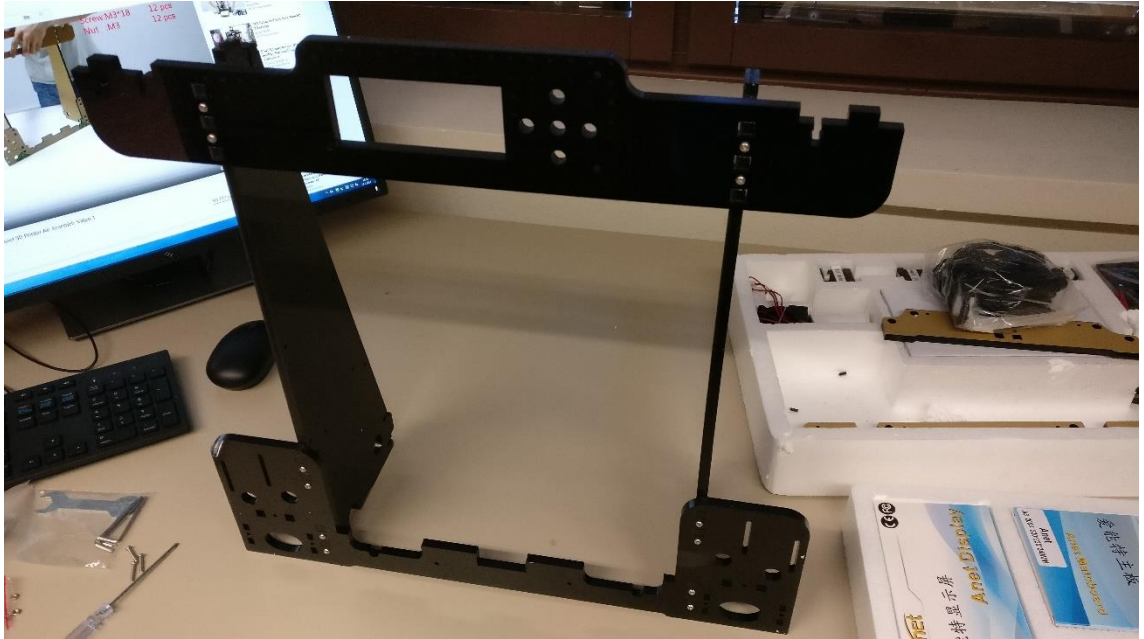
Tulostimen rakennus lähti liikkeelle osien paketista purkamisella ja niiden tarkastamisella. Kaikki osat olivat lajiteltu niille kuuluviin osastoihinsa, mutta huomiota herätti rikkiäinen pakkausmateriaali (Kuvio 12). Mikään osa ei kuitenkaan ollut rikkoutunut toimituksen aikana.



Kuvio 12. Tulostimen osat

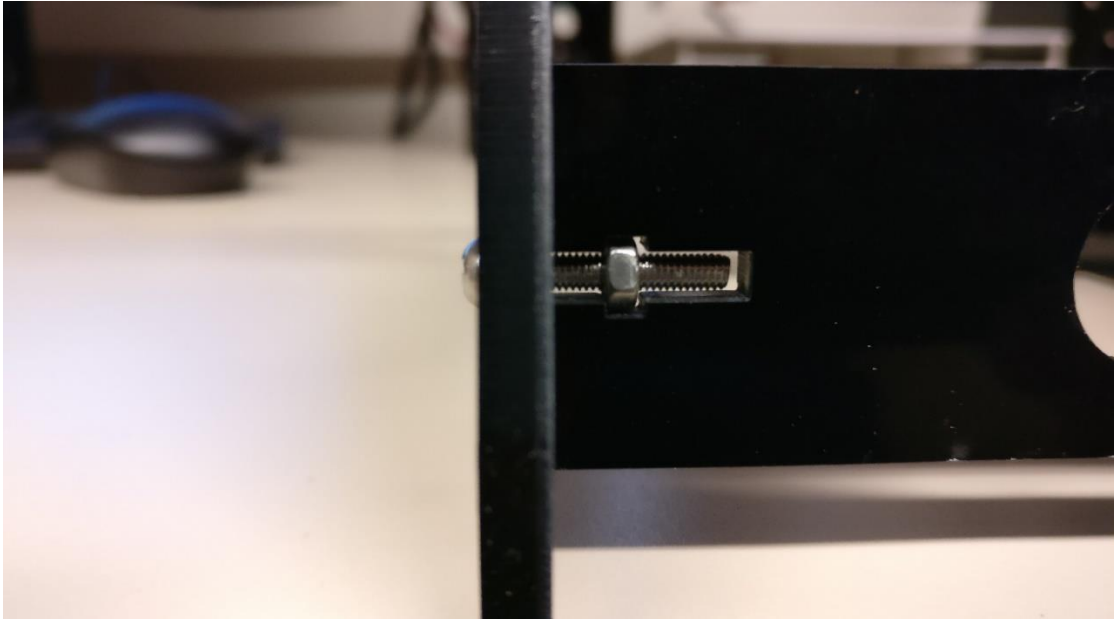
Tulostimen mukana ei tullut minkäänlaista paperista dokumentaatiota, vaan kaikki tarvittava materiaali on ladattu muistikortille, jota pystyy käyttämään tulostimen mukana tulleella USB-adapterilla. Muistikortilla ollut rakentamishoje ei ollut kovin selkeä ja sen seuraaminen osoittautui haastavaksi. Tästä syystä ohjeena käytettiin YouTubessa olevaa videosarjaa, joka esittää tulostimen rakentamisen hyvin yksityiskohtaisesti. (David 2016a; David 2016b.)

Rakentamisen ensimmäisessä vaiheessa koottiin tulostimen runko, joka muodostuu neljästä akryylisestä palasta. Kuviossa 13 tulostimen runko on kasattuna.



Kuvio 13. Tulostimen runko

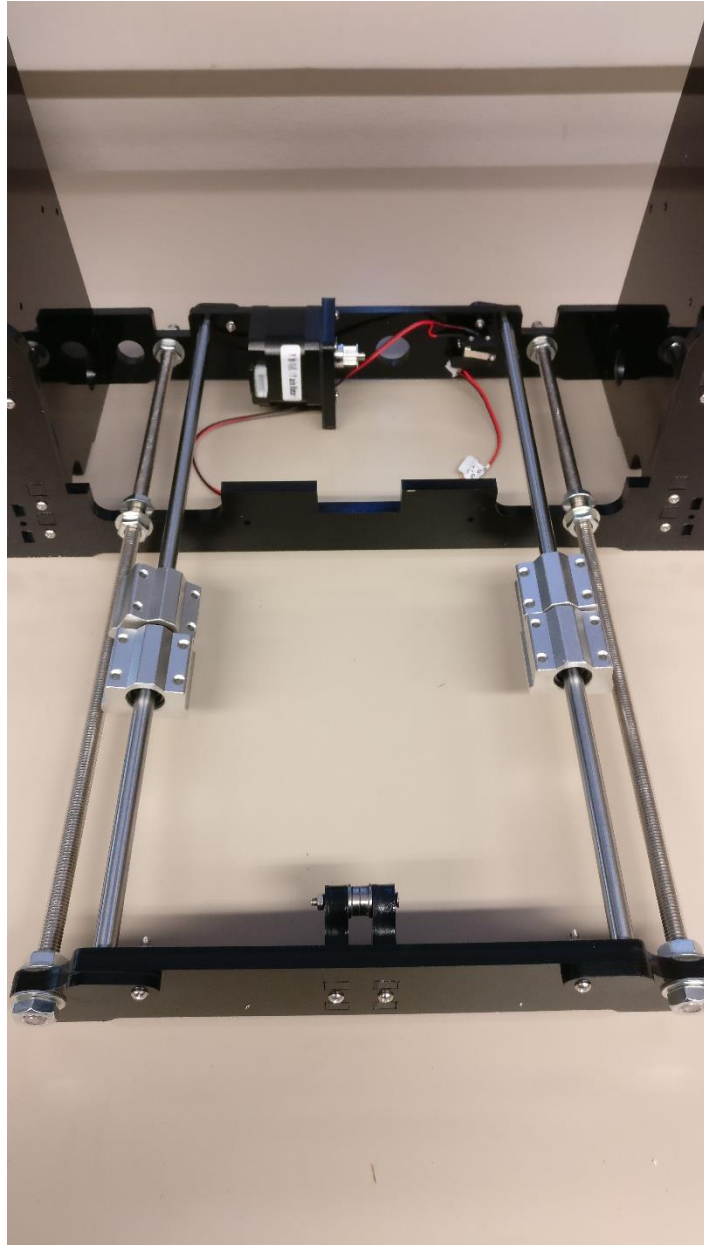
Tulostimen akryyliset osat ovat suunniteltu niin että ne voidaan liittää toisiinsa yksinkertaisesti ruuveilla ja muttereilla. Liitettävissä osissa on kolot ja ulokkeet, jotka sopivat toisiinsa. Akryylissä on valmis reikä ruuville ja vastakappaleessa kolo johon mutteri voidaan asettaa (Kuvio 14). Mutteria ei pääse pitämään avaimella, mutta sormilla pitäessä se kiilautuu akryyliä vasten ruuvia kiristämällä. Koska mutteria ei pääse pitämään avaimella, ylikiristämisen ja samalla akryyliosien murtumisen mahdollisuus pienenee.



Kuvio 14. Akryyliosien kiinnitysmekanismi

Kokoamisen seuraavassa vaiheessa tulostimen rungon taakse lisättiin y-akselin takalaita. Tähän kiinnitettiin y-akselin liikkeestä vastaava moottori ja kytkin, joka toimii y-akselin päätytunnistimena. Lisäksi takalaitaan kiinnitettiin kaksi kierretankoa, jotka lukittiin paikoilleen muttereilla. Y-akselin etulaita valmisteltiin kiinnittämällä siihen hihnapyörä. Sen jälkeen etulaita kiinnitettiin kierretankojen päähän. Etulaidassa olevien reikien läpi laitettiin pyörötangot, joihin liu'utettiin kaksi liukulaakeria. Kun pyörötangot olivat paikoillaan, ruuvattiin etu- ja takalaitaan pienet akryylipalat. Niiden tehtävä on pitää tangot paikoillaan (Kuvio 15).

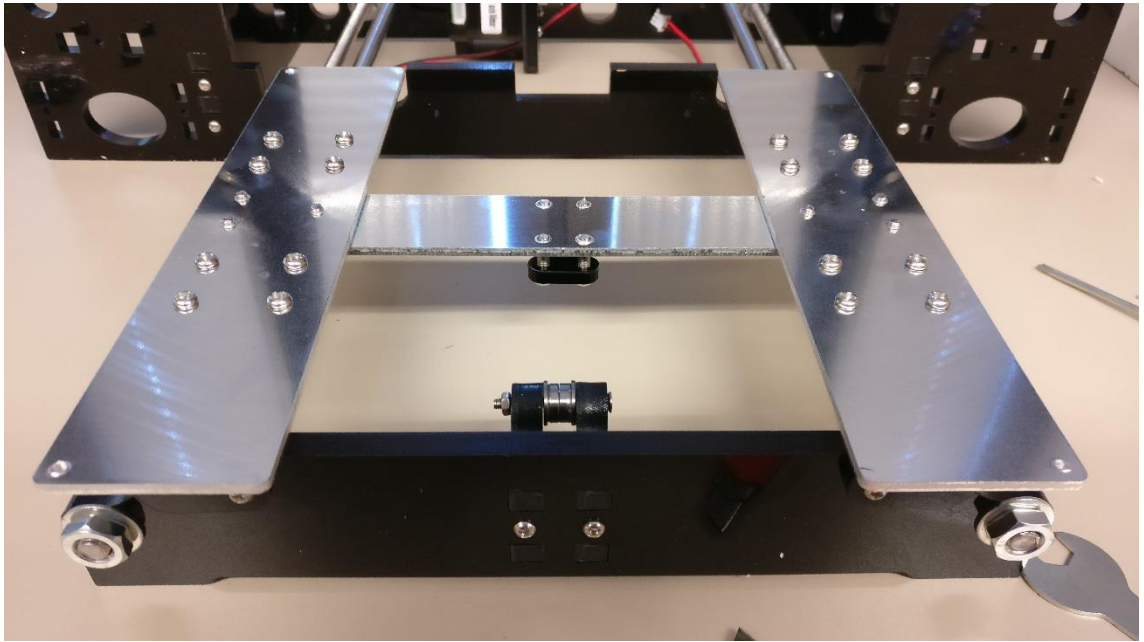




Kuvio 15. Y-akselin kokoaminen

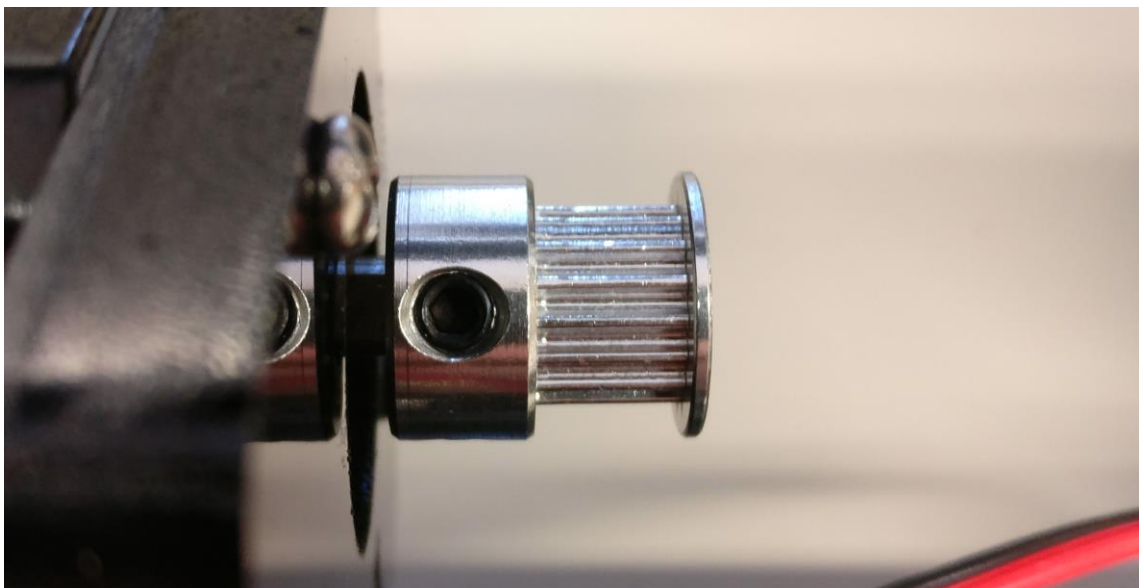
### 3.2 Tulostusalustan ja z-akselin rakennus

Tässä vaiheessa kokoamista ohjevideosta paljastui ensimmäinen virhe. Ohjeessa neuvottiin kiinnittämään tulostusalustan pohja siten että siinä oleva poikittaistuki tulisi pitkittäin olevin osien päälle (Kuvio 16). Se aiheutti tulostusalustaa liikuttavan hihnan nousevan kiinnitys kohdasta. Pohjan kääntäminen ylösalaisin ratkaisi ongelman ja hihna pääsi kulkemaan täysin vaakatasossa.



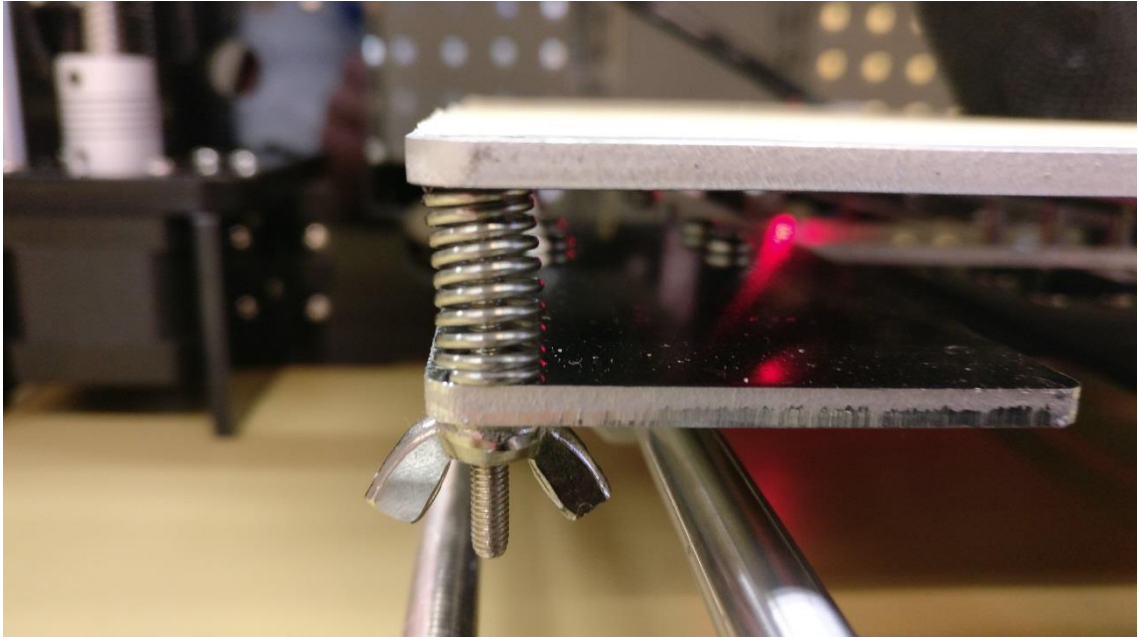
Kuvio 16. Tulostusalustan pohja

Kun alustaa liikuttava hihna oli laitettu paikoilleen, se ei kulkenut täysin suorassa. Sen aiheutti y-akselin moottorin päässä oleva hihnapyörä. Sitä ei alunperin ole kiinnitetty oikeaan kohtaan, vaan hihnapyörä täytyi siirtää aivan akselin päähän (Kuvio 17). Kuvio 15 näkee, missä kohtaa hihnapyörä oli ennen kuin se siirrettiin oikeaan kohtaan. Hihnapyörän siirtämisen jälkeen hihna pääsi kulkemaan suoraan ja vaakatasossa.



Kuvio 17. Y-Akselin hihnapyörä kiinnitettynä oikeaan kohtaan

Seuraava vaihe tulostimen rakennuksessa oli lämmitettävän tulostusalustan kiinnittäminen. Tulostusalusta kiinnitettiin edellisessä vaiheessa kiinnitettyyn pohjaan neljällä ruuvilla. Tulostusalustan ja pohjan jokaiseen nurkkaan asetettiin jousi, josta ruuvi meni läpi. Jousi pitää sen verran jännitettä tulostusalustan ja pohjan välillä, että alusta ei pääse tulostuksen aikana liikkumaan. Lopuksi ruuvit lukittiin paikoilleen siipimuttereilla (Kuvio 18).

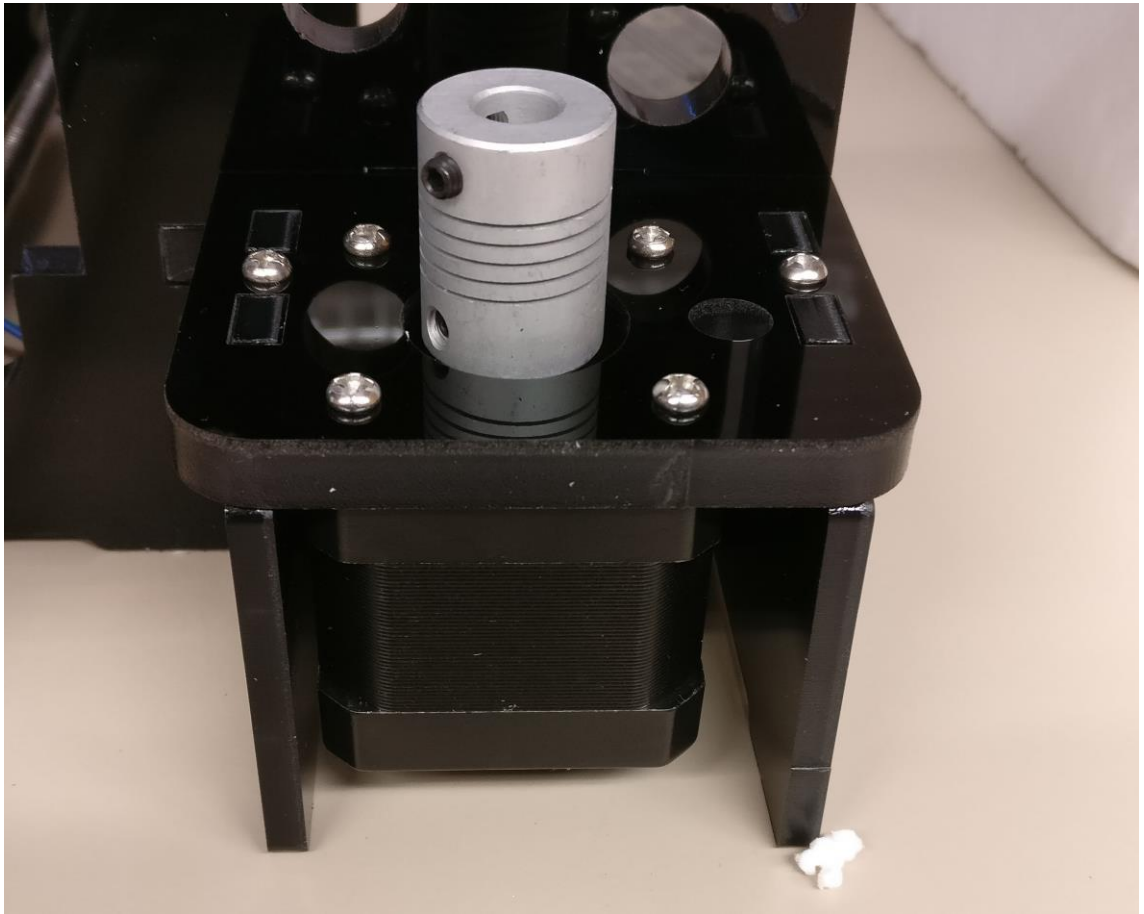


Kuvio 18. Tulostusalustan kiinnitys ja säätö mekanismi

Tässä vaiheessa kasausta ohje kehottaa kiristämään kaikki tulostusalustan ruuvit pohjaan, jotta alustan säätöön jää mahdollisimman paljon varaa. Kiristäessä viimeistä nurkkaa, pohjassa oleva kierre petti eikä ruuvi enää pysynyt kiinni ilman siipimutteria. Se ei kuitenkaan vaikuta tulostusalusta säätöön merkittävästi, sillä siipimutteri pitää ruuvin paikoillaan ja sen varassa säätö pysyy hyvin paikoillaan. Varotoimenpiteenä muita nurkkia löysätettiin jonkin verran ylöspäin, jotta niiden kierteet kestäisivät paremmin.

Nyt kun kaikki y-akselin komponentit ovat paikoillaan, voitiin siirtyä z-akselin moottoreiden kiinnitykseen. Z-akselia liikuttamaan tarvitaan kaksi moottoria. Yksi kummallekin laidalle runkoa. Niille kasattiin kolmesta akryylipalasta kotelot, joihin moottorit kiinnitettiin. Nämä yhdistelmät kiinnitettiin tulostimen runkoon (Kuvio 19). Moottoreiden akseleihin kiinnitettiin alumiiniset adapterit, joihin asetettiin kierretangot. Samaan runkopalaan johon z-akselin moottorit kiinnitettiin, laitettiin

akryylinen vastakappale. Tässä kappaleessa on reikä, johon kierretangon toinen pää sopii. Moottorin vieressä ja vastakappaleessa on myös reikä pyörötangolle.



Kuvio 19. Z-akselin moottori kiinnitettynä runkoon

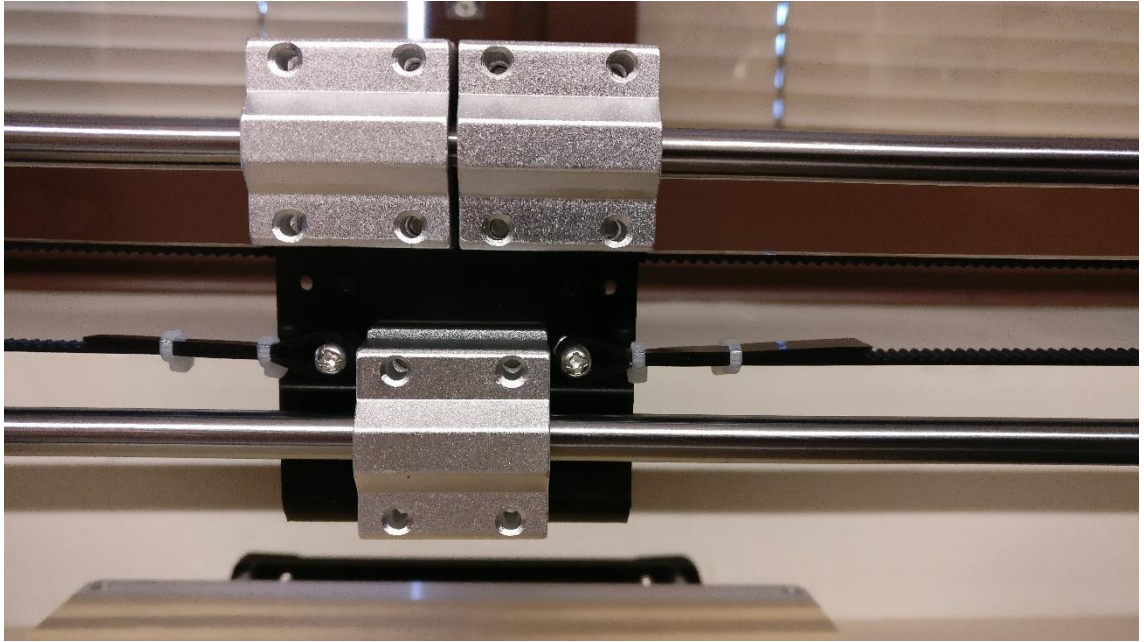
Kierretanko ja pyörötanko laitettiin vastakappaleessa olevien reikien läpi, mutta ennen kuin ne voitiin kiinnittää, täytyi ne liu'uttaa x-akselin kannakkeen läpi. Sen jälkeen kierretanko kiinnitettiin moottorin päässä olevaan alumiiniseen adapteriin ja pyörötanko asetettiin sille tarkoitettuun reikään moottorin viereen. Pyörötangon yläpäähän ruuvattiin akryylinen pala, jotta se ei pääse liikkumaan. Samat vaiheet toistettiin toiselle z-akselin moottorille. LCD-näyttö ja näppäimistö kiinnitettiin tuostimen rungon ylimpään osaan. Kaikki yllämainitut vaiheet näkyvät toteutettuna kuviossa 20.



Kuvio 20. Z-akseli, x-akseli ja tulostuspään kannake kiinnitettynä tulostimeen

### 3.3 Tulostuspään, x-akselin ja elektroniikan rakennus

Kun z-akselin kaikki komponentit olivat paikoillaan, valmisteltiin tulostuspään kannake kiinnittämällä siihen kolme liukulaakeria. Liukulaakereiden lisäksi kannakkeen taakse kiinnitettiin kaksi ruuvia, joihin x-akselin hihna myöhemmin kiinnitetään. Pyörötangot työnnettiin oikeanpuoleisen x-akselin kannakkeen ja tulostuspään kannakkeessa olevien liukulaakereiden läpi. Tässä vaiheessa x-akselia liikuttava moottori kiinnitettiin neljällä ruuvilla vasemmanpuoleiseen x-akselin kannakkeeseen (Kuvio 20). X-akselin hihna vedettiin hihnapyörien ympäri ja kiinnitettiin tulostuspään kannakkeessa oleviin ruuveihin nippusiteiden avulla (Kuvio 21).



Kuvio 21. X-akselin hihna kiinnitettynä tulostuspään kannakkeeseen

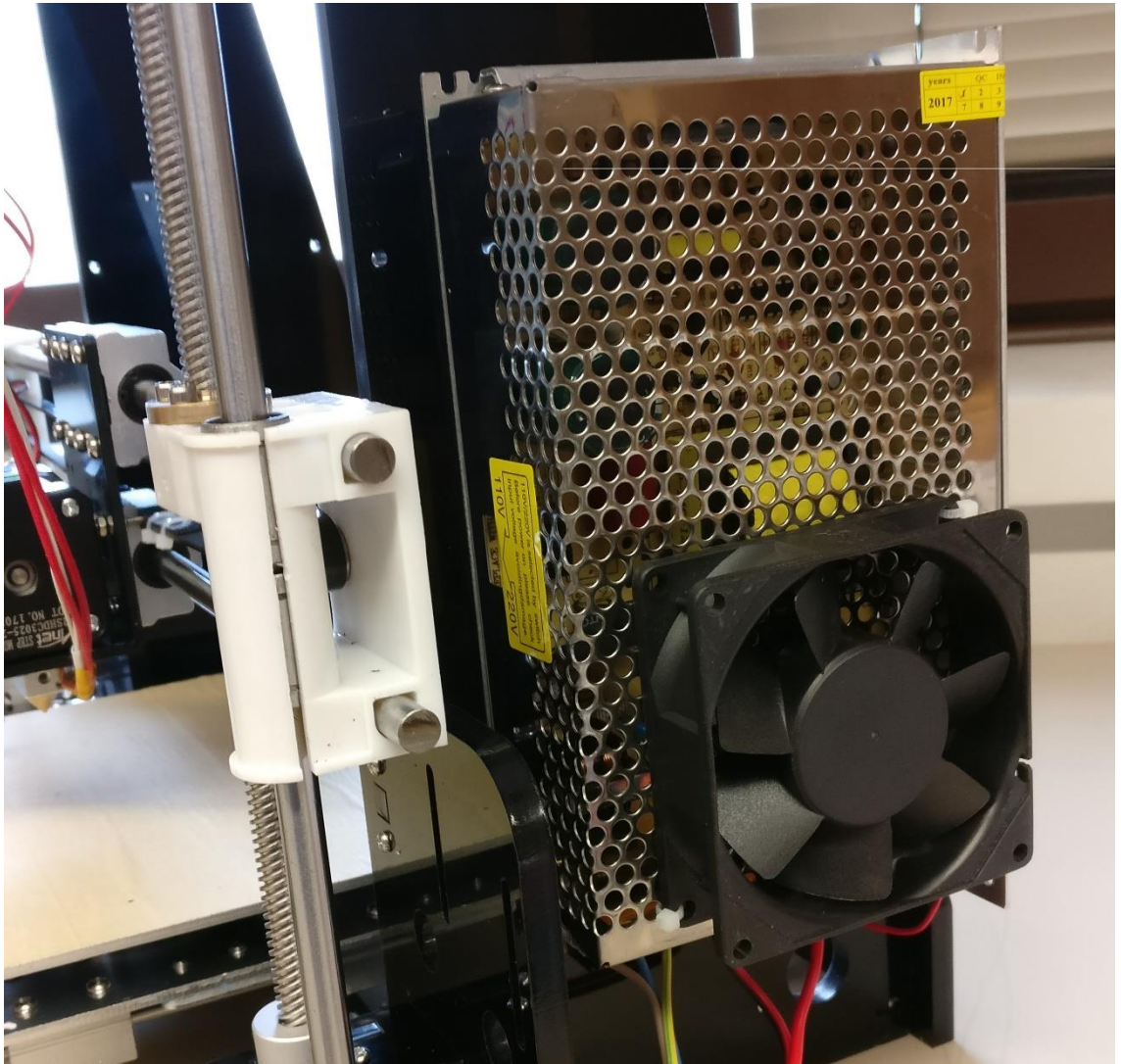
Tulostuspää tuli valmiiksi kasattuna kokonaisuutena, joten sen kiinnittäminen oli hyvin yksinkertaista. Tulostuspää asetettiin kannakkeeseen ja kiinnitettiin pohjasta yhdellä ruuvilla. Tulostuskärki lukittiin paikoilleen mutterilla (Kuvio 22).



Kuvio 22. Tulostuspään kiinnitys kannakkeeseen

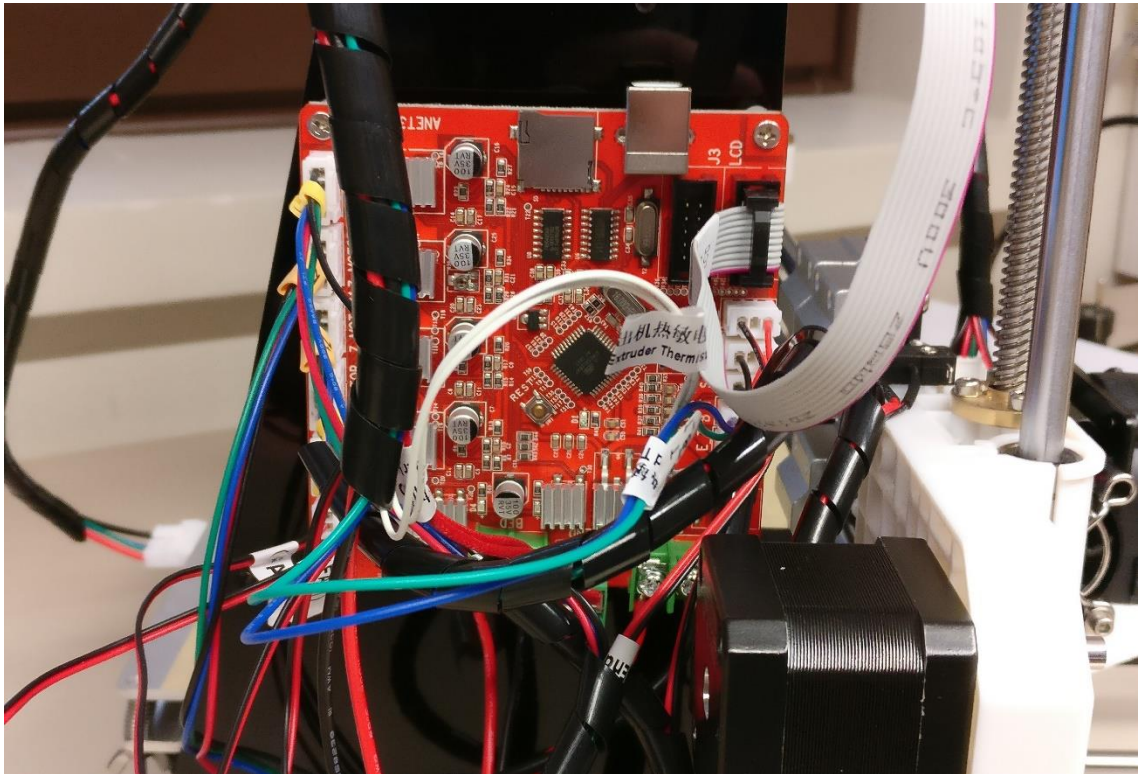
Seuraava vaihe kasauksessa oli virtalähteen kiinnitys. Johdot kiinnitettiin virtalähteeseen videolla olevien ohjeiden mukaisesti, mutta ennen sen tulostimeen kiinnittämistä virtalähteeseen asennettiin tuuletin. Tuuletin ei tullut tulostimen mu-

kana vaan se hankittiin erikseen. Muiden käyttäjien arvosteluiden mukaan tulostimen mukana tuleva virtalähde on hieman alitehoinen ja lämpenee rasituksessa, siksi tuuletin asennettiin virtalähteeseen. Tuulettimen asennuksen jälkeen virtalähde kiinnitettiin tulostimen runkoon kolmella ruuvilla (Kuvio 23).



Kuvio 23. Virtalähde kiinnitettynä tulostimen runkoon

Emolevy oli viimeinen osa, joka kiinnitettiin tulostimeen. Se ruuvattiin rungon vasempaan laitaan neljällä ruuvilla (Kuvio 24). Seuraavaksi kaikki johdot käärittiin suojaan ja kiinnitettiin emolevyyn. Emolevyn kytkentäkaavio on nähtävissä liitteessä 1. Tässä vaiheessa tulostin on täysin valmis, mutta ennen ensimmäistä tulostusta siihen lisättiin vielä kaksi kriittistä osaa, jotka oli hankittu jo ennen tulostimen kasausta.



Kuvio 24. Emolevy ja johdotukset

### 3.4 MOSFET-transistorien asennus ja tulostusalustan säätö

Ennen tulostimen hankkimista tehty tutkimus osoitti, että sen mukana tuleva emolevy ei ole tarpeeksi laadukas käsittelemään lämmitettävän tulostusalusta ja tulostuspään tarvitsemaa virtaa. Useiden Anet A8 tulostimien emolevyt olivat vaurioituneet, koska niiden läpi menee liian suuria virtoja. Ongelma ratkaistiin asentamalla kaksi erillistä piirilevyä, joissa on MOSFET-transistorit. (Kuvio 25). Nyt tulostuspäälle ja tulostusalustalle menevä virta kulkee näiden lisättyjen piirilevyjen läpi ja emolevyn tehtäväksi jää ohjata virransyöttöä. Tulostimen johdotusta täytyi muuttaa, jotta piirilevyt saatiin asennettua. Johtokaavion voi nähdä liitteessä 2. Samalla kun uudet johdot vedettiin, laitettiin niiden päihin siniset Abicoliittimet (Kuvio 25). Tämä parantaa liitäntöjen kontaktia. Tässä vaiheessa tulostin on kasattu loppuun ja on tulostusalustan säätöä vaille valmis ensimmäiseen tulosteeseen.



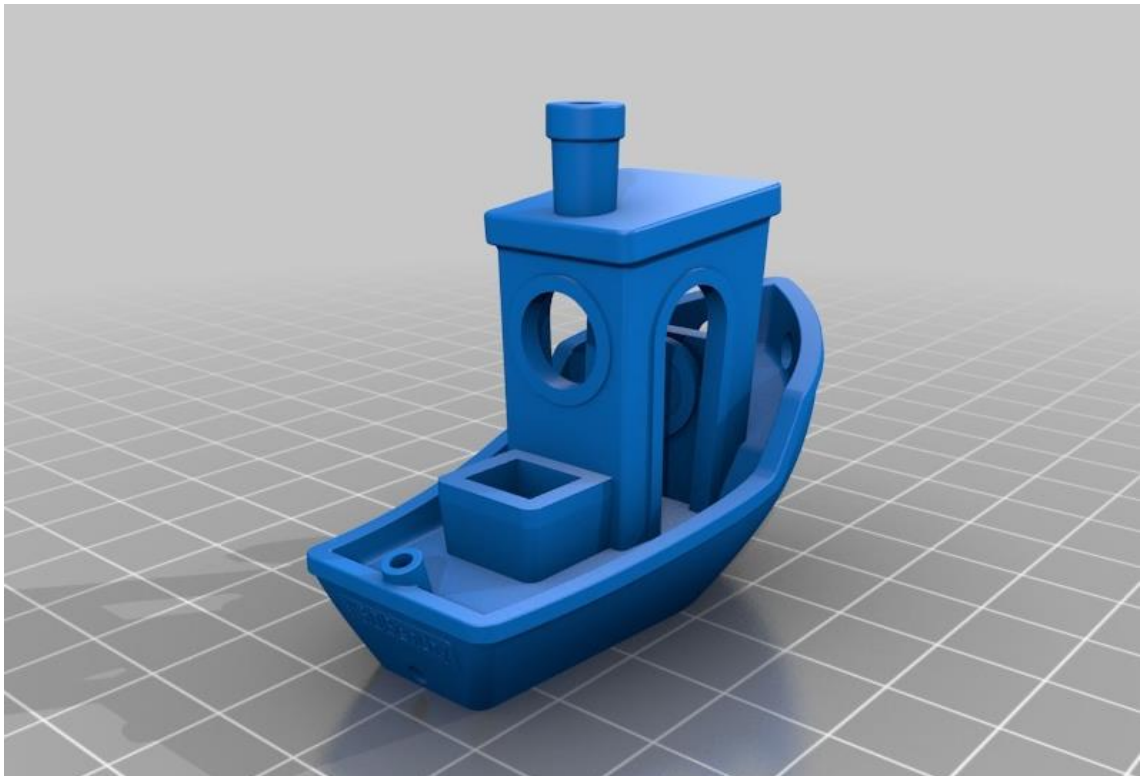


Kuvio 25. MOSFET-piirilevy asennettuna emolevyn yläpuolelle

Tulostusalustan säätö vaikuttaa merkittävästi tulosteen onnistumiseen. Alustan täytyy olla lähes täydellisesti vaakatasossa, jotta tulosteella on paras mahdollisuus tarttua alustaan ja siten pysyä paikallaan koko tulostuksen ajan. Alusta säädettiin, siirtämällä tulostimen vasemmassa laidassa olevaa kytkintä ylös ja alas. Säädetty kytkin toimii z-akselin päätytunnistimena ja näin pysäyttää liikkeen alaspäin. Kytkintä siirrettiin niin, että tulostuskärki jäi noin yhden millimetrin päähän tulostusalustasta. Sen jälkeen alusta hienosäädettiin tulostusalustan nurkissa olevilla ruuveilla. Tulostuskärki siirrettiin vuorotellen jokaiseen alustan nurkaan ja etäisyys petiin tarkastettiin A4 paperilla. Kun tulostuskärjen ja tulostusalustan välissä olevaa A4 paperia liikutettiin, siinä tuntui vähäistä kitkaa. Silloin kärki oli sopivalla korkeudella alustaan nähden.

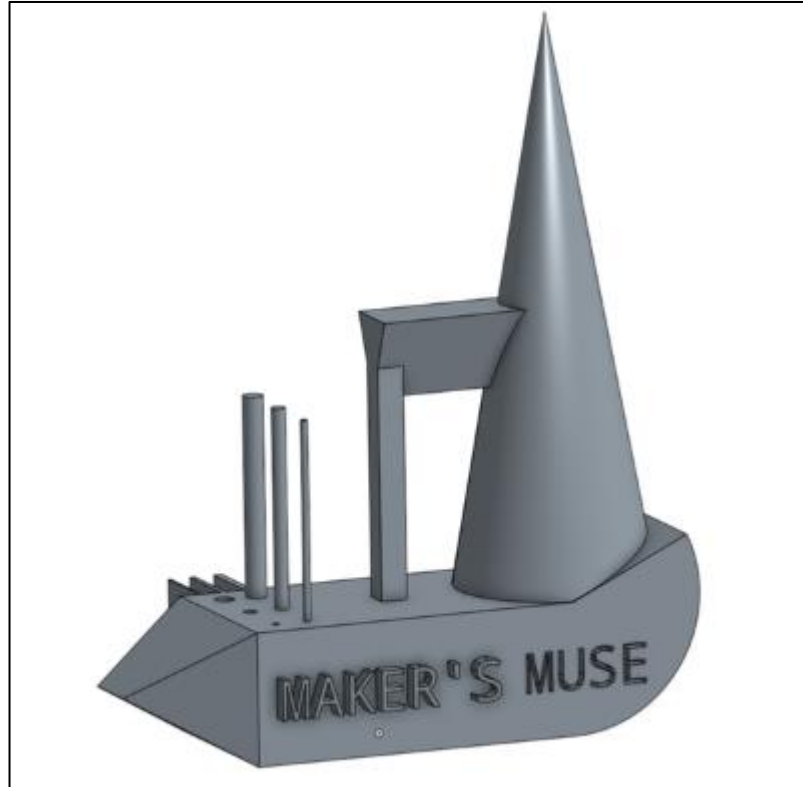
#### 4 TESTITULOSTEET ENNEN PÄIVITYKSIÄ

Tulostimen testausta varten valittiin kaksi testitulosteiksi suunniteltua mallinusta. Ensimmäinen on 3DBenchy nimellä tunnettu veneen näköinen testituloste (Kuvio 26). Se on suunniteltu tulostumaan nopeasti ja samalla testaamaan tulostimen ominaisuuksia. 3DBenchy sisältää useita kohtia joissa monet FDM-tulostimet ovat vaikeuksissa. Esimerkkejä näistä kohdista ovat kaarevat pinnat, jyrkkään kulmaan tulostettavat osat ja niin sanottu tyhjän päälle tulostus.



Kuvio 26. 3DBency testimalli (CreativeTools, 2015)

Toiseksi testitulosteeksi valittiin vielä edellistäkin haastavampi tuloste (Kuvio 27). Kyseessä on Maker's Muse -nimisen 3D-tulostajan ja youtubettajan suunnittelema 3D-mallinnus. Tässä 3D-mallissa on samoja FDM-tulostimille haastavia kohtia kuin 3DBenchyssäkin, mutta tähän malliin ne on tehty vieläkin vaikeammiksi. Tulosteen vaikeimmat kohdat ovat ohuet seinät, ohuet pilarit, pienet reiät, siltojen yksityiskohdat, tekstiit, pienet yksityiskohdat, piikit ja alapuolella olevat kaaret.



Kuvio 27 Maker's Musen suunnittelema testituloste (Maker's Muse 2017)

#### 4.1 Ensimmäinen tuloste

Ensimmäinen tulostettu kappale oli suorakulmion muotoinen levy. Tulostettava malli oli 3D-tulostimen mukana tulleeella muistikortilla. Noin viiden kerroksen jälkeen tulostus päätettiin keskeyttää, sillä tulosteen yksi nurkka oli lähtenyt irtoamaan tulostusalustasta.

Tulostusalusta ei ollut vaakatasossa ja tulostinkärki ei ollut tarpeeksi lähellä alustaa. Kuviosta 28 voi nähdä, kuinka tulosteen ensimmäinen kerros ei ollut painautunut alustaa vasten. Alusta säädettiin vaakatasoon ja tulostuskärkeä siirrettiin lähemmän alustaa.



Kuvio 28. Ensimmäisen tulosteen pohja

#### 4.2 3DBenchy testituloste

Alustan säädön jälkeen tulostumaan laitettiin ensimmäinen arvioinnissa käytettävä testituloste 3DBenchy (Kuvio 29).

Tulostuksessa käytetyt asetukset näkyvät alla.

- Tulostuslämpötila 220 °C
- tulostusalustan lämpötila 60 °C
- täyttöaste 20 prosenttia
- kerrospaksuus 0,2 mm
- tulostusnopeus 30 mm/s
- täytön tulostusnopeus 70 mm/s
- ei tukirakenteita.

Näillä asetuksilla tulostuksessa kesti noin 90 minuuttia ja laadultaan se oli tyydyttävä. Tuloste onnistui ilman suurempia virheitä, mutta asetukset eivät osuneet aivan kohdalleen. Tulostuskärki oli hieman liian lähellä tulostuspetiä ja siitä johtuen pohjassa oleva teksti ei ole kovin tarkka. 3DBenchyn perässä oleva pieni

reikä onnistui hyvin, mutta sen yläpuolella oleva teksti on täysin lukukelvoton. Tekstin epäonnistuminen johtui todennäköisesti liian korkeasta tulostuslämpötilasta ja 0,2 mm kerroskorkeudesta. Liian suuri lämpötila aiheutti ongelmia koko tulosteeseen, sillä kaikki kerrokset ovat erittäin selvästi näkyvissä ja niissä on pieniä virheitä ympäri tulostetta. Suuressa kulmassa tulostetut pinnat onnistuivat erittäin hyvin ja missään kohdassa tulostetta ei ole havaittavissa suurta materiaalin roikkumista. Sillat eli niin sanotut tyhjän päälle tulostukset onnistuivat hyvin. Neliön muotoisen ikkunan ylälaidassa on havaittavissa erittäin vähäistä roikkumista. Yleisesti tuloste onnistui, mutta pienimmät yksityiskohdat eivät ole tarkkoja. Ensimmäisestä testitulosteesta on lisää kuvia liitteessä 3.



Kuvio 29. 3DBenchy tuloste

#### 4.3 Maker's Musen testituloste

Toisena arvioitavana tulosteena käytettiin Maker's Musen testitulostetta (Kuvio 30).

Tulostuksessa käytetyt asetukset näkyvät alla.

- Tulostuslämpötila 195 °C
- tulostusalustan lämpötila 55 °C
- täyttöaste 20 prosenttia
- kerrospaksuus 0,2 mm

- tulostusnopeus 30 mm/s
- täytön tulostusnopeus 70 mm/s
- tukirakenteet käytössä.

Näillä asetuksilla tulostus kesti noin 120 minuuttia ja laadultaan se oli hyvä. Lämpötilan laskeminen 195 asteeseen paransi pintojen tasaisuutta ja pienien yksityiskohtien tarkkuutta. Kaarevat pinnat ja suuressa kulmassa olevat pinnat tulostuivat hieman paremmin kuin 3DBenchyssä. Ohuet seinät ja pienet reiät onnistuivat todella hyvin. Tulostuskärki oli vieläkin hieman liian lähellä tulostusalustaa, siksi pienin reikä ei onnistunut aivan pohjasta asti. Ensimmäinen kerros levisi hieman ja tukki sen. Kyljessä olevat teksti on lukukelpoinen, mutta tukirakenteiden poisto jätti kirjaimiin selviä virheitä. Tulosteen päällä oleva ohuet pilarit tulostuivat kyllä pystyyn, mutta niiden yläosa tulostui jostain syystä paksumpana kuin alaosaa. Ohuin pilari oli erittäin heikosti kiinni ja se katkesikin tulostetta käsitellessä. Tulosteessa olevan kartion pintaan tuli erittäin näkyviä saumoja. Nämä saumat johtuvat todennäköisesti x- ja y-akselin hihnojen löysyydestä. Kartion kärki on hieman sulanut, koska kerrokset eivät ole ehtineet jäähtyä tarpeeksi ennen seuraavan kerroksen tulostumista. Lisää kuvia tästä tulosteesta on liitteessä 3.



Kuvio 30. Maker's Musen suunnittelema testituloste

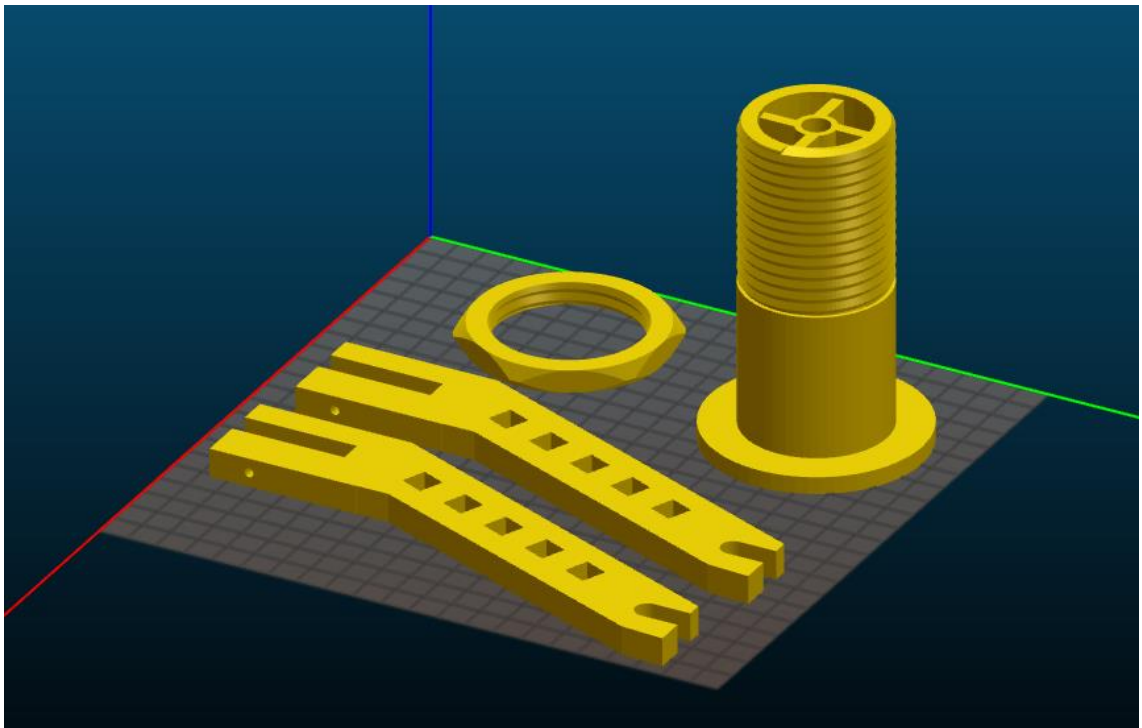
## 5 PÄIVITYKSET

Tulosteiden laatua ja tulostimen käytettävyyttä on mahdollista parantaa erilaisilla tulostetuilla ja ostetuilla osilla. Ensimmäiset testitulosteet osoittivat, tulosteiden laadun olevan hyvää, vaikka tulostimeen ei oltu asennettu laatuun vaikuttavia päivityksiä. Ainoat päivitykset jotka asennettiin ennen testitulosteita, olivat turvallisuutta ja luotettavuutta parantavia.

Anet A8 -tulostimeen voi löytää paljon muiden käyttäjien suunnittelemaa päivitettyä ja paranneltuja osia. Kaikki tulostetut päivitykset ovat ladattu Thingiverse nettisivulta, jonne kuka tahansa voi ladata omia 3D-malleja kaikkien saataville.

### 5.1 Materiaalieteline

Ensimmäinen 3D-tulostettu päivitys laitteeseen oli tulostimen rungon päälle kiinnitettävä materiaalieteline (Madjestik58 2016). Tulostimen mukana tullut materiaalieteline oli huonosti suunniteltua ja siitä johtuen materiaali ei päässyt vapaasti ulos rullasta. Uuteen telineeseen kuului kaksi tulostimen runkoon kiinnitettävää jalkaa ja niiden väliin tulevat suuret pultti ja mutteri (Kuvio 31). Nämä osat tulostettiin samoilla asetuksilla kuin Maker's Musen testituloste.



Kuvio 31. Madjestik58:n suunnittelema materiaalieteline

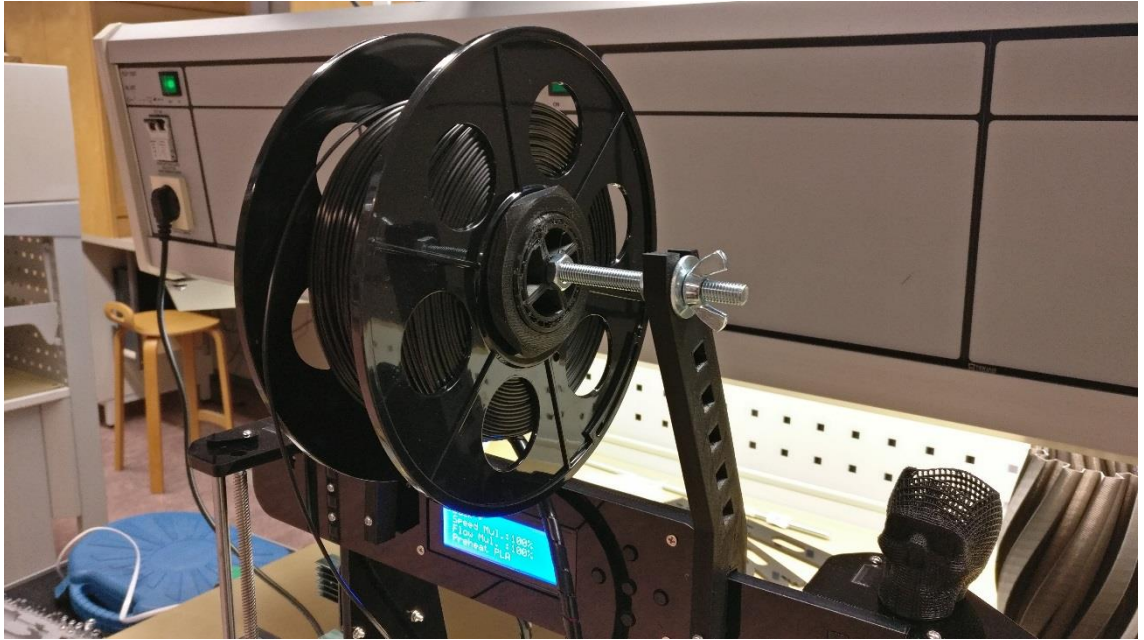
Kaikki osat tulostettiin erikseen. Kaikki muut osat paitsi pultti tulostuivat ongelmitta. Pulttia tulostaessa tulostuskärjen ja kuumenevan vastuksen välistä oli päässyt vuotamaan sulaa materiaalia (Kuvio 32). Tulostuksen pituudesta johtuen sula materiaali oli päässyt valumaan tulostuskärjen ulkopuolelta tulosteen päälle luoden siihen pienen ulokkeen, johon tulostuskärki oli osunut. Osuma oli irrottanut tulosteen alustasta ja se oli päässyt tippumaan ulos tulostimesta. Pultti oli kuitenkin tässä vaiheessa tarpeeksi pitkä, joten sitä pystyttiin käyttämään.



Kuvio 32. Materiaalivuoto

Teline asetettiin tulostimen päälle ja jalat kiristettiin ruuveilla kiinni runkoon. Pultti asetettiin materiaalirullan sisään ja se kiristettiin paikoilleen mutterilla. Uuteen telineeseen täytyi ostaa kierretankoa, sillä alkuperäisessä materiaalitelineessä oleva tanko oli liian lyhyt. Kierretanko työnnettiin pulstin läpi ja kiristettiin jalkoihin siipimuttereilla (Kuvio 33).





Kuvio 33. Materiaalilaine kiinnitettynä 3D-tulostimeen

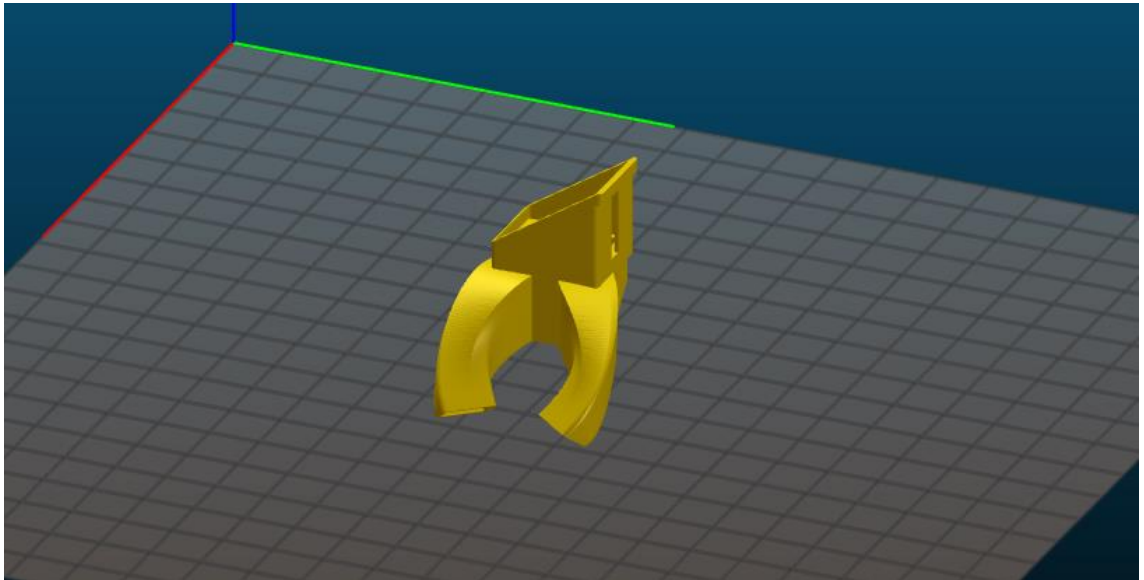
## 5.2 Tuuletussuutin Mistral 2.1

Toinen tulostimeen lisätty päivitys oli uusi suutin tuulettimelle, joka jäähdyttää tulostuskärjestä tulevan materiaalin. Tulostimen mukana tullut suutin puhalttaa tulosteeseen vain yhdeltä puolelta. Se voi aiheuttaa materiaalin epätasaista jäähtymistä ja samalla heikentää tulosteen laatua. Alkuperäisen suuttimen kärki oli erittäin ohut ja siitä kulkeva ilmavirta aiheutti korkean vihellyksen (Kuvio 34).



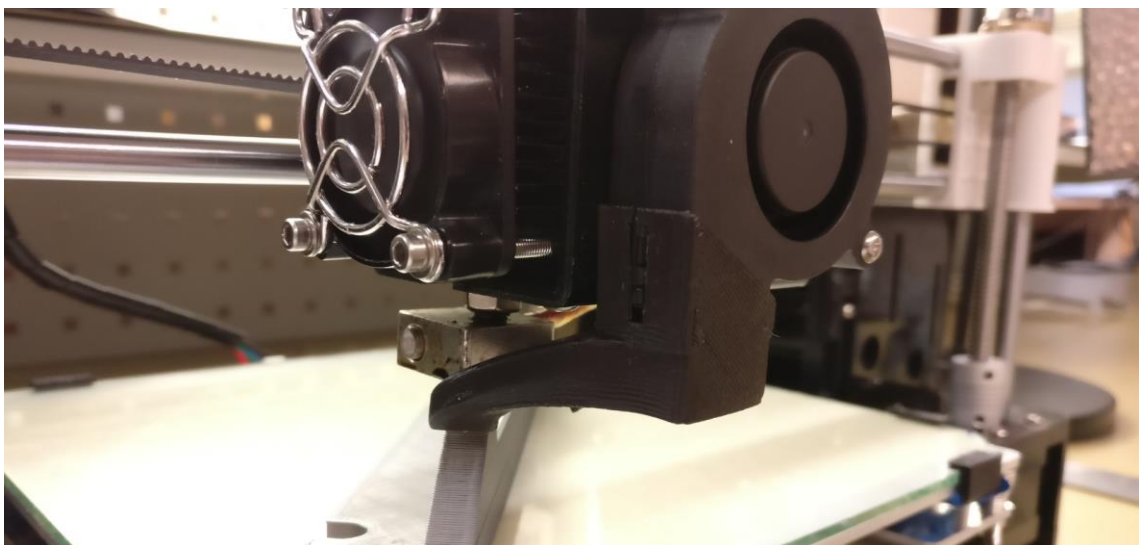
Kuvio 34. Tulostimen mukana tullut tuulettimen suutin

Uudeksi suuttimeksi tulostettiin Mistral 2.1 –suutin (Kuvio 35) (Leo\_N 2017). Uusi suutin tulostettiin 0,1 mm kerroskorkeudella. Tässä suuttimessa ilmanvirta puhalttaa tulosteeseen kahdelta suunnalta ja kärjen aukot ovat suuremmat. Tuulettimen ääni pieneeni huomattavasti, eikä korkeaa vihellystä enää kuulunut.



Kuvio 35. Mistral 2.1 –suutin

Toisin kuin alkuperäinen suutin Mistral 2.1 kiinnitettiin tuulettimen ulkopuolelle. Tästä johtuen suutinta asentaessa tuuletinta jouduttiin käyttämään irti. Kun tuuletin oli irti, uusi suutin asetettiin siihen kiinni (Kuvio 36). Tulostimen toleransseista johtuen uusi suutin ei aluksi mahtunut paikoilleen. Suutinta hiomalla se kuitenkin saatiin mahtumaan.

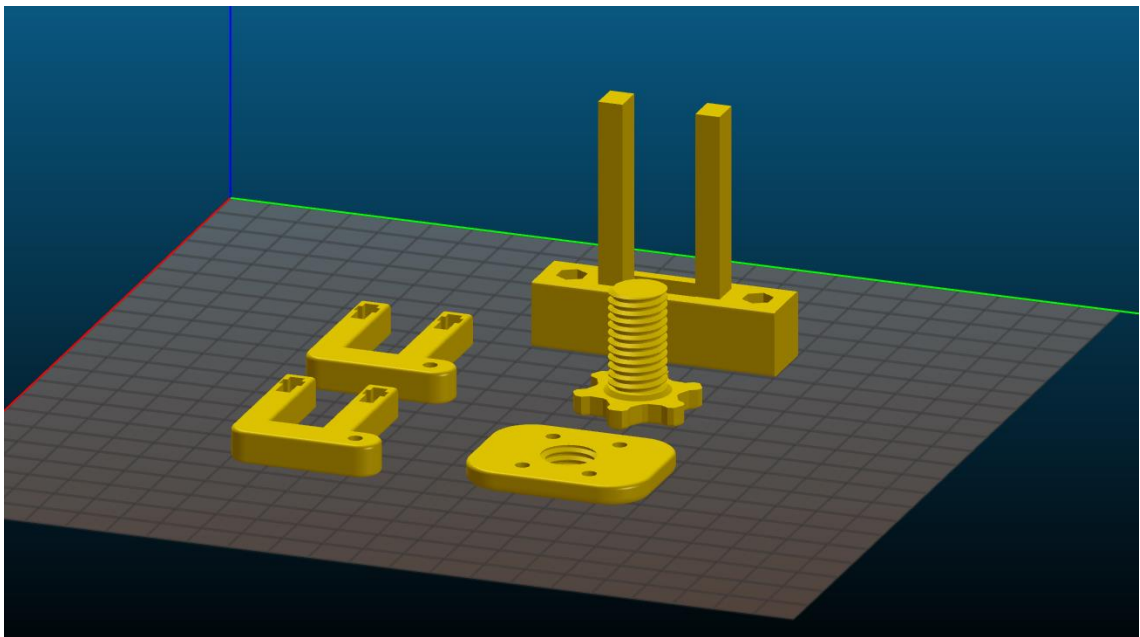


Kuvio 36. Mistral 2.1 –suutin paikoilleen kiinnitettynä

### 5.3 Uudet hinnat ja hihnojen kiristimet

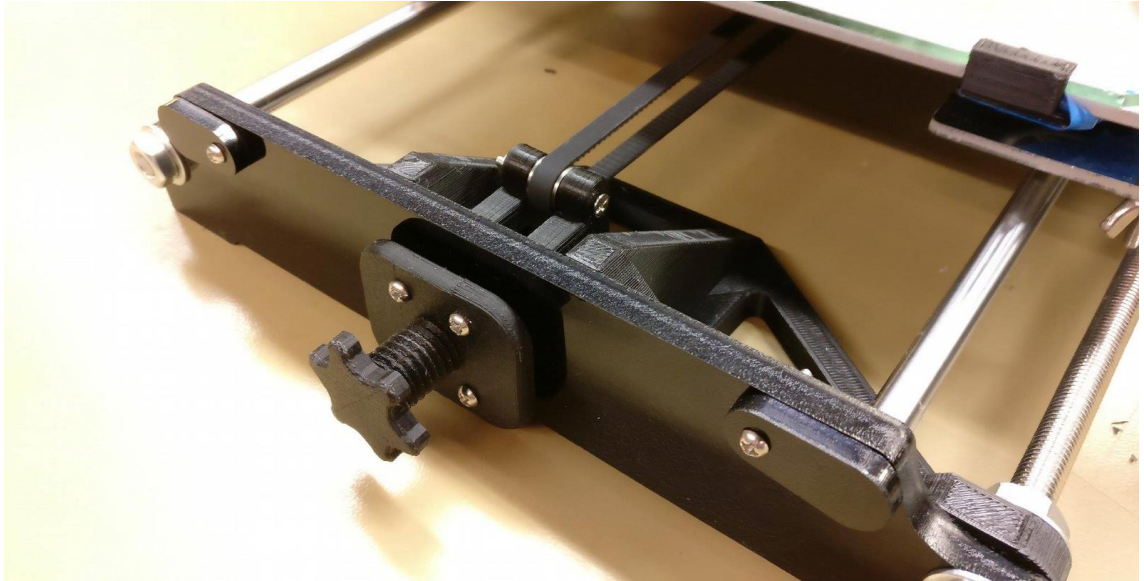
Rakennussarjan mukana tulevat hinnat ovat metallivahvisteiset kumihinnat ja ne ajavat asiansa hyvin, jos niitä ei kiristä liian kireälle. Tulosteiden laadun kannalta on kuitenkin erittäin tärkeää, että hinnat ovat kireällä eikä akseleiden liikkeessä ole lainkaan vällystä. Tästä syystä tulostimelle tulostettiin x- ja y-ahnojen kiristimet. Samalla alkuperäiset hinnat vaihdettiin lasikuituvahvisteisiksi kumihhinnoiksi. Uudet hinnat kestävät paremmin kiristystä ja eivät veny pitkälläkään aikavälillä.

Kuviossa 37 näkyy kaikki kiristimien osat. Etualalla olevat neljä osaa ovat y-akselin kiristimelle (Photograaf16 2016). Ne kasattiin tulostimen mukana tulleilla pulteilla ja muttereilla. Etummaisena olevaa levyä jouduttiin skaalaamaan kaksi prosenttia suuremmaksi, jotta tulostettu pultti sopi kierteille. Taimmaisena näkyy x-akselin kiristin, jonka pysyi tulostamaan yhtenä kappaleena (MaxiKevey 2017). Osat joissa on kierteet, tulostettiin 0,1 mm kerroskorkeudella. Muut osat tulostettiin 0,2 mm kerroskorkeudella.



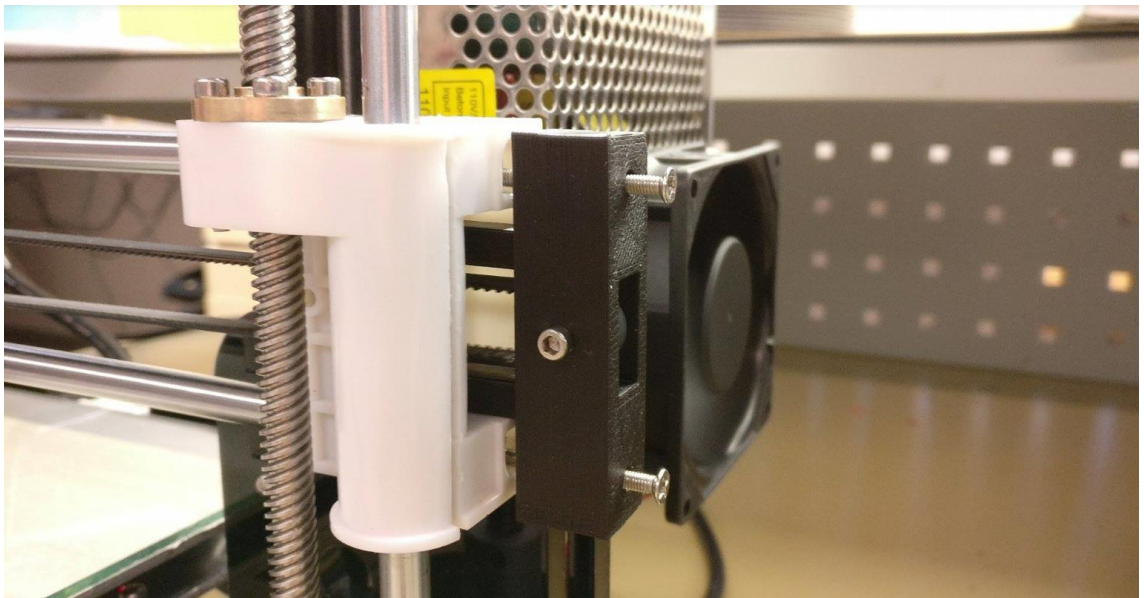
Kuvio 37. X-ahnan ja y-ahnan kiristimet

Y-akselin kiristin asennettiin alkuperäisen hihnapyörän kiinnikkeen paikalle (Kuvio 38). Kiristimessä oleva pultti työntää tulostimen rungosta ja vetää hihnapyörää samalla kiristäen y-akselin hihnaa. Rungossa oleviin reikiin laitettavia osia jouduttiin hiomaan vähän pienemmiksi, jotta ne liikkuvat sulavasti pulttia kiristäessä.



Kuvio 38. Y-akselin kiristin paikoilleen asennettuna

X-akselin kiristin asennettiin oikeanpuoleiseen x-akselin kannakkeeseen (Kuvio 39). Alkuperäinen hihnapyörä irrotettiin kannakkeen sisältä ja kiinnitettiin tulostettuun kiristinosaan. Kiristimeen ylä- ja alalaitaan kiinnitettiin pultti ja mutteri, joilla x-akselin hihna voidaan säätää sopivalle kireydelle.

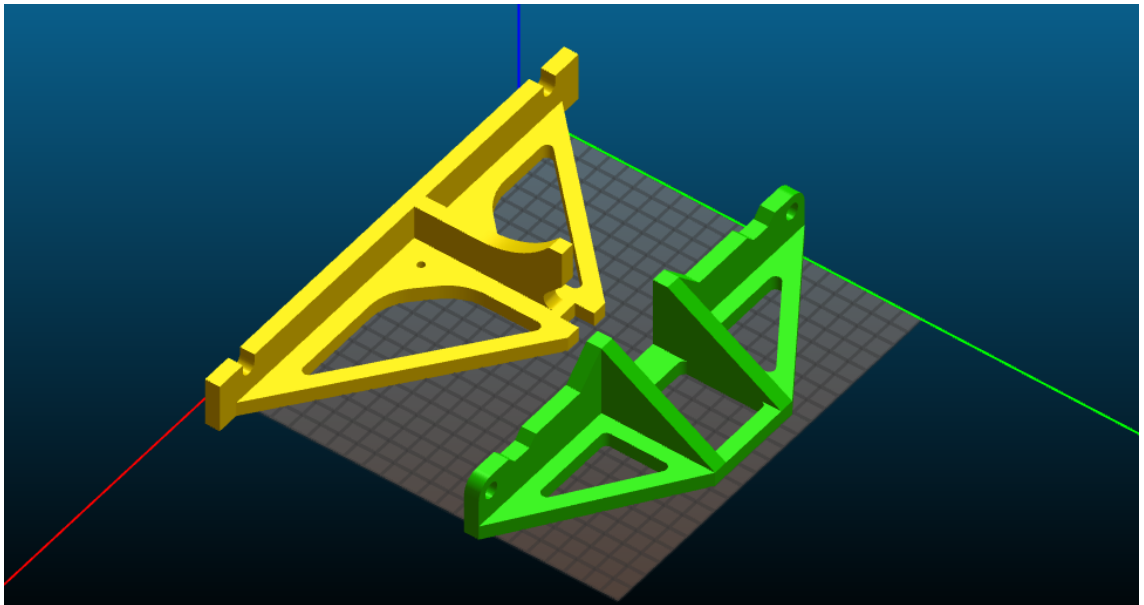


Kuvio 39. X-akselin kiristin paikoilleen asennettuna

#### 5.4 Rungon tuet

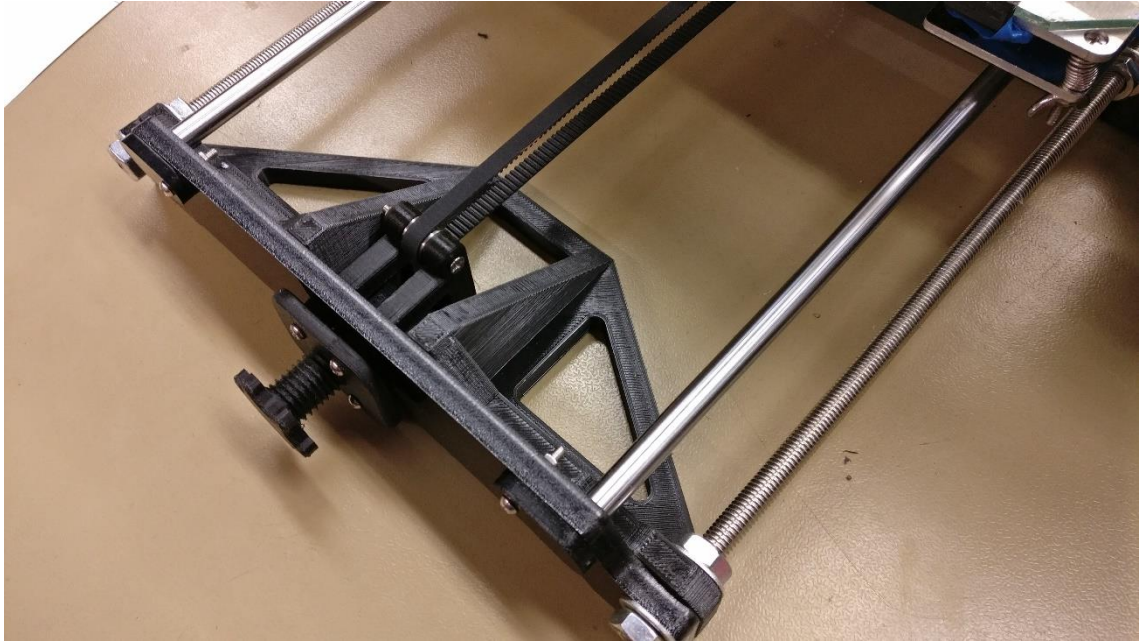
Hihnojen kiristimet toimivat moitteetta, mutta y-akselin hihnaa kiristäessä rungon akryylisten osat alkoivat taipua. Kyseinen ongelma ratkaistiin tulostamalla rungon

etu- ja takalaitaan tuet (Kuvio 40). Samalla rungon kahteen liitoskohtaa tulostettiin tuet, jotka vähentävät liitosten liikkumista sivuttaissuunnassa (Electrico, 2016). Kuvassa vasemmalla oleva osa on takalaidan tuki (Leo\_N 2016b). Se tulostettiin harmaalla PLA-materiaalilla ja 0,3 mm kerroskorkeudella. Etulaidan tuki tulostettiin mustalla materiaalilla ja 0,3 mm kerroskorkeudella (Leo\_N 2016a). Molemmat osat tulostettiin erikseen, sillä ne eivät sopineet tulostusalustalle yhtä aikaa.



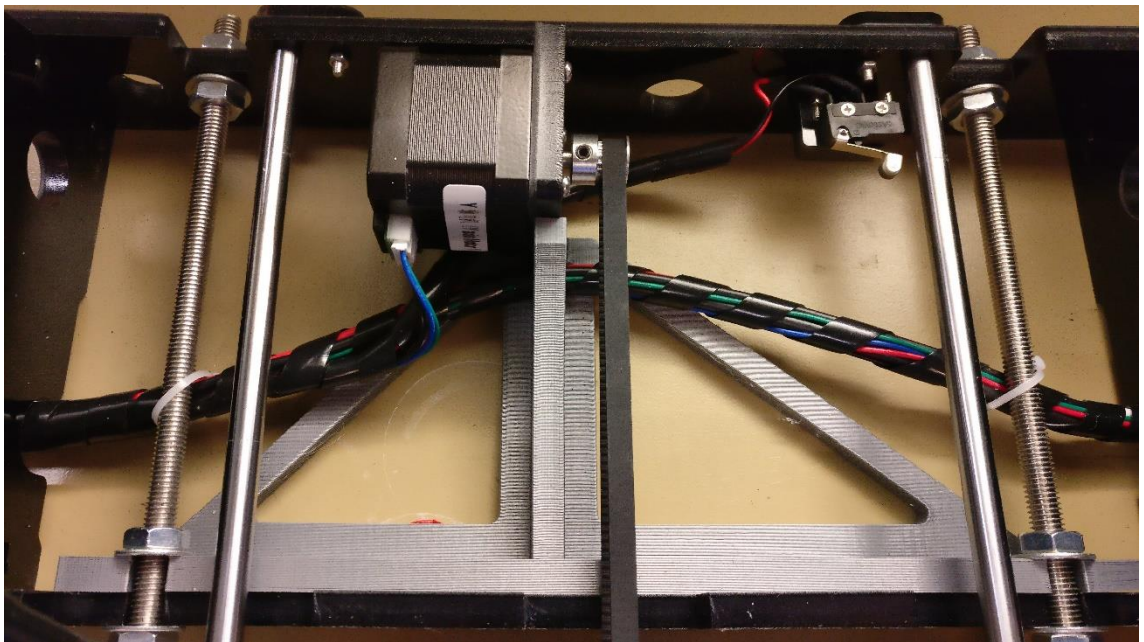
Kuvio 40. Etu- ja takatuki tulostimen rungolle

Etutuki asennettiin alkuperäisen akryylirungon taakse (Kuvio 41). Akryylipala irrotettiin ja tulostettu tuki liu'utettiin kierretankojen päälle. Akryylipala asetettiin tulostetun tuen eteen ja mutterit kiristettiin paikoilleen.



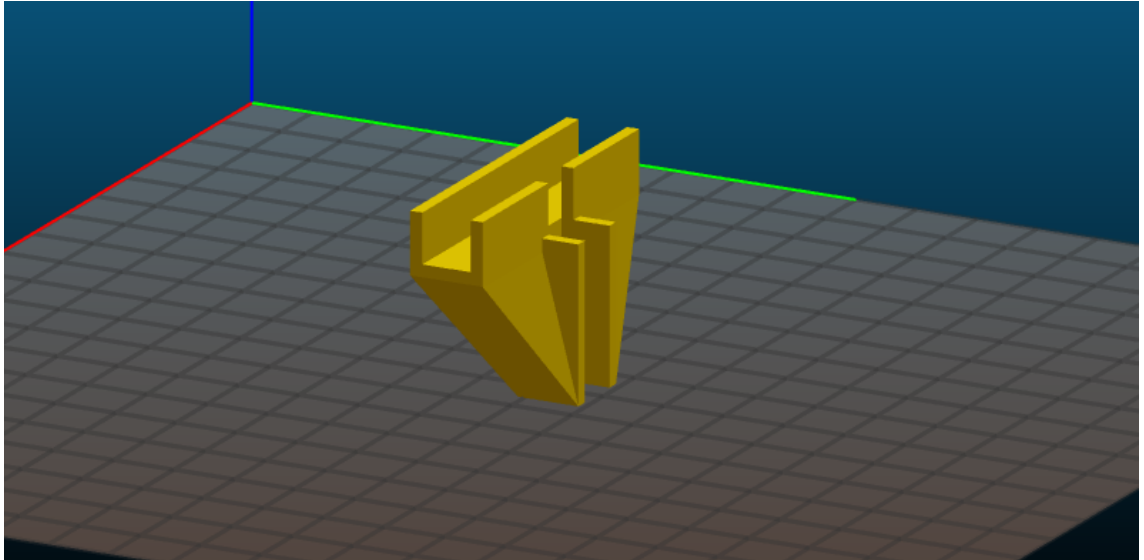
Kuvio 41. Rungon etutuki asennettuna paikoilleen

Takatuen asennus oli monimutkaisempi, sillä kierretangot täytyi irrottaa rungon keskiosasta ja koko tulostinta jouduttiin nostamaa. Tulostin laskettiin takatuen päälle ja samalla johdot aseteltiin niille tarkoitettuun uraan. Vaikka takatuki tuli kiinni rungon keskelle, tukee se rungon taimmaista akryylipalaa. Tuki estää taikimmaisena akryyli osan taipumisen tukemalla sitä moottorin kiinnikkeestä (Kuvio 42).



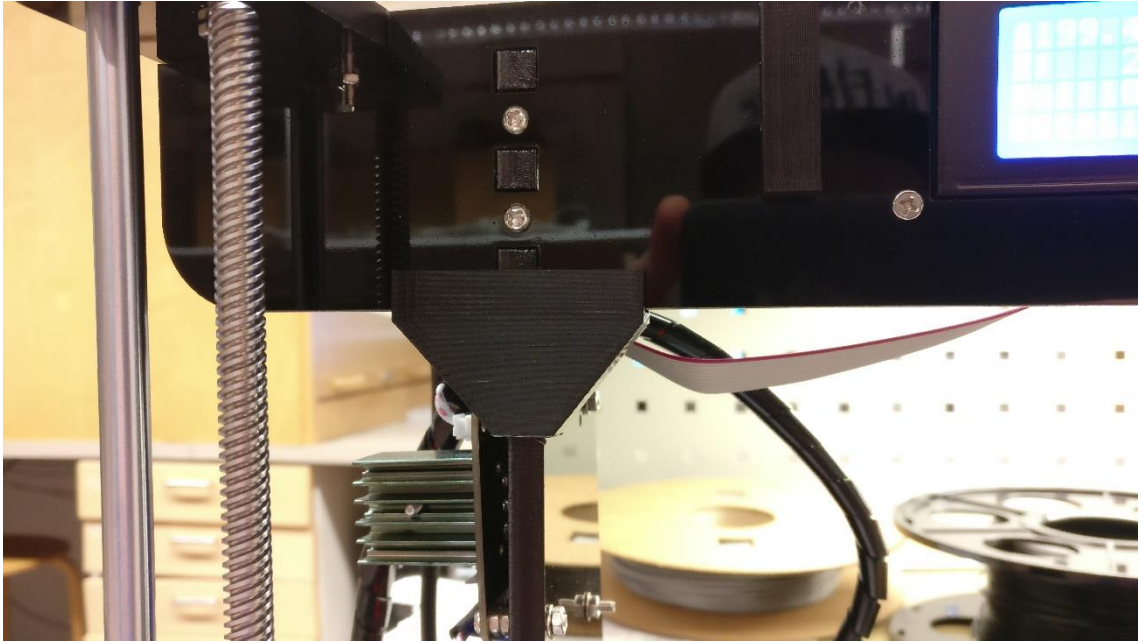
Kuvio 42. Rungon takatuki paikalleen asennettuna

Tulostimen rungon ylimmät liitokset eivät ole kovin tukevat ja siitä johtuen tulostimen tehdessä nopeaa sivuttaisliikettä voi runko päästä joustamaan. Näin voi tapahtua erityisesti korkeita tulosteita tehdessä. Rungon liitoskohtiin tulostettiin tukipalat, jotta liitokset eivät pääsisi joustamaan (Kuvio 43).



Kuvio 43. Liitoskohdan sivuttaistuki

Tuet asetettiin rungon liitoskohtiin painamalla ne aluksi pystyssä olevaan akryyli-palaan ja sen jälkeen liu'uttamalla niitä ylöspäin, kunnes ne olivat tukevasti paikoillaan. Rungon vasemmalla laidalla oleva ylempi MOSFET-transistori esti tukipalaa liukumasta paikoilleen. Sitä siirrettiin hieman kauemmas rungosta ja tukipala saatiin oikealle paikalle (Kuvio 44).



Kuvio 44. Tukipala paikoilleen asennettuna

### 5.5 IGUS-muovilaakerit

Tulostimen alkuperäiset liukulaakerit päivitettiin IGUS-muovilaakereihin (Kuvio 45). Alkuperäiset laakerit olivat alusta alkaen erittäin äänekkäät ja hieman väljät. Tulostimen työskennellessä laakereista kuului rahisevaa ääntä ja ne eivät liukuneet sulavasti pyörötankojen ympärillä. Muovilaakereissa ei ole kuulia jotka liikkuvat laakerin sisällä, koska sen materiaali on tarpeeksi liukasta toimiakseen ilman kuulia.



Kuvio 45. IGUS-muovilaakeri ja alkuperäinen kuulaliukulaakeri

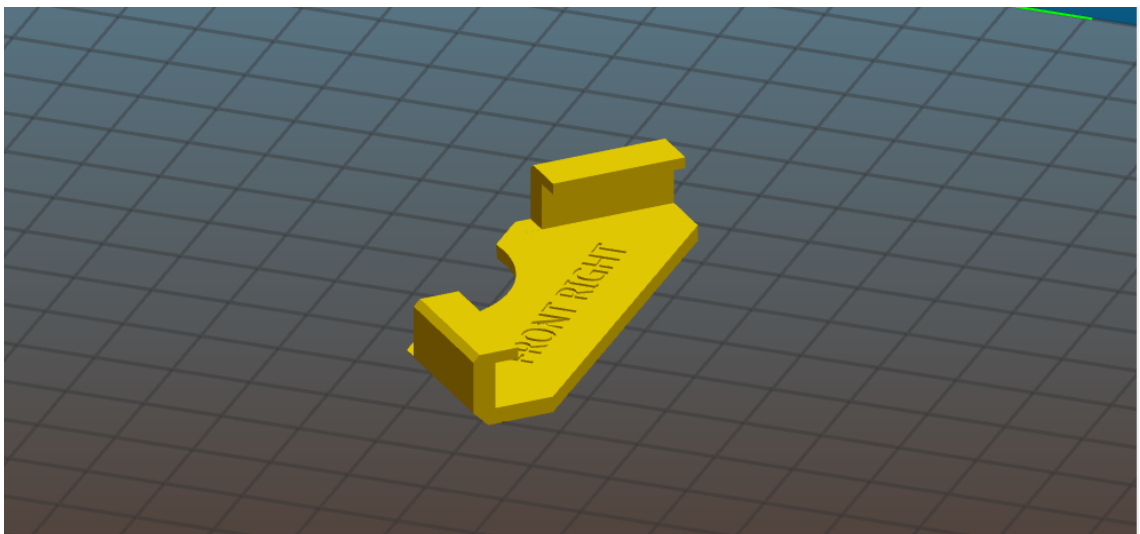


Uudet laakerit vaihdettiin x- ja y-akseleille. Z-akselin laakereita ei vaihdettu, koska z-akseli liikkuu hitaasti ja siksi laakereiden liikkeestä ei synny juurikaan ääntä. Laakereiden asennusta varten x-akselin kaikki komponentit jouduttiin irrottamaan. Myös z-akselin kierretangot ja pyörötangot irrotettiin asennuksen helpottamiseksi. Tulostusalusta ja y-akselin pyörötangot irrotettiin, jotta y-akselin uudet laakerit voitiin asentaa. Laakeritelineestä irrotettiin lukkoprikka ja vanha laakeri vedettiin ulos. Uusi laakeri työnnettiin paikoilleen ja lukkoprikka painettiin takaisin paikoilleen. X-, y- ja z-akselit kasattiin takaisin paikoilleen. Laakereiden vaihdon jälkeen tulostimen tuottama ääni laski selvästi eikä alkuperäisistä laakereista lähtevää rahisevaa ääntä enää kuulunut.

## 5.6 Lasinen tulostusalusta

Tulostimen alkuperäinen tulostusalusta oli alumiininen. Alumiinisen alustan päälle laitettiin maalarinteippiä, jotta tulosteet tarttuvat alustaan. Alkuperäinen alusta oli kuitenkin vääntynyt ja sen keskikohta oli ylempänä kuin laidat. Isommat tulosteet alkoivat irrota tulostusalustan laidoilta, sillä ensimmäinen kerros ei ollut tarttunut alustan laidoille.

Tulostusalustan päälle hankittiin alustan kokoinen lasi, joka kiinnitettiin kahdesta kulmasta alkuperäiseen alustaan. Lasi kiinnitettiin tulostetuilla kulmapaloilla, jotka puristavat lasin alkuperäistä alustaa vasten (Kuvio 46; Kuvio 47) (Xerses 2017).



Kuvio 46. Lasialustan kiinnityspala

Lasialustan asentaminen korjasi ongelma, jonka alkuperäisen alustan kaarevuus aiheutti. Nyt tulostimen koko tulostusalustaa pystyttiin hyödyntämään. Lasialustan huono puoli on tulosteiden heikko tarttuminen alustaan. Alkuperäiseen alumiinisen alustan päällä olevaan teippiin tulosteet tarttuivat hyvin, mutta lasin täytyy olla erittäin puhdas, jotta tulosteet tarttuvat siihen. Tulosteiden tarttumisen avuksi käytettiin CubeStick-liimaa. CubeStick-liima on tarkoitettu 3D-tulostimille, joissa on lasinen tulostusalusta. Liimalla tulosteet pysyivät kiinni erittäin hyvin.



Kuvio 47. Lasialusta asennettuna paikoilleen

## 6 TESTITULOSTEET PÄIVITYKSIEN JÄLKEEN

Kaikkien päivityksien jälkeen tulosteiden laatua testattiin samoilla tulosteilla kuin ennen päivityksien asentamista. Samoja testitulosteita käyttäessä päivityksien vaikutuksia on helpompi arvioida. Ensimmäisenä testinä käytettiin jälleen 3DBenchynä (Kuvio 48). Tulostuksessa käytetyt asetukset olivat lähes samoja kuin ensimmäisissä testeissä. Joitain muutoksia kuitenkin tehtiin.

Tulostuksessa käytetyt asetukset näkyvät alla.

- Tulostuslämpötila 200 °C
- tulostusalustan lämpötila 55 °C
- täyttöaste 20 prosenttia
- kerrospaksuus 0,2 mm
- tulostusnopeus 40 mm/s
- täytön tulostusnopeus 60 mm/s
- ei tukirakenteita.

### 6.1 3DBenchyn arviointi

Näillä asetuksilla tulostuksessa kesti noin 100 minuuttia ja laadultaan tuloste oli hyvä. Ensimmäiseen tulosteeseen verrattuna kerrokset eivät erotu niin selvästi ja niissä ei näy selviä virheitä. Tulosteen pohja on lasialustan ansioista kiiltävä ja tasainen. Myös pohjassa oleva teksti on helposti luettavissa. 3DBenchyn takalaidassa oleva pieni reikä tulostui hyvin, mutta sen yläpuolella oleva teksti on edelleen lukukelvoton. Tekstistä voisi saada luettavan laskemalla kerroskorkeuden 0,2 millimetristä 0,1 millimetriin. Suuressa kulmassa tulostetut kohdat onnistuivat hyvin, eikä materiaali roiku niiden alapinnoilla.

3DBenchyn keulassa olevat reiät ovat tarkat eikä niiden sivulla näy samanlaista epätasaisuutta kuin ensimmäisessä testitulosteessa. Hytin ovien ja ikkunoiden alapinnoissa on havaittavissa erittäin vähäistä materiaalin roikkumista. Mallin

päällä oleva savupiippu onnistui hieman huonommin, sillä materiaali ei ehtinyt jäähtyä tarpeeksi kerrosten välissä. Ympäri tulostetta on jäänyt pieniä materiaalihaituvia. Nämä ovat jääneet, kun tulostuskärki on siirtynyt paikasta toiseen ilman että se on tulostanut liikkeen aikana. Haituvat ovat kuitenkin niin hentoja, että ne on helppo puhdistaa tulosteesta ja eivät siksi vaikuta lopputulokseen. Kaiken kaikkiaan tulosteen pinnan laatu on parantunut päivityksien ja asetusten säätämisen jälkeen. Pienimmät yksityiskohdat ovat vieläkin hieman epätarkkoja, mutta kokonaisuutena laatu on parantunut.



Kuvio 48. Päivityksien jälkeinen testituloste 3DBency

## 6.2 Maker's Musen testituloste ja sen arviointi

Toisena testitulosteena käytettiin jälleen Maker's Musen suunnittelemaa 3D-mallia (Kuvio 49).

Tulostuksessa käytetyt asetukset näkyvät alla.

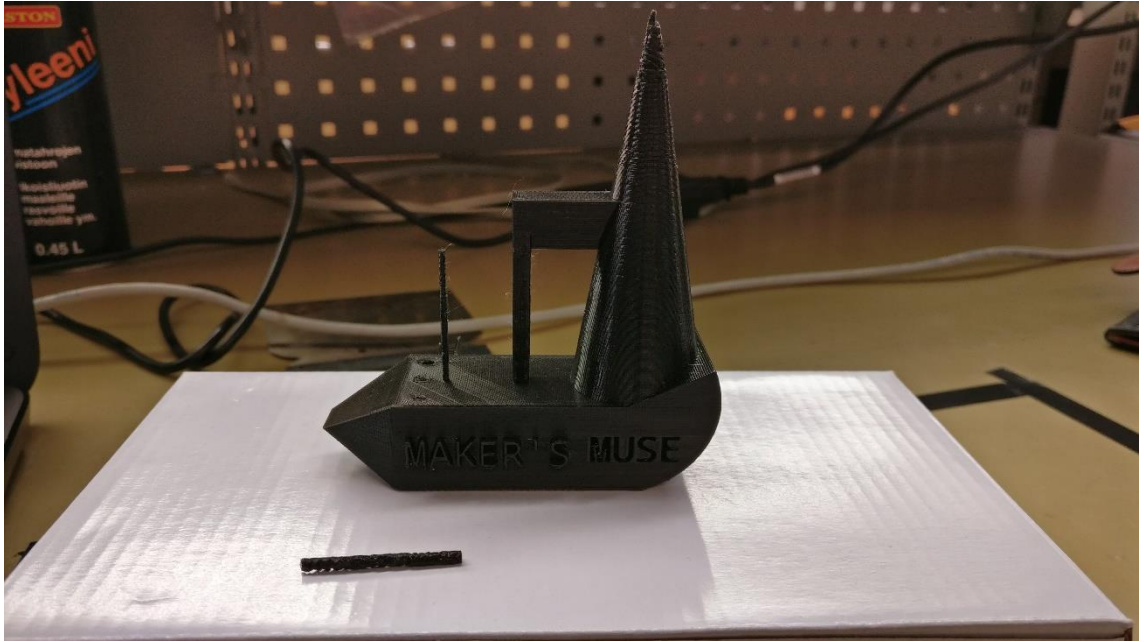
- Tulostuslämpötila 200 °C
- tulostusalustan lämpötila 55 °C
- täyttöaste 20 prosenttia
- kerrospaksuus 0,2 mm

- tulostusnopeus 40 mm/s
- täytön tulostusnopeus 60 mm/s
- tukirakenteet käytössä.

Näillä asetuksilla tulostuksessa kesti noin 180 minuuttia ja tulosteen laatu on hyvä. Tulosteen pohja on tasainen eikä materiaali ole levinnyt niin kuin ennen päivityksiä tulostetussa testissä. Suuressa kulmassa tulostetut kohdat onnistuivat todella hyvin ja niiden pinta on huomattavasti tasaisempi kuin ensimmäisessä testissä. Tulosteen kyljessä oleva teksti on selkeä ja kirjaimien rajat ovat tarkemmat ensimmäiseen testiin verrattuna. Kaikki tulosteessa olevat reiät onnistuivat ja pieninkin reikä on läpi asti auki.

Tulosteessa olevien ohuiden seinien ja pylväiden kanssa oli ongelmia, sillä ohuin seinä ei tulostunut ollenkaan, vaikka se näkyi slicer-ohjelmassa. Muut seinät onnistuivat hyvin. Kaikki pylväät tulostuivat, mutta ohuin niistä irtosi aivan tulosteen lopussa. Myös paksuin pylväs katkesi tulostetta siistiessä. Kaikissa pylväissä oli myös erikoinen kierre, vaikka niiden piti olla täysin pyöreitä. Tulosteen kartion muotoinen osa onnistui erittäin hyvin aivan kärkeä lukuun ottamatta. Kärki alkoi sulaa, sillä kerroksilla ei ollut tarpeeksi aikaa jäähtyä.

Tulostettavat sillat onnistuivat erittäin hyvin, eikä materiaalin roikkumista ole juurikaan havaittavissa. Materiaalihaituvia on tässäkin tulosteessa ja ne olivatkin osaksi syynä, miksi ohuin pylväs katkesi tulosteen aikana ja paksuin pylväs tulostetta siistiessä. Lisää kuvia tästä testitulosteesta liitteessä 3.



Kuvio 49. Päivityksien jälkeinen testituloste, Maker's Muse

## 7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, mitä rakennussarjana toimitettavan 3D-tulostimen käyttöönotto vaatii. Sen lisäksi selvitettiin, millaisilla päivityksillä 3D-tulostinta voitaisiin parantaa.

Tässä työssä käytettävän 3D-tulostimen kasaaminen oli aikaa vievä prosessi ja ilman hyviä ohjevideoita se olisi ollut haastavaa. Ohjevideoiden ansiosta kasaaminen oli kuitenkin yksinkertainen. Tulostimen pystyy kasaamaan ilman aikaisempaa teknistä kokemusta, mutta ohjeiden seuraaminen vaatii tarkkuutta ja kärsivällisyyttä. Vaikka ohjevideossa oli muutamia virheitä, eivät ne haitanneet tulostimen kasaamista merkittävästi. Tulostimen kasaaminen itse auttaa huomattavasti, mikäli tulostinta käyttäessä ilmenee jokin ongelma, sillä tulostimen kasaaminen on antanut peruskäsityksen sen toiminnasta.

Tulosteiden laatu oli jo ennen päivityksiä hyvää, mutta muutamalla yksinkertaisella päivityksellä laadusta saatiin vieläkin parempaa. Laitteeseen tehdyt päivitykset vaikuttivat tulosteiden laatuun positiivisesti ja ne poistivat tulosteista selkeitä ongelmia. Osa päivityksistä vaati tulostimen mittavaa purkamista. Se ei aiheuttanut ongelmia, koska tulostimen oli itse kasannut.

## LÄHTEET

3D HUBS 2017. What is 3D Printing? Viitattu 28.4.2017 <https://www.3dhubs.com/what-is-3d-printing>.

3D Printing Industry 2017. The Free Beginner's Guide. Viitattu 23.2.2017 <http://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide/>.

CreativeTools 2015. 3DBenchy – The jolly 3D printing torture-test. Viitattu 20.3.2017 <http://www.thingiverse.com/thing:763622>.

David, D. 2016a. 3D Printer Instruction--The Newest Anet 3D Printer A8 Assembly Video 1. Viitattu 22.2.2017 <https://www.youtube.com/watch?v=-tiHfzBQZpl>.

David, D. 2016b. 3D Printer Instruction--The Newest Anet 3D Printer A8 Assembly Video 2. Viitattu 22.2.2017 <https://www.youtube.com/watch?v=EbNocv6-OOQ>.

Electrico 2016. Anet A8 T corner. Viitattu 21.4.2017 <http://www.thingiverse.com/thing:1672959>.

Grano 3D Oy 2016. Tietoa eri tulostustekniikoista ja termeistä. Viitattu 23.2.2017 <http://www.rpcase.fi/Sovellukset/Tietoa-eri-teknikoista>.

Leo\_N. 2016a. Anet A8 Front Frame Brace. Viitattu 23.3.2017 <http://www.thingiverse.com/thing:1857991>.

Leo\_N. 2016b. Anet A8 Back Frame Brace. Viitattu 23.3.2017 <http://www.thingiverse.com/thing:1852358/#files>.

Leo\_N. 2017. "Mistral 2.1" Extruder Cooling Duct for the Anet A8 Printer. Viitattu 26.3.2017 <http://www.thingiverse.com/thing:2121279/#files>.

Madjestik58. 2016. SpoolHolder ANET A8. Viitattu 16.3.2017 <http://www.thingiverse.com/thing:1624641>.

Maker's Muse. 2016. Maker's Muse Ultimate Torture Test. Viitattu 23.3.2017 <https://gumroad.com/l/rXfy#>.

MaxiKevey. 2017. Anet A8 X-belt Tensioner Remix. 27.3.2017 <http://www.thingiverse.com/thing:2203630>.

Photograaf16. 2017. Anet A6/A8 upgrade: Y-Belt tensioner. Viitattu 11.4.2017 <http://www.thingiverse.com/thing:1959208>.

PinshapeBlog 2015. 3D Slicer Settings for Beginners – 8 Things You Need to Know. Viitattu 25.4.2017 <https://pinshape.com/blog/3d-slicer-settings-5-things-you-need-to-know-about-3d-printing-software/>.

Printeraction 2017. 3D Printing Basics. Viitattu 4.4.2017 <http://www.instructables.com/id/3D-Printing-Basics/>.



PrintSpace 3D 2016. Filament Overview. Viitattu 2.5.2017  
<https://www.printspace3d.com/3d-printing-filament-overview/>.

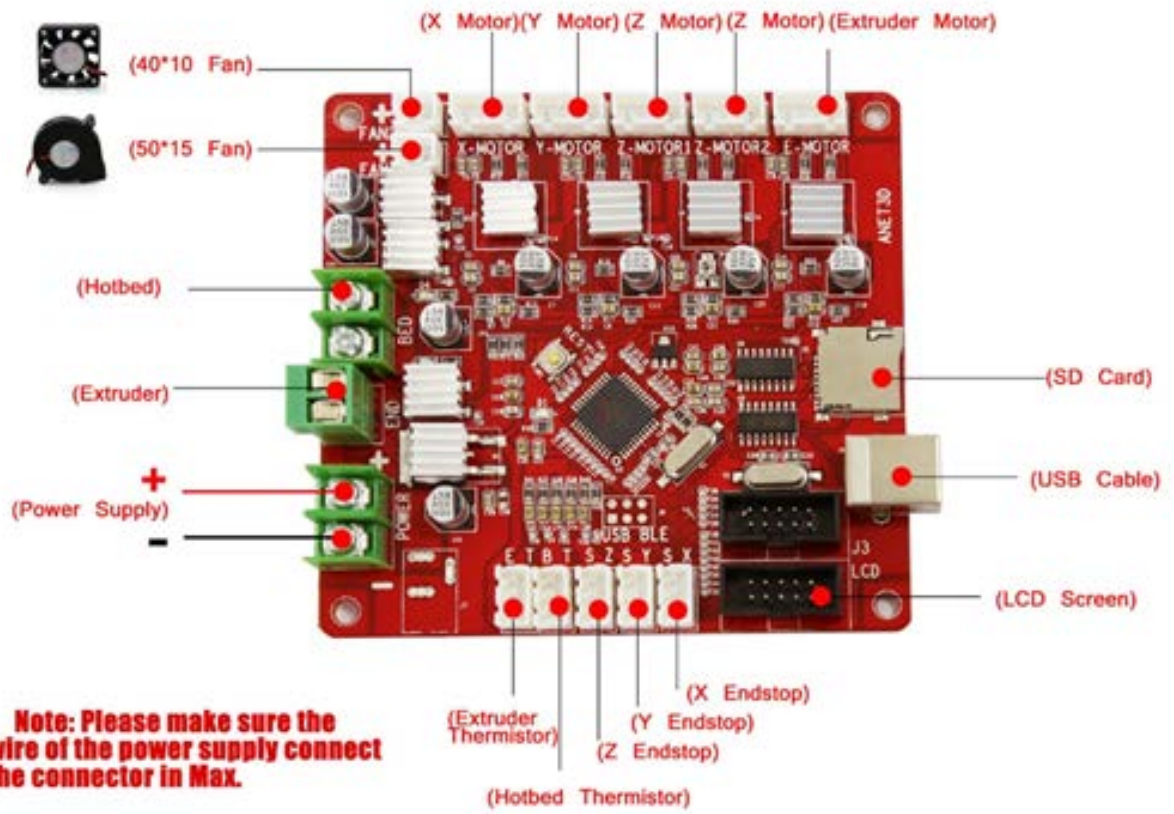
Spadaro, J. 2016. Cartesian Vs. Delta Printers: How Do They Work? Viitattu 27.4.2017 <https://www.printspace3d.com/cartesian-vs-delta-printers-work/>

Xerses, 2017 Anet A6 (and A8) Glass Bed Clips (3mm glass). Viitattu 12.4.2017  
<http://www.thingiverse.com/thing:2031753/#files>.

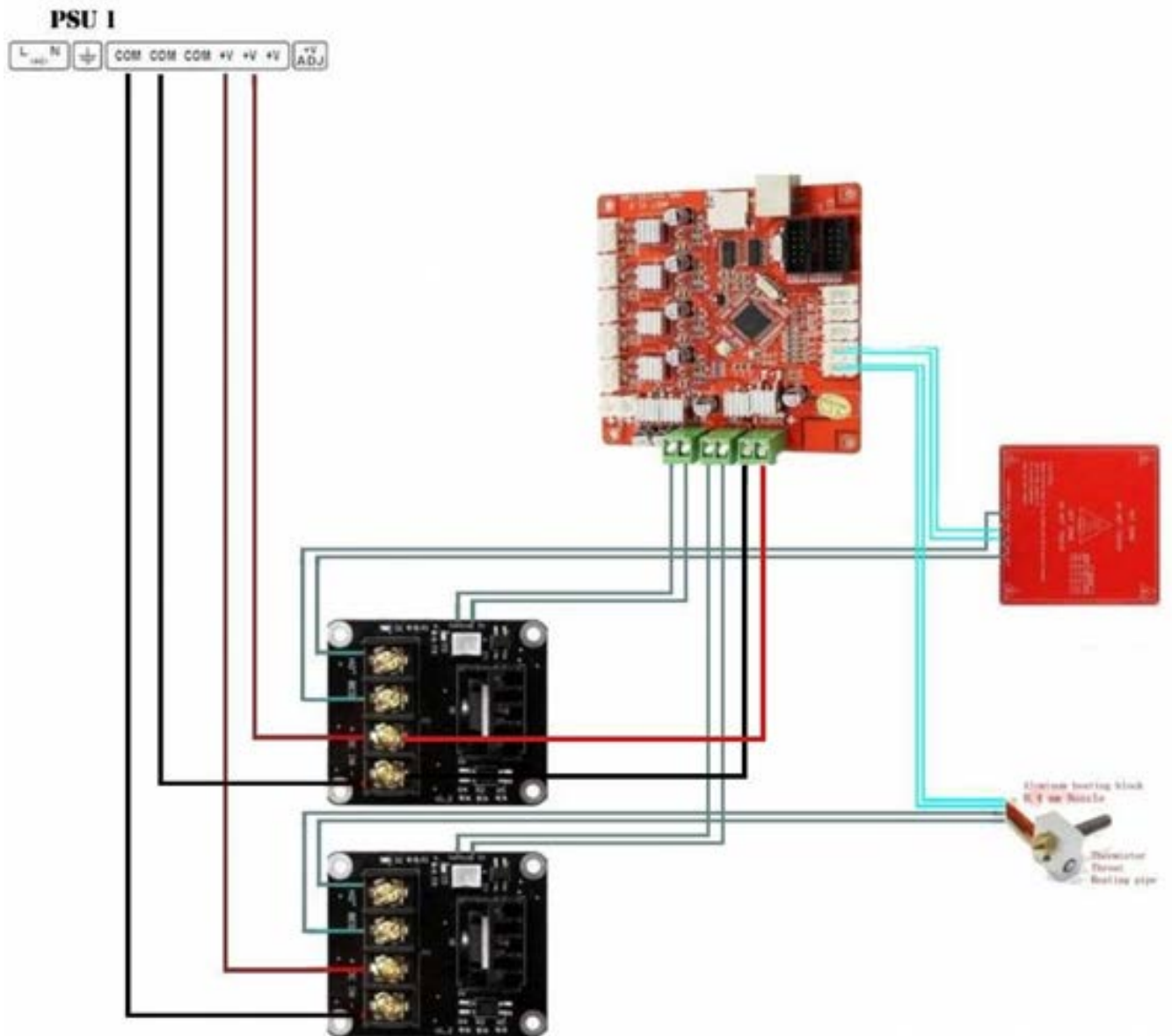
## LIITTEET

- Liite 1. Emolevyn kytkentäkaavio, kuva
- Liite 2. MOSFET-transistoreiden kytkentäkaavio, kuva
- Liite 3. Kuvia testitulosteista

# Emolevyn kytkentäkaavio



# MOSFET-transistoreiden kytkentäkaavio



Kuvia testitulosteista.

Jokaisen sivun ensimmäinen kuva on otettu ennen päivityksien asentamista ja toinen päivityksien jälkeen.



