

3D-tulostimen suunnittelu ja rakentaminen



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Riihimäen kampus, konetekniikka

Syksy, 2020

Jesse Toivonen

Konetekniikka
Riihimäen kampus

Tekijä	Jesse Toivonen	Vuosi 2020
Työn nimi	3D-tulostimen suunnittelu ja rakentaminen	
Työn ohjaaja	Jaakko Vasko	

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyössä suunniteltiin 3D-tulostin, josta rakennettiin ensimmäinen prototyyppi. Työssä edetään vaiheittain suunnittelusta kohti lopullista fyysistä prototyyppiä.

Opinnäytetyössä keskityttiin tulostimen liikekomponenttien valintaan sekä niiden vaikutukseen ja tulostusalustan tasomaisuutta mittaavan sensorin määrittämiseen. 3D-tulostimen komponentteja suunniteltiin valmistettavaksi termisellä leikkausmenetelmällä ja 3D-tulostamalla. Komponentteja varten luotiin tarvittavat tiedostot valmistamista varten.

Ensimmäinen prototyyppi kokoonpantiin. Prototyypillä tulostettiin testikappale laitteen toiminnan varmistamiseksi. Lopuksi tulostimen rakentamiseen tarvittavat ohjeet julkaistiin verkkosivustolla, josta ne ovat nyt vapaasti ladattavissa.

Avainsanat Alumiini, lineaarijohde, 3D-tulostin.

Sivut 34 sivua

Mechanical Engineering
Riihimäki campus

Author	Jesse Toivonen	Year 2020
Subject	Designing and building a 3D printer	
Supervisors	Jaakko Vasko	

ABSTRACT

In this thesis project a 3D printer was designed and also the first prototype was built. The work proceeded step by step from design towards the final physical prototype.

The thesis project focused on the selection and impact of the printer motion components and the definition of a sensor that measured the flatness of the print surface. The components of a 3D printer were designed to be manufactured by thermal cutting and 3D printing. For the components, the necessary files were created for manufacturing.

The first prototype was assembled. The prototype printed a test piece to verify the operation of the device. Finally, the instructions needed for building the printer were published on a website where they are now freely available to be downloaded.

Keywords Aluminium, linear guide, 3D printer.

Pages 34 pages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	3D-TULOSTIN	2
2.1	3D-tulostusprosessi.....	2
2.2	Materiaalin pursotus.....	3
3	SUUNNITTELU JA 3D-MALLINNUS	4
3.1	Tavoitteet ja kriteerit	4
3.2	3D-tulostimen resonointi	4
3.3	Runkorakenne	5
3.4	Liikekomponentit	7
3.5	Liikesuunnat	8
3.6	Elektroniset komponentit	10
3.6.1	Ohjaukortti.....	10
3.6.2	Kuumapää.....	11
3.6.3	Tulostusalusta.....	13
3.6.4	Virtalähde	14
3.6.5	Tulostusalustan mittaus sensori.....	15
4	PROTOTYYPIN RAKENTAMINEN	17
4.1	Osien valmistus	17
4.1.1	Vesileikatut osat	17
4.1.2	3D-tulostetut osat	19
4.2	Kokoonpano	20
4.3	Sensorin määrittäminen.....	22
5	TULOKSET	24
5.1	3D-malli ja prototyyppi	24
5.2	Prototyypin testaus	25
5.3	Hinta	27
5.4	Desibelimittaus.....	27
5.5	Käyttöönoton yhteenveto	28
6	TIEDOSTOJEN JULKAISU.....	29
6.1	Kokoonpanopiirustukset	29
6.2	Tekniset piirustukset	30
6.3	Julkaisu	31
7	YHTEENVETO	32
	LÄHTEET.....	33

1 JOHDANTO

Materiaalia lisääviä valmistusmenetelmiä on olemassa useita, jotka eroavat toisistaan. Suomenstandardisoimisliitto SFS (SFS 52900/2017, s. 7-8) jakaa menetelmät 7 eri luokkaan:

1. sideaineen suihkutus
2. suorakerrostus
3. pursotus
4. materiaalin suihkutus
5. jauhepetisulatus
6. kerroslaminointi
7. valokovetus altaassa.

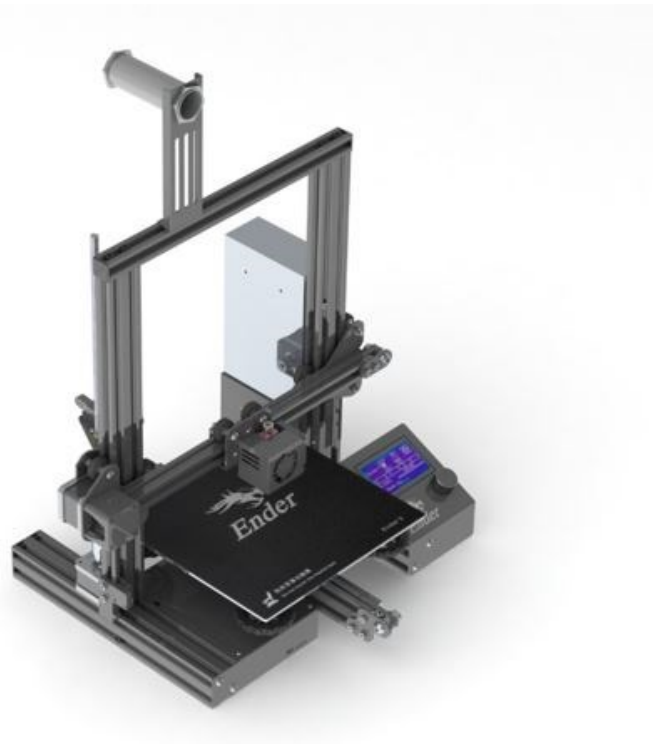
Tässä opinnäytetyössä perehdytään materiaalia pursottavan laitteen suunnitteluun ja rakentamiseen. Työssä 3D-mallinnetaan materiaalia pursottava laite, Hämeen ammattikorkeakoulun tarjoamalla PTC Creo -ohjelmalla. Virtuaalisen 3D-mallin pohjalta kokoonpannaan ensimmäinen prototyyppi laitteesta, jolla pystytään pursottamaan kerroksittain muovista lisääinelankaa, kunnes haluttu muoto saavutetaan.

Työssä edetään vaiheittain suunnittelusta kohti lopullista fyysistä prototyyppiä, jossa keskeisimpinä asioina ovat:

- Suunnittelu ja 3D-mallinnus vaihe, jossa pohditaan mahdollisia tekijöitä mitkä vaikuttavat tulostuksen laatuun ja mitä on hyvä ottaa huomioon suunnitteluvaiheessa sekä vertaillaan komponenttien valintoja.
- Kokoonpanovaihe, jossa suunnitellut komponentit valmistetaan ja tilataan sekä ensimmäinen prototyyppi kokoonpannaan.
- Prototyypin testaus ja valmistamiseen tarvittavien kokoonpanokuvien, osatiedostojen, osaluettelon ja valmistusmenetelmien julkaiseminen verkkosivulle, mistä ne ovat julkisesti saatavilla.

2 3D-TULOSTIN

3D-tulostin (kuva 1) sisältää mikrokontrollerin. Mikrokontrolleri lukee GCODE-tiedostoja, jotka sisältävät komentoja moottoreiden liikkeisiin sekä tulostusalustan ja suuttimen lämmityksiin. 3D-tulostimesta on versioita, joissa tulostuslanka ohjataan suuttimelle ohjausletkua pitkin tulostuslankaa syöttävän moottorin avulla ja versioita, joissa moottori on sijoitettu tulostuspään viereen. Eroja on myös siinä, miten x-, y- ja z-akseleita liikutetaan. (Alonen, Alonen & Hietikko, 2016, s. 20)



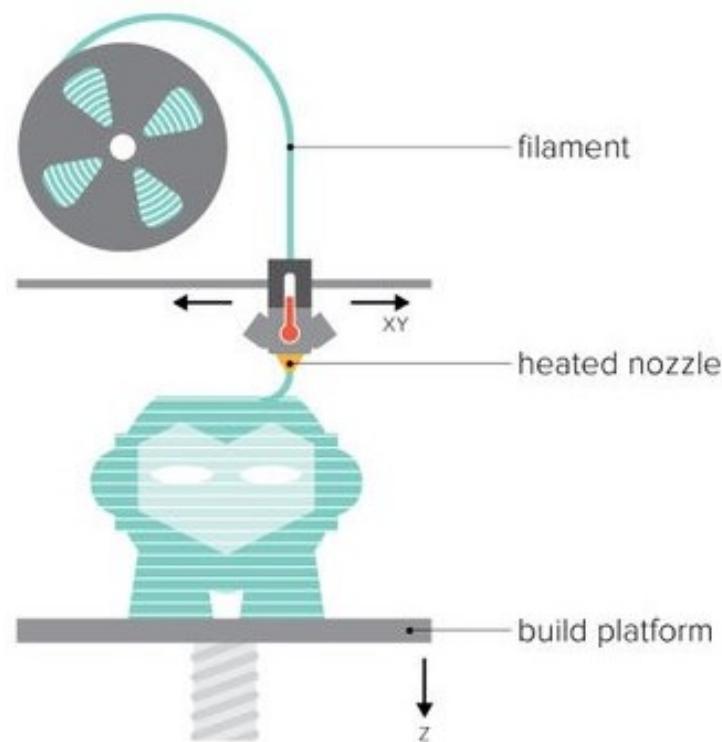
Kuva 1. 3D-tulostin.

2.1 3D-tulostusprosessi

Materiaalia lisäävä valmistusmenetelmä (additive manufacturing eli AM) on virallinen nimi usein käytetylle 3D-tulostukselle. Aikaisemmin sitä on myös kutsuttu nimellä rapid prototyping, joka juontaa juurensa sen tarkoitukseen kuvaamaan prosessia, jolla pystytään nopeasti luomaan fyysinen prototyyppi digitaalisesta mallitiedostosta ennen lopullista julkaisua tai kaupallistamista. Painopiste on siis kappaleen nopeassa luomisessa ja saatu tulos on prototyyppi, josta lopullinen tuote johdetaan. Nykyisin AM-menetelmää käytetään moniin muihinkin tarkoituksiin. Termi rapid prototyping on kuitenkin tänä päivänä riittämätön kuvamaan valmistusmenetelmää, sillä 3D-tulostimia on kehitetty ja niiden tuottamat kappaleet ovat laadullisesti lopullisen tuotteen veroisia, jonka vuoksi AM-menetelmällä valmistettuja osia käytetään jo paljon teollisuuden eri aloilla. (Rosen, Stucker & Gibson, 2015, s. 1-2)

2.2 Materiaalin pursotus

Materiaalin pursotus on ainetta lisäävä valmistusmenetelmä, joka on nykyään kuluttajatason laitteissa yleisimmin käytetty AM-menetelmä. Menetelmistä se on halvin, yksinkertaisin ja hitain. Materiaalia pursottavassa menetelmässä termoplastista muovia pursotetaan lämmitetyn suuttimen läpi tulostusalustalle, jossa muovi kovettuu uudelleen, tätä kutsutaan FDM-tekniikaksi (kuva 2). Ennen varsinaista tulostusprosessia 3D-mallit lisätään virtuaaliseen tulostustilaan, joka siivuttaa mallin kerroksiin ja laskee jokaisen kerroksen annettujen parametrien ja leikkauskuvien perusteella 2D-tulostusreitit ja luo niistä GCODE-tiedoston. GCODE-tiedosto lähetetään tulostimelle, joka lukee tekstitiedostoa rivi järjestyksessä liikkuen laskeutun 2D-tulostusreitit x- ja y-koordinaattien mukaan samalla pursottaen muovia. (Alonen, Alonen & Hietikko, 2016, s. 19-20)



Kuva 2. Materiaalin pursotus -menetelmän toimintaperiaate. (Barcellona, 2016)

3 SUUNNITTELU JA 3D-MALLINNUS

3D-tulostimen suunnittelu toteutettiin Hämeen ammattikorkeakoulun tarjoamalla PTC Creo 4.0 tietokoneavusteisella 3D-mallinnus ohjelmalla. 3D-tulostimen komponenteista luotiin 3D-mallit ja malleista tehtiin kokoonpano, jotta 3D-tulostimen kokoonpano voidaan taata ja komponenttien kiinnityksessä ei ilmene ongelmia. Suunnittelussa perehdyttiin 3D-tulostimen rakenteeseen ja liikesuuntien liittyvään ongelmaan eli resonointiin. Resonoinnin vaikutusta tulostuksen laatuun pohdittiin komponenttien valinnoissa.

3.1 Tavoitteet ja kriteerit

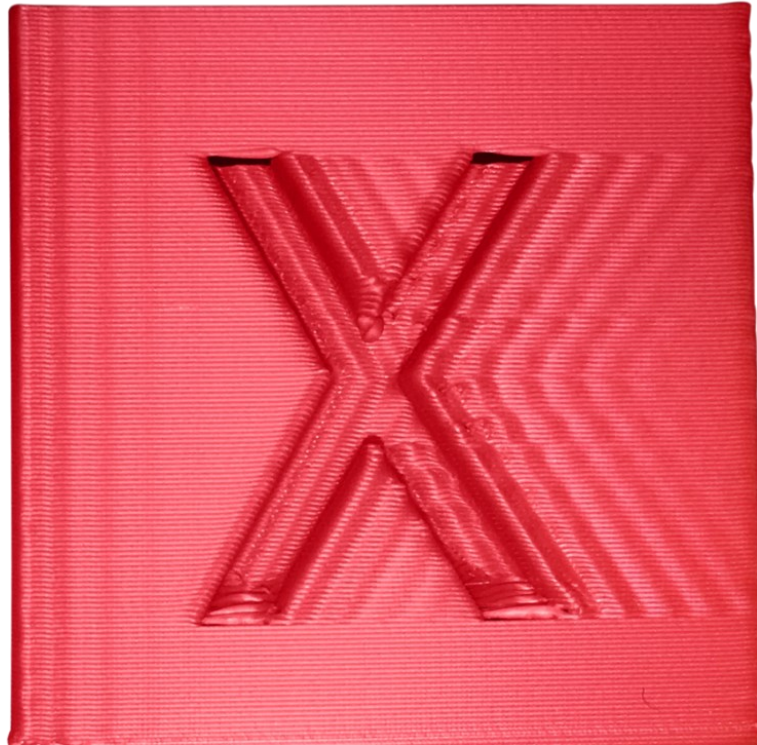
Tavoitteena oli suunnitella ja rakentaa prototyyppi 3D-tulostimesta, joka soveltuu kuluttajakäyttöön hinnan, helppokäyttöisyyden ja koon puolesta. Kuluttajakäyttöön soveltuvan 3D-tulostimen keskeisimpänä sovelluksena on tulostusalustan tasomaisuutta mittaava sensori. Sensorin avulla käyttäjän ei tarvitse manuaalisesti säätää tarkkaa korkeuden määrittystä suuttimen ja tulostusalustan välille. Runkorakenne suunniteltiin vähentämään laitteeseen kohdistuvaa resonointia. Prototyypin rakentamiseen käytettiin mahdollisuuksien mukaan olemassa olevia komponentteja ja osa komponenteista valmistettiin 3D-tulostamalla, joka vähensi prototyypin valmistuskustannuksia.

3D-tulostimen kriteerit:

- lämmitettävä tulostusalusta
- hiljaiset moottorinohjaimet
- tulostusala 235 mm²
- tulostusalustan tasomaisuutta mittaava sensori
- tulostusnopeus 70 mm/s
- mahdollisuus tulostaa useita materiaaleja.

3.2 3D-tulostimen resonointi

Haamukuva on seuraus resonoinnista. Termiä käytetään 3D-tulostuksen yhteydessä kuvaamaan tulostuksen aikana syntyvää virhettä kappaleen pinnassa. Yleensä haamukuva esiintyy terävissä reunoissa jättäen terävän reunan perään useasti toistuvan haamukuvan tai varjon (kuva 3). Haamukuva syntyy 3D-tulostuksen aikana tulosteen pintaan aaltoilevana tai varjona useaan kertaan peräkkäin ja saattaa pilata tulostetun kappaleen, vaikka piirrettä tulostuksessa ei kuuluisi olla. (Kondo, 2019a)

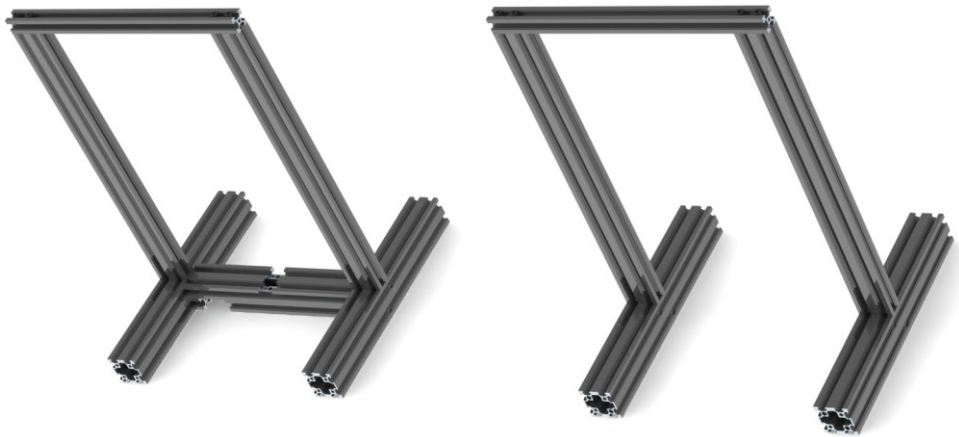


Kuva 3. Esimerkki haamukuvasta. (Rigid, n.d)

Rakenteeltaan kevyt 3D-tulostin, jonka liikkuvat osat kuten tulostuspää ja tulostusalusta aiheuttavat resonointia koko tulostimen rakenteisiin liikesuuntien muutoksien tai nopeuden muuttumisen seurauksena. Resonointi eli värähtely tulostimen rakenteissa aiheuttaa haamukuvien syntymistä, sillä liikekomponentit eivät ole täydellisen jäykkiä tai tarkkoja ja mikä tahansa kaltevuus tai joustavuus johtaa värähtelyihin ja sen seurauksena epätarkkuuksiin. (Kondo, 2019a)

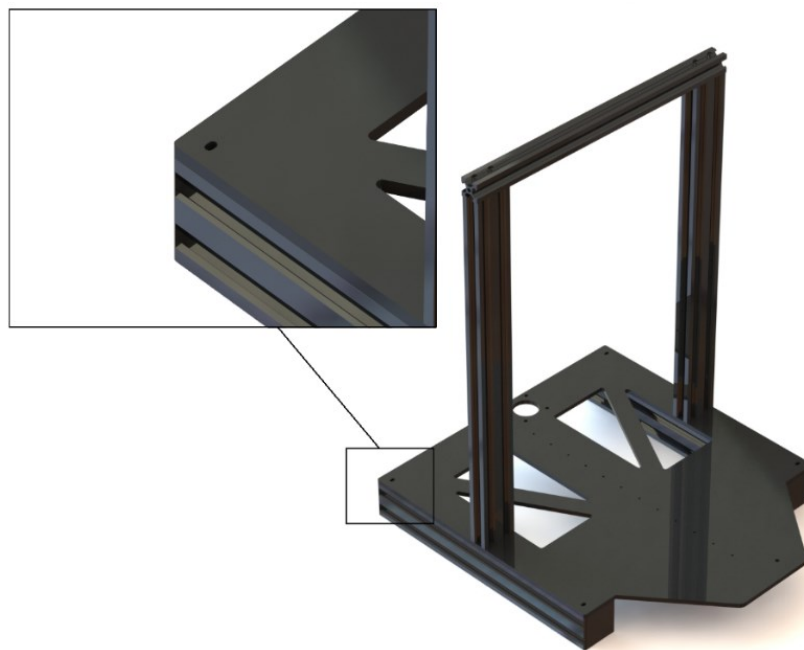
3.3 Runkorakenne

Aloituspiste 3D-mallinnukselle on vanhan tulostimen runko, josta käytettiin runkorakenteeseen tarvittavia alumiinista valmistettuja profiiliputkia (kuva 4). Tarvittavat profiiliputket hyödynnettiin tähän opinnäytetyöhön, mutta rungon rakenne on hyvin yksinkertainen ja helppo tehdä, mikäli sille olisi tarvetta. Rungosta luotiin siitä huolimatta virtuaalinen 3D-malli, jotta sitä voidaan hyödyntää suunnittelun eri vaiheissa. Suunnittelussa käytettiin käännteistä mallintamista ja siksi oli tärkeää saada runko mallinnuksen referenssiksi.



Kuva 4. Vanhan tulostimen runko kuvassa vasemmalla ja opinnäytetyöhön käytetyt rungon osat kuvassa oikealla.

3D-tulostimen runkoa vahvistamaan ja ehkäisemään resonointia mallinnettiin viisi millimetriä paksu alumiinilevy, jonka on tarkoitus sitoa rungon alumiiniprofiilit kiinni toisiinsa ruuviliitoksella ja siihen on mahdollista kiinnittää tulostusalustan tarvittavat komponentit. Levyn kiinnityksessä on huomioitu valmistuksessa mahdollisesti syntyvät mittaheitot ovaalin muotoisilla rei'illä (kuva 5).

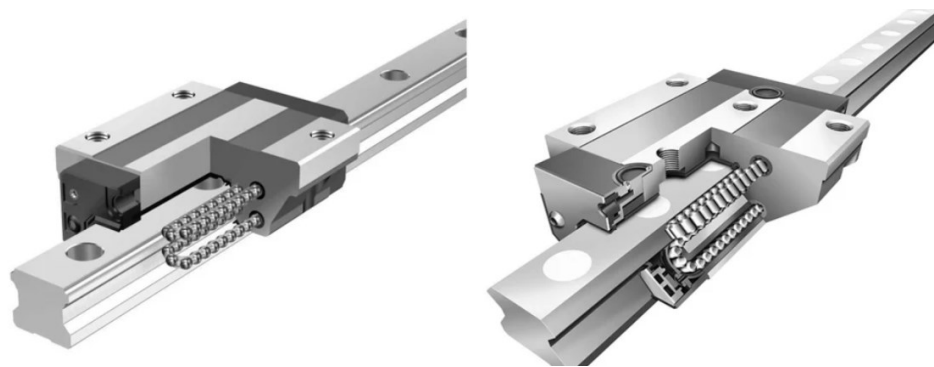


Kuva 5. Levy lisättyä virtuaalisen rungon rakenteeseen. Ovaalin muotoinen reikä osoitettu tarkennetussa alueessa.

3.4 Liikekomponentit

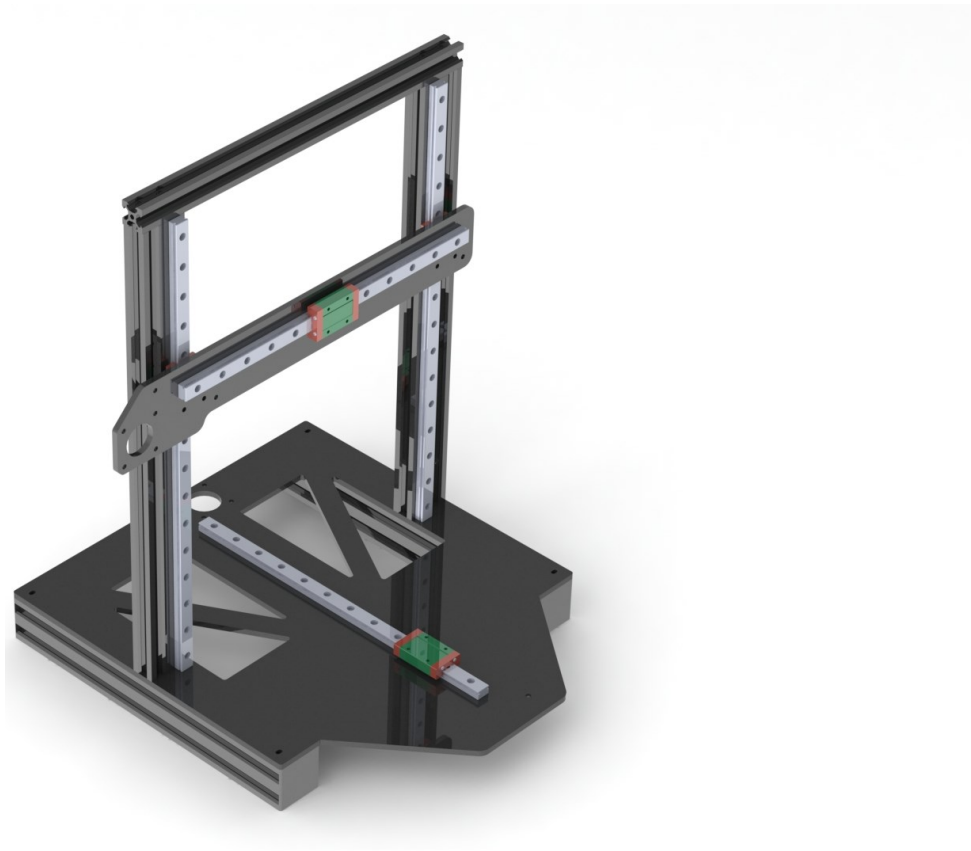
Lineaarijohteet ovat yleisiä liikekomponentteja 3D-tulostimissa ja erilaisissa CNC-työstölaitteissa, sillä niillä saavutetaan sujuvat liukuvat liikkeet. Lineaarijohde koostuu jäykästä teräskiskosta, jota pitkin vaunu liikkuu vaivattomasti kuulalaakereiden ansiosta. Vaunu sisältää kuulalaakerit, jotka ovat kosketuksessa teräskiskoon ja näin ollen mahdollistaa tasaisen liukuvan liikkeen vaunulle, kuulalaakereiden rullatessa teräskiskon päällä. Teräskiskon muodon sekä tiukkojen toleranssien ansiosta vaunu pysyy jäykästi kiinni teräskiskossa, rajoittaen sen liikkumisen vain lineaarisiin suuntiin. (Kondo, 2019c)

Lineaarijohteet (kuva 6) ovat jäykempiä ja taipuvat huomattavasti vähemmän kuin usein 3D-tulostimissa käytetyt lineaaripyörötangot, muodon ja teräksen jäykkyyden ansiosta. 3D-tulostuksessa näiden vuoksi voidaan säästää huomattavasti vähemmän komponenttien mahdollisuutta heilua ja aiheuttaa resonointia. Toisin kuin lineaaripyörötangot, johteet eivät salli vaunulle rotaatiota, eli yhdellä johteella saavutetaan jämää lineaarinen liike, jota voidaan hyödyntää suunnittelussa oleellisen painon kannalta luomalla yksinkertaiset ja kevyet liikekomponentit. Lineaarijohteet valmistetaan paljon tiukemmilla toleransseilla kuin lineaaripyörötangot ja tämän seurauksena liike on tasaisempi ja tarkempi. Johteiden asentaminen on helpompaa, sillä johteissa on valmiiksi reiät pulttiliitosta varten. Lineaarijohde on moninkertaisesti kalliimpi investointi verrattuna muihin johteisiin. (Kondo, 2019c)



Kuva 6. Leikkauskuva lineaarijohteista, vaunusta ja sen kiertävistä kuulalaakereista. (Kondo, 2019c)

Vaakasuntaisen liikkeen lineaarijohdetta varten suunniteltiin viisi millimetriä paksusta alumiinilevystä alusta, johon on mahdollista kiinnittää johde ruuviliitoksella. Ruuviliitosta varten levyssä on huomioitu reikien paikat, joihin on mahdollista tehdä kierteet muttereiden käytön välttämiseksi. Tulostusalustan liikesuuntaa varten suunniteltiin kiinnitys mallintamalla reiät rungon alumiinilevyyn, joihin on mahdollista kiinnittää johde ruuviliitoksella (kuva 7). Lineaarijohteiksi valittiin MGN12H-tyyppin lineaarijohteet, jotka sisältävät vaunun ja teräskiskon. Teräskiskoja tarvittiin kaksi kappaletta 300 ja 400 millimetrin pituisina ja vaunuja yhteensä neljä kappaletta, joiden hinta tilaushetkellä oli 76 euroa, Saksasta toimitettuna.

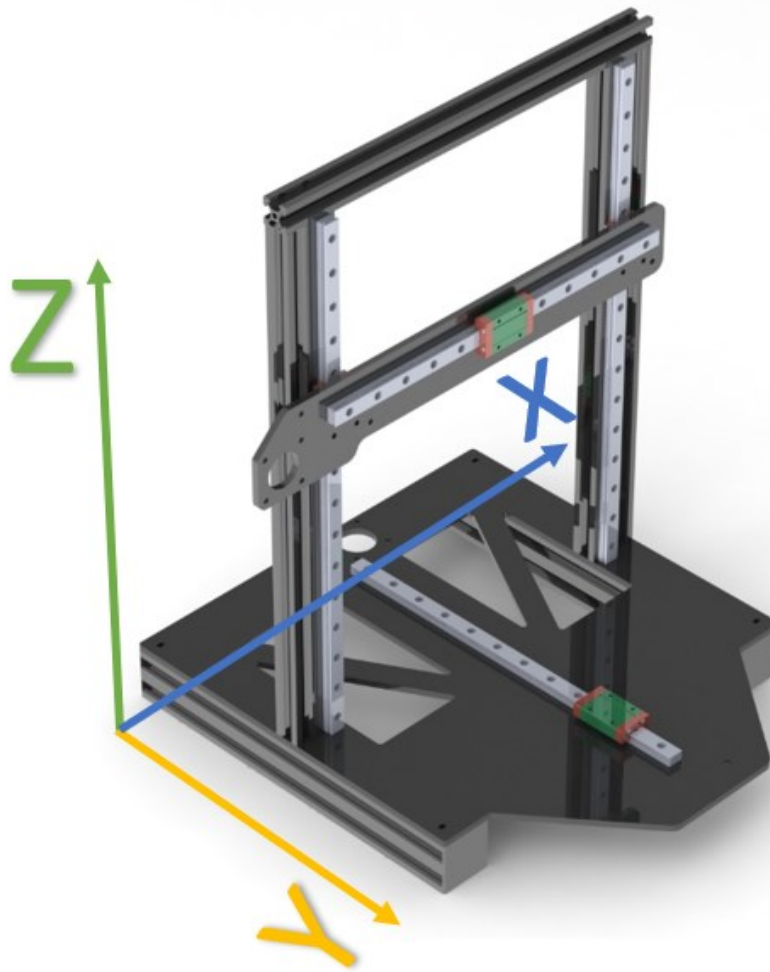


Kuva 7. Linearijohteet ja alumiinilevy kiinnitettyinä virtuaalisen 3D-mallin kokoonpanoon.

3.5 Liikesuunnat

Liikesuunnilla tarkoitetaan koordinaatiston suuntia x -, y - ja z -akselilla, joilla ohjataan suuttimen paikoitusta. FDM-tulostustekniikkaa käyttävissä 3D-tulostimissa kaksi yleisintä ovat karteesian ja delta koordinaatisto, mutta niillä on erilaiset mekanismit suuttimen liikuttamiseksi. 3D-tulostimen akselit mahdollistavat laitteen toiminnan, jolloin suutinta on mahdollista liikuttaa korkeus-, leveys- ja syvyysuunnissa. Mikäli akseleita olisi vain kaksi esimerkiksi leveys- ja syvyysuunta, jotka usein vastaavat x - ja y -akselia, olisi 3D-tulostimen nimikin luultavasti 2D-tulostin, sillä korkeussuunnan puuttuessa tulostettavista kappaleista tulisi litteitä. (Obudho, 2018)

Rungon rakenteen takia delta koordinaatistoa ei ollut mahdollista käyttää, sillä se vaatisi erilaisen rungon rakenteen. Koordinaattijärjestelmäksi sopi karteesian koordinaatisto (kuva 8).



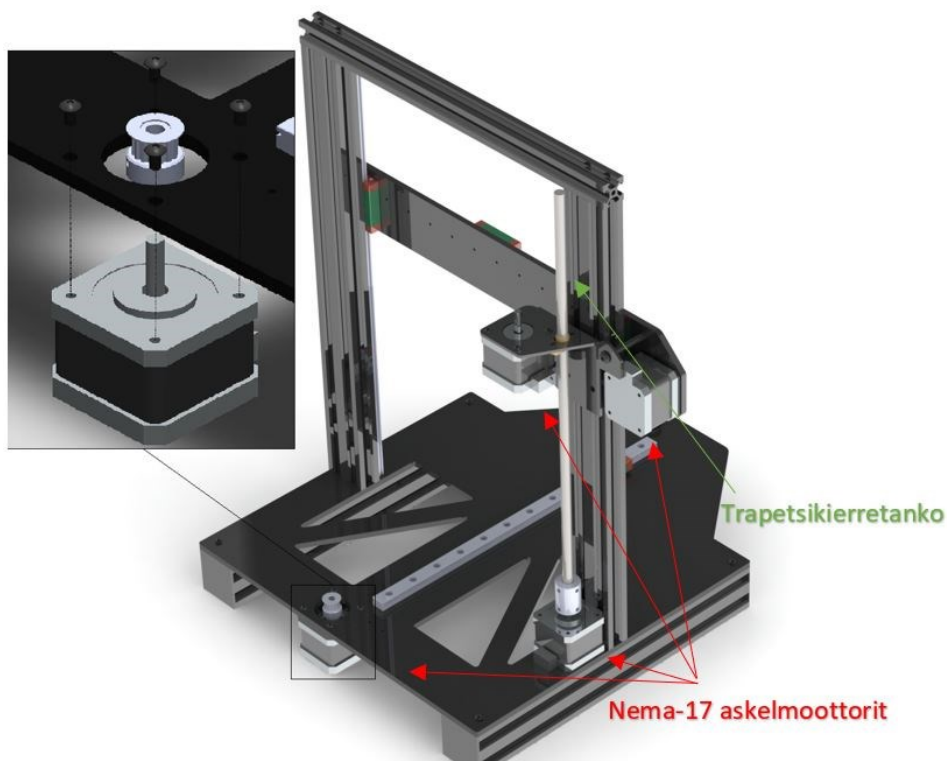
Kuva 8. Koordinaatiston x-, y- ja z-akselit.

Matemaatikko René Descartesin nimeämä karteesian koordinaattijärjestelmä kuvaa pisteitä x-, y- ja z-koordinaattien perusteella, mutta 3D-tulostuksessa pisteillä kuvataan suuttimen sijaintia. Cartesian-tyylisissä tulostimissa on kaksi akselia, joiden tehtävä on liikuttaa vaakasuunnassa tulostussuutinta ja tulostusalustaa. Kolmannen akselin tehtävä on liikuttaa tulostusalustaa tai suutinta pystysuuntaisessa liikkeessä. (Obudho, 2018)

X- ja y-akseleiden liike suunniteltiin toteutettavaksi hihnojen avulla, joita liikutetaan askelmoottoreilla. Askelmoottoreita tilattiin neljä kappaletta, joiden kappale hinnaksi muodostui 7,40 euroa.

Z-akselin liike eli suuttimen korkeudensäätö suunniteltiin toteutettavaksi pyörittämällä trapetsikierretankoa askelmoottorilla. Korkeudensäätöä varten hyödynnettiin 90° kulmaan taivutettua alumiinilevyä ja trapetsikierretankoa, jotka ovat peräisin Creality-merkkisestä tulostimesta. Osista mallinnettiin mittatarkat 3D-mallit, jotta niiden kiinnitys voitiin suunnitella virtuaalisessa kokoonpanossa. Taivutettuun levyyn on mahdollista kiinnittää tulostuslankaa syöttävä askelmoottori, jonka lisäksi moottorille suunniteltiin langansyöttömekanismi.

Alumiinilevyihin mallinnettiin askelmoottoreiden kiinnitystä varten sopivat reiät (kuva 9). Reiät mitoitettiin väljiksi, jotta askelmoottoreiden kiinnityksessä ei ilmene ongelmia, alumiinilevyjen valmistus menetelmästä riippumatta.



Kuva 9. Askelmoottorit, trapetsikierretanko ja taivutettu levy lisättyä virtuaalisen 3D-mallin kokoonpanoon.

3.6 Elektroniset komponentit

3D-tulostin tarvitsee elektronisia komponentteja, kuten askelmoottorin. Pyöriäkseen askelmoottori tarvitsee käskyn ohjauskortilta ja virtaa suorittaakseen käskyn. Liikettä varten tarvitaan myös rajakytkin, joka lähettää käskyn takaisin ohjauskortille kertoen moottorin olevan nolapisteesä, jolloin moottorin liike pysähtyy. Virta saadaan pistorasiasta, mutta virtaa ei voida kytkeä elektronisiin komponentteihin suoraan pistorasiasta vaan väliin tarvitaan virtalähde, joka muuntaa virran oikeanlaiseksi ja jakaa ohjauskortille.

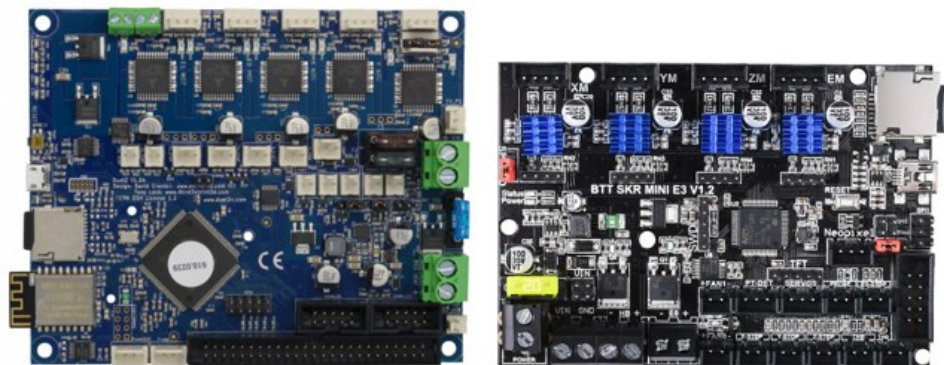
3.6.1 Ohjauskortti

Ohjauskortti on 3D-tulostimen sydän, joka on vastuussa elektronisista toiminnoista ja säätelee kaikkea logiikkaa, kuten g-kooditiedostojen jäsentämistä, lämpötilojen säätämistä ja askelmoottoreiden liikkeitä. Ohjauskortteista on tullut tehokkaampia ja monipuolisempia. Ne tarjoavat uusia ominaisuuksia, jotka ovat siirtäneet 3D-tulostusteollisuutta eteenpäin. (Yeap, 2019)

Ohjauskortteja oli tarjolla paljon erilaisia ja eri valmistajilta. Valintaa punnittiin kahden eri valmistajan ohjauskortin välillä (kuva 10).

Bigtreetechin valmistama SKR MINI E3 on 32-bittinen ohjauskortti, mikä sisältää askelmoottoreiden hiljaiset ohjaimet (tmc2209) ja on hinnaltaan edullinen 25,64 euroa. Ohjauskortti on mahdollista liittää LCD-monitoriin tai suoraan tietokoneeseen USB-yhteydellä, josta ohjauskorttia ohjataan.

Kalliimpi vaihtoehto oli E3D:n valmistama Duet 2 Wifi. 32-bittinen ohjauskortti sisältää askelmoottoreiden hiljaiset ohjaimet (tmc2260). Ohjauskortti on mahdollista yhdistää langattomasti kotiverkkoon, jolloin ei tarvita erillistä monitoria ohjaamiseen vaan ohjaus tapahtuu kotiverkkoon yhdistetyllä tietokoneella, mikä mahdollistaa 3D-tulostimen vapaamman sijoittelun.



Kuva 10. Vasemmalla kuvassa Duet 2 Wifi ja oikealla SKR MINI E3.

Valinta kohdistui SKR MINI E3 -ohjauskorttiin, koska Duet 2 Wifi -ohjauskortteja ei ollut saatavilla tilaushetkellä. Toinen valintaan vaikuttava tekijä oli Duet 2 Wifi -ohjauskortin kallis hinta 147,50 euroa. Molempiin ohjauskortteihin oli mahdollista lisätä tulostusalustan tasomaisuutta mittaava sensori.

3.6.2 Kuumapää

Kuumapää on yksi tärkeimmistä komponenteista 3D-tulostimessa, sillä se vastaa pursotettavan muovinauhan sulamisesta. Kuumapää vaikuttaa siihen mitä materiaaleja voidaan tulostaa, kuinka todennäköisesti tulostukset epäonnistuvat ja kuinka nopeasti pystytään tulostamaan. (Kondo, 2019b)

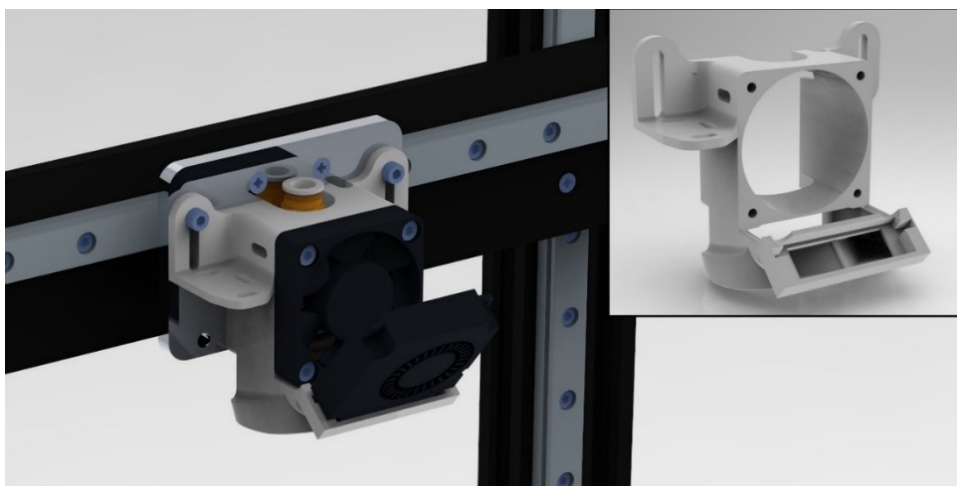
Kuumapään valintaan vaikutti tulostettavan materiaalin sulamiseen vaadittu lämpötila, jota tutkittiin tulostuslankaa myyvien eri valmistajien kotisivuilta. Riittävä lämpötila saavutetaan MK8 merkkisellä kuumapäällä, joka saavuttaa 250 °C lämpötilan ja sillä on mahdollista sulattaa useimpia yleisiä tulostusmuoveja. Kuumapäätä varten mallinnettiin viisi millimetriä paksu

alumiinilevy, johon on mahdollista kiinnittää kuumapää ruuviliitoksella (kuva 11). Alumiinilevyn suunniteltiin reiät lineaarijohteen kelkkaan kiinnittämistä varten.



Kuva 11. Alumiinilevy ja kuumapää lisättynä virtuaalisen 3D-mallin kokoonpanoon.

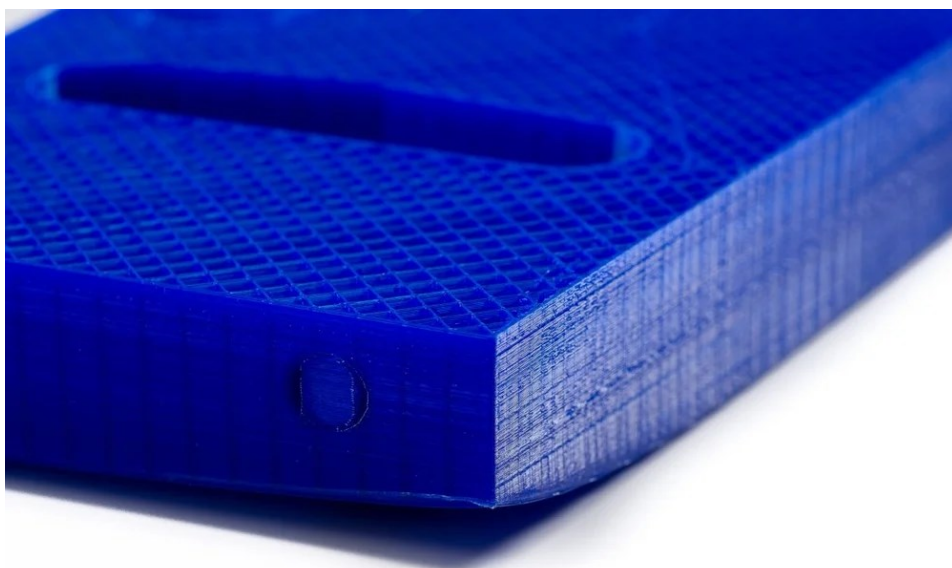
Kuumapää tarvitsee kaksi tuuletinta, yhden jäähdyttämään juuri pursotettua sulaa muovia ja toisen tuulettimen kuumapään yläpuolella sijaitsevalle jäähdytyskammille, jotta kuumapäälle syötettävä muovinauha pysyy sulamattomana ennen kuumapäälle saapumista, eikä näin ollen tuki tulostuslangan reittiä suuttimelle. Tuulettimille suunniteltiin teline (kuva 12), joka ohjaa ilmavirrat juuri pursotettuun sulaan tulosteeseen ja jäähdytyskammille. Teline on suunniteltu valmistettäväksi 3D-tulostamalla.



Kuva 12. Tuuletinteline ja tuulettimet lisättynä virtuaalisen 3D-mallin kokoonpanoon. Tarkennettu kuva tuuletintelineestä.

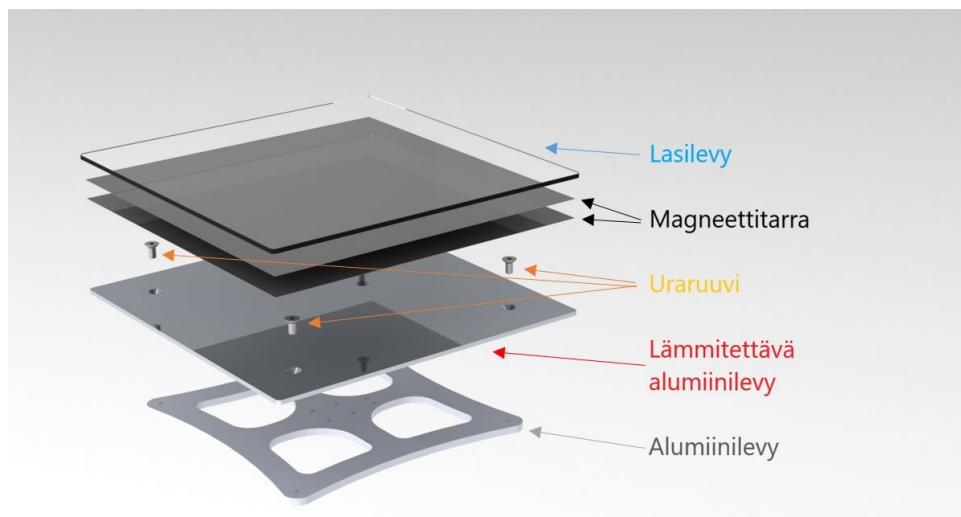
3.6.3 Tulostusalusta

Lämmitetty tulostusalusta parantaa 3D-tulostuksen laatua estämällä alustalle pursotetun sulan muovin jäähtymistä nopeasti ja epätasaisesti. Seurauksena epätasaisesta jäähtymisestä pursotettu sula muovi kutistuu hie-man jäähtymisen takia, jolloin epätasainen jäähtyminen saattaa aiheuttaa vääntymiä 3D-tulostettuun kappaleeseen (kuva 13). Vääntymistä esiintyy usein 3D-tulostetun kappaleen reunojen irtoamisena tulostusalustasta. Lämmitettyyn tulostusalustaan pursotettu sula muovin pysyy lämpimänä koko tulostusprosessin ajan ja kutistumista tapahtuu tasaisemmin, sen jäähtyessä sulamispisteen alapuolelle. (RepRap, 2018)



Kuva 13. Tulosteen nurkassa esiintyvä vääntyminen. (All3DP, 2020)

Lämmityslevynä käytettiin Creality -tulostimeen kuuluvaa lämmitettävää alumiinilevyä, joka on mahdollista lämmittää 110 °C. Tulostusalustaksi valikoitui piihiilellä pinnoitettu lasilevy, joka kiinnitetään lämmityslevyyn magneettitarroilla. Pinnoituksella saavutetaan parempi tulostuksen kiinnittyminen tulostusalustaan. Lasilevyn ja magneettitarran hinnaksi muodostui 30 euroa. Tulostusalustaa varten suunniteltiin viisi millimetriä paksu alumiinilevy, mihin on mahdollista kiinnittää lämmitettävä alumiinilevy ja lasilevy (kuva 14). Muttereiden välttämiseksi alumiinilevyyn tehtiin kierreet uraruuveille. Magneettitarran käytöllä voidaan kiinnittää ja irrottaa lasilevy helposti puhdistuksen tai tulosteen irrottamisen ajaksi. Alumiinilevyyn suunniteltiin halkaisijaltaan neljä millimetriä olevat reiät, levyn kiinnittämiseksi lineaarijohteen vaunuun uraruuveilla.



Kuva 14. Räjätyskuva tulostusalustan kokoonpanosta.

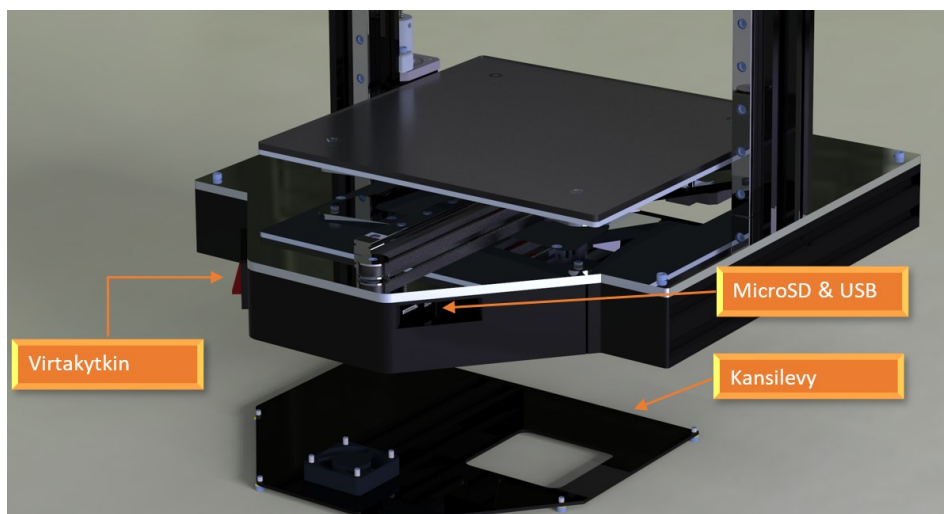
Usein 3D-tulostimissa on jousilla säädettävä tulostusalustan korkeudensäätö, mikä sallii alustaan enemmän heilumista alustan nopeiden liikkeiden takia. Suunnittelussa pyrittiin välttämään sellaisia komponentti ratkaisuja, jotka sallivat heilumista tai resonointia 3D-tulostimen rakenteisiin. Tulostusalustan korkeudensäätö suunniteltiin ilman säätöjousia ja korvattiin tulostusalustan tasomaisuutta mittaavalla sensorilla. Riittävään tulostusalustan suoruuteen päästään lisäämällä säätölevyjä alumiinilevyjen väliin.

3.6.4 Virtalähde

Virtalähteen sisällä on muuntaja, joka vastaanottaa pistorasiasta tulevan 110 tai 240 voltin jännitteen muuntaen sen 12 tai 24 voltiseksi jännitteeksi ja tasasuuntauspiiri, joka muuntaa pistorasiasta kulkevan vaihtovirran tasavirraksi, jota 3D-tulostin tarvitsee. 3D-tulostimen virtalähteellä on vaatimuksena 240 voltin sisääntulojännite, eli se jännite, joka kulkeutuu pistorasiasta virtalähteeseen. Virtalähteen ulostulojännite pitää olla 24 voltia. Tämä on tärkeää, sillä jokainen 3D-tulostimen komponentti on mitoitettu tietylle jännitteelle, joka on 24 voltia. Ulostulojännitteen arvo eli suurin ampeerien määrä, jonka virtalähde voi tuottaa milloin tahansa, vaikuttaa lämmitettävien komponenttien määrään. On huomioitava virtalähdettä valitessa komponenttien virrankulutus (energiaa aikayksikköä kohti). Ampeerien sijaan on helpompi tarkastella virtalähteeltä vaadittua tehoa, sillä tulostusalustan lämmittämiseen tarvittava teho on määrältään suurin. Muiden komponenttien kuten ohjaukorkotti, moottorit, kuumapää, tuuletin ja muut elektroniikka komponentit voidaan karkeasti arvioida kuluttavan 100 wattia tehoa virtalähteeltä. Lisäämällä tähän tulostusalustan lämmittämiseen vaadittu teho, saadaan pienin arvio virtalähteen teholle. (Grames, 2018)

Lyhyen summaamisen jälkeen virtalähteen pienin vaadittu teho oli 300 wattia. Virtalähteeksi valikoitui Mean Well -merkinen 350 wattinen

teollisuuskäyttöön tarkoitettu virtalähde. Virtalähde on ulkomuodoiltaan metallikoteloitu ja matalaprofiilinen, jonka ansiosta sen sijoittaminen 3D-tulostimen pohjaan on mahdollista. Virtalähteen saatavuus oli hyvä ja hinta kohtuullinen. Hinta ostohetkellä oli 33 euroa Suomesta ostettuna. Elektroniikalle ja virtalähteelle suunniteltiin suojakotelo (kuva 15) tulostimen pohjaan turvallisuussyistä. Kotelolla estetään käyttäjän kontakti komponentteihin, joissa kulkee korkeajännite, joka saattaa olla hengenvaarallista. Koteloon suunniteltiin reiät microSD-muistikortille ja USB-kaapelille, ohjauksen liittämistä varten tietokoneeseen. Kotelo suljetaan kiinnittämällä 3D-tulostettu kansilevy kotelon pohjaan. Koteloon suunniteltiin kiinnitys virtakytkimelle, josta virta voidaan kytkeä päälle ja pois vaivattomasti.



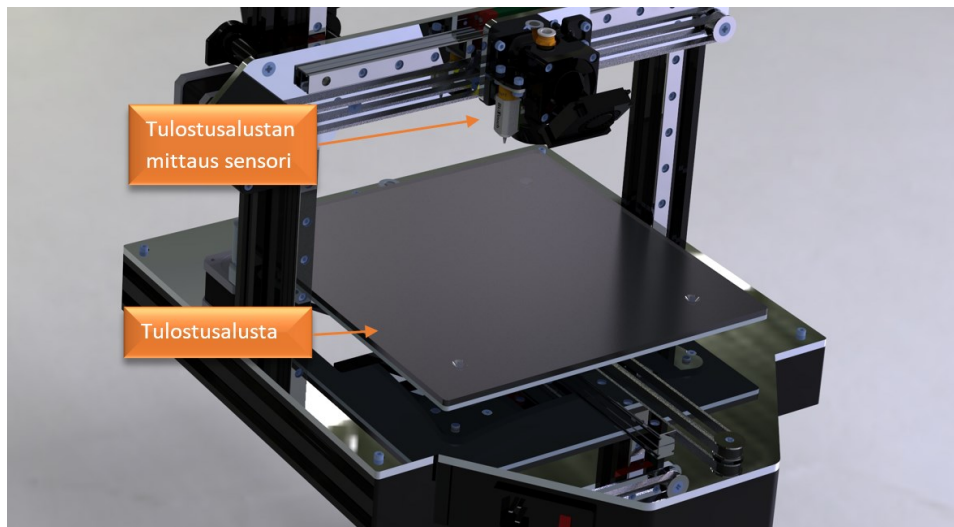
Kuva 15. Suojakotelo lisättynä virtuaalisen 3D-mallin kokoonpanoon.

3.6.5 Tulostusalustan mittaus sensori

Tulostusalustan tasomaisuutta mittaava sensori on yleinen ominaisuus kuluttajien 3D-tulostimissa. Useimmat tulostimet, joissa on automaattinen sensori, käyttävät kontaktivapaata induktiivista sensoria, sillä se on helppo kiinnittää ja määrittää. Induktiivinen sensori toimii kuitenkin vain metallisten alustojen kanssa, mutta ei metalliset tulostusalustat ovat näkymättömiä induktiiviselle sensorille. BLTouch-sensorit ovat loistava vaihtoehto niiden tarkkuuden vuoksi, sillä niissä mittauksen keskihajonta on yksi pienimmistä ja sensorit soveltuvat myös ei-metallisille tulostusalustoille. Alkuperäisen sensorin valmistajan Antclabsin mukaan BLTouch-sensori mittaa tarkasti tulostusalustan pinnan kallistusta. Itse sensori koostuu mikro-ohjaimesta, solenoidikytkimestä ja ulostyöntävästä tunnistimesta, mikä käy koskettamalla mittaamassa tulostusalustaa ja näin sallii erilaisten tulostusalustojen käytön. (Bhavnagarwala, 2020)

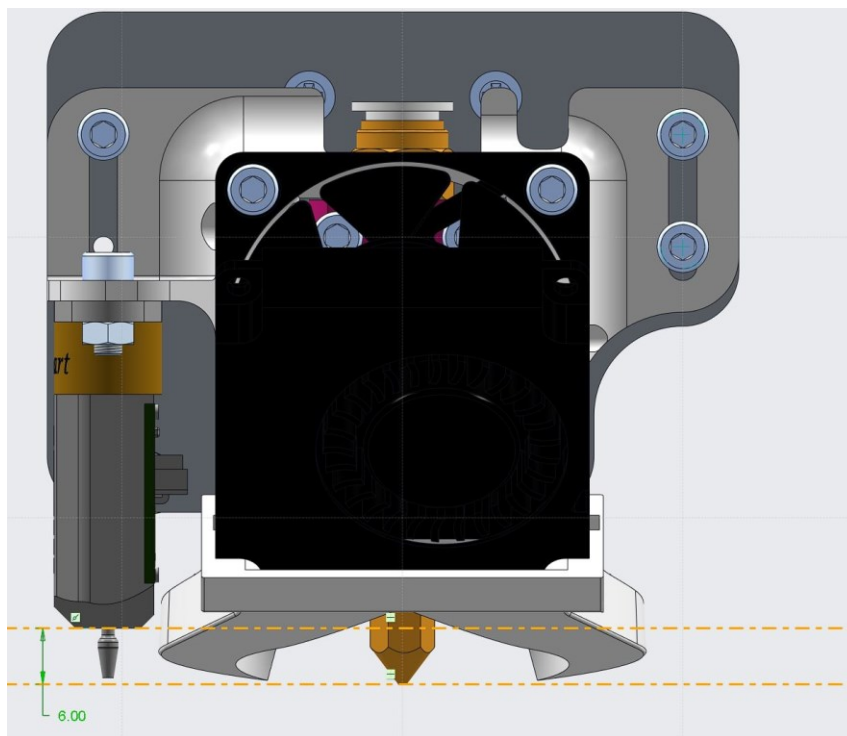
Tulostusalustan tasomaisuutta mittaavan sensorin tulee toimia alustasta riippumatta, minkä vuoksi sensoriksi valikoitui BLTouch-sensori.

Sensorista käytettiin valmistajan sivuilta ladattua 3D-mallia, joka lisättiin virtuaaliseen kokoonpanoon kiinnityksen suunnittelua varten (kuva 16).



Kuva 16. BLTouch-sensori lisättyä virtuaalisen 3D-mallin kokoonpanoon.

Sensorin valmistajan antama toiminnallinen mitta huomioitiin sensorin kiinnityksessä (kuva 17). Sensorin korkeus kuumapään suuttimen kärjestä on kuusi millimetriä, mikä huomioitiin telineen suunnittelussa. Sensorin kiinnitys ja tuulettimille suunniteltu teline on yhdistetty yhdeksi komponentiksi, jonka korkeutta on mahdollista säätää muutamia millijä ovaalireikien ansiosta.



Kuva 17. virtuaalisessa 3D-mallissa esitetty toiminnallinen mitta sensorille.

4 PROTOTYYPIN RAKENTAMINEN

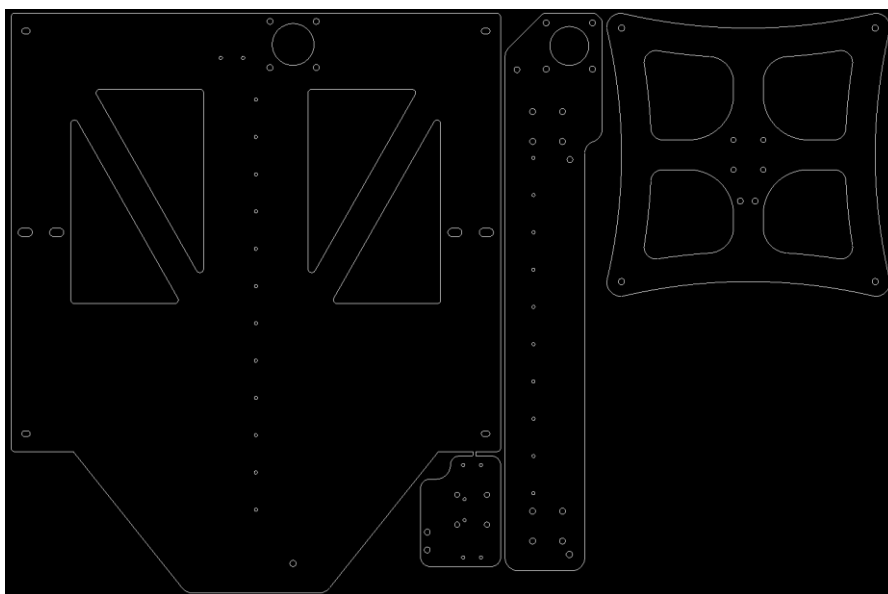
Prototyypin rakentaminen sisältää 3D-mallinnettujen osien materiaalin hankinnan, valmistuksen ja niihin liittyvät esivalmistelutyöt ja laitteen käytön. Standardiosat kuten ruuvit ja mutterit sekä 3D-tulostimen elektroniset komponentit tilattiin pääosin Kiinasta.

4.1 Osien valmistus

3D-tulostimeen mallinnetut levyosat valmistettiin viisi millimetriä paksusta alumiinista. Alumiinilevy saatiin Hämeen ammattikorkeakoulun laboratorioinsinööri Tuukka Roihan hankkimana, Hyria ammattiopistolta, Riihimäen toimipisteestä. Alumiinilevyt leikattiin ammattiopiston vesileikkurilla. 3D-tulostettavia osia varten hankittiin mustaa glykolimodifioitua polyeteenitereftalaattia (PETG), joka on tulostukseen tarkoitettua muovinauhaa.

4.1.1 Vesileikatut osat

Ennen varsinaista vesileikkausta 3D-mallinnetut levyosat muutettiin dxf-tiedostoksi, luomalla uusi virtuaalinen kokoonpano PTC Creo -ohjelmassa. Kokoonpano sisältää 3D-mallit levyosista, jossa katselusuunta on kohtisuorassa levyosien geometriaan nähden, jolloin niiden muodot ovat näkyvissä (kuva 18). Dxf-tiedosto sisältää todellisessa mittakaavassa levyosien muotoviivat, joita vesileikkauslaitteen suutin seuraa. Kokoonpanossa kappaleet sijoiteltiin siten, että materiaali hävikkiä syntyi mahdollisimman vähän ja osien etäisyys toisistaan on vähintään kolme millimetriä. Pienet levyosat kiinnitettiin isompaan levyosaan putoamisen varalta. Virtuaalisen kokoonpanon ollessa valmis tallennettiin se dxf-tiedostoksi.

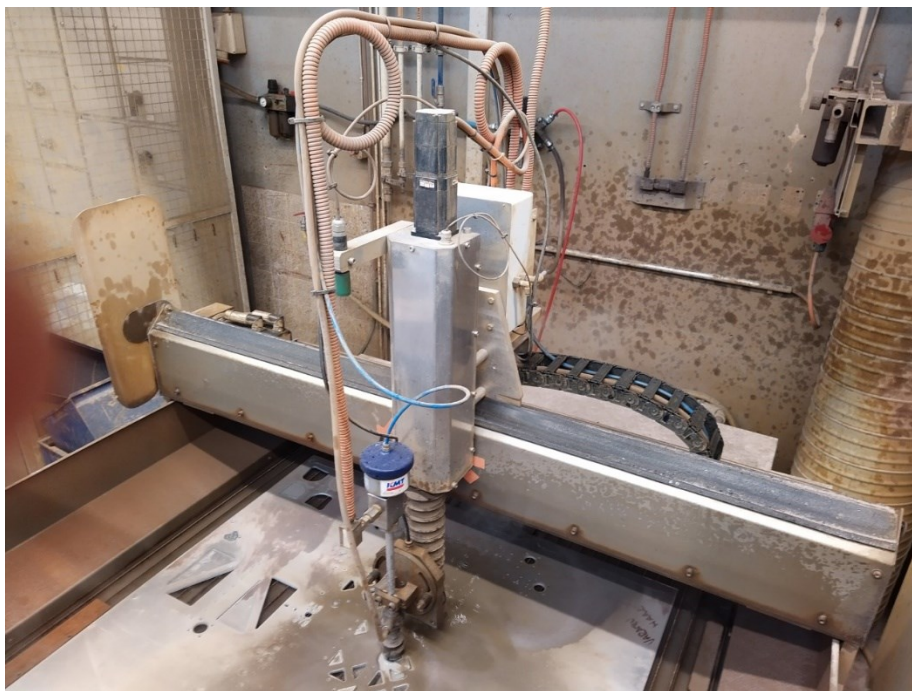


Kuva 18. Näkymä dxf-tiedostosta.

Dxf-tiedosto lähetettiin Hämeen ammattikorkeakoulun laboratorioinsinööri Tuukka Roihalle sähköpostilla. Levyosat noudettiin Hämeen ammattikorkeakoulun tiloista valmiiksi leikattuina, sillä korona pandemian aikana pyrittiin välttämään ihmiskontakteja parhaalla mahdollisella tavalla. Kuvat 19 ja 20 vesileikkausprosessista Hyria ammattiopistolla, Riihimäen toimipisteellä. Kuvaajana ja levyjen leikkaajana toimi Tuukka Roiha.

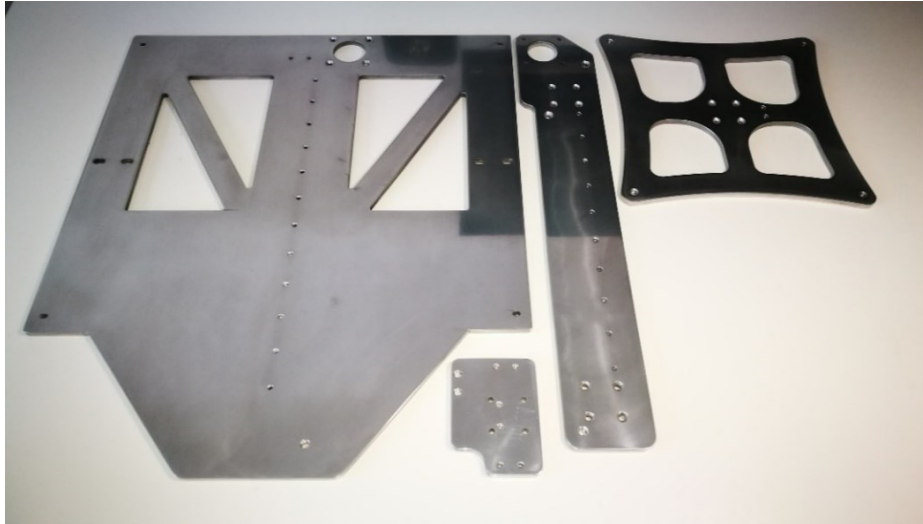


Kuva 19. Hyria ammattiopiston vesileikkauslaite.



Kuva 20. Levyosien vesileikkausprosessi käynnissä.

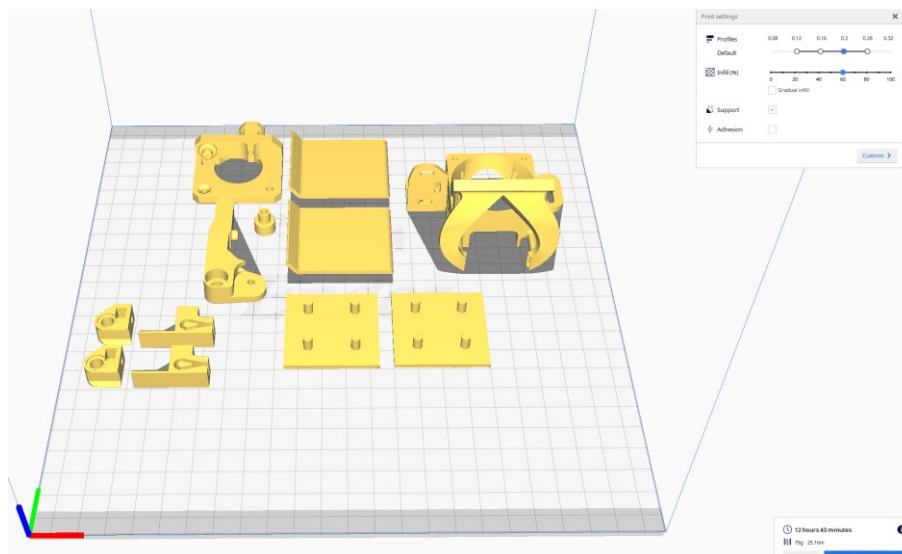
Levyosista poistettiin terävät särmät ja pinnat hiottiin kirkkaiksi (kuva 21). Reiät porattiin lopulliseen mittaan, minkä jälkeen reiät kierteitettiin ja viimeisteltiin poistamalla purseet.



Kuva 21. Levyosat viimeisteltynä.

4.1.2 3D-tulostetut osat

3D-tulostimeen tulostettiin hinnankiristimet, tuuletinteline, langansyöttömekanismi, alumiinisten profiiliputkien tulpat ja virtalähteelle sekä ohjauksortille suojakotelo. 3D-tulostettavat komponentit tallennettiin 3D-mallinnuksen yhteydessä stereolitography (stl) -tiedostoiksi, jotka avattiin viipalointiohjelmalla (kuva 22). Stl-tiedosto on ”kappaleen pintageometrian kolmioverkkoon perustuva esitysmuoto, jota käytetään 3D-geometriatiedon siirtoon laitteelle, jolla kappale valmistetaan” (SFS 52900/2017, s. 12). Viipalointiohjelmana käytettiin ilmaista Ultimaker cura -ohjelmaa, joka on tarkoitettu 3D-tulostus käyttöön.

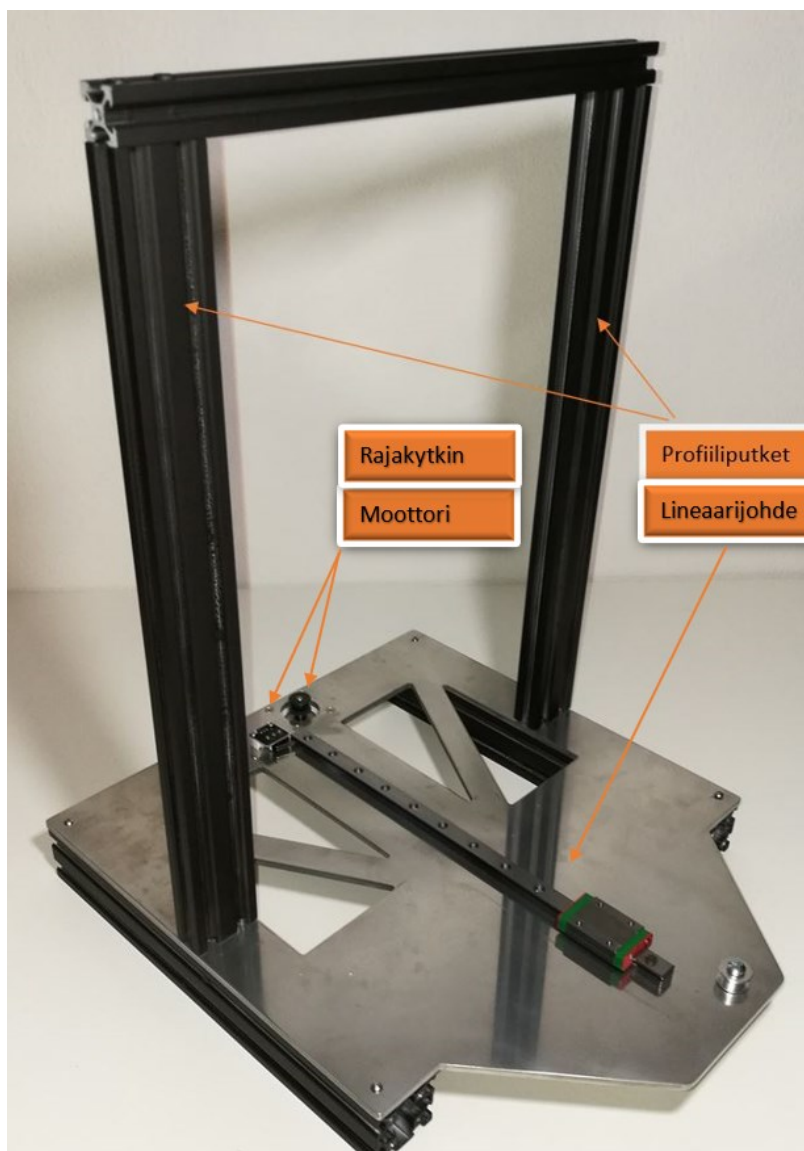


Kuva 22. Näkymä cura-viipalointiohjelmassa.

Osat aseteltiin cura-viipalointiohjelmassa halutulla tavalla, minkä jälkeen viipalointiohjelma loi osista tekstitiedoston. Tekstitiedosto sisältää tarvittavan g-koodin tulostimelle tulostusta varten. Tulostamiseen meni kokonaisuudessa aikaa noin 33 tuntia yhdellä 3D-tulostimella tulostamalla.

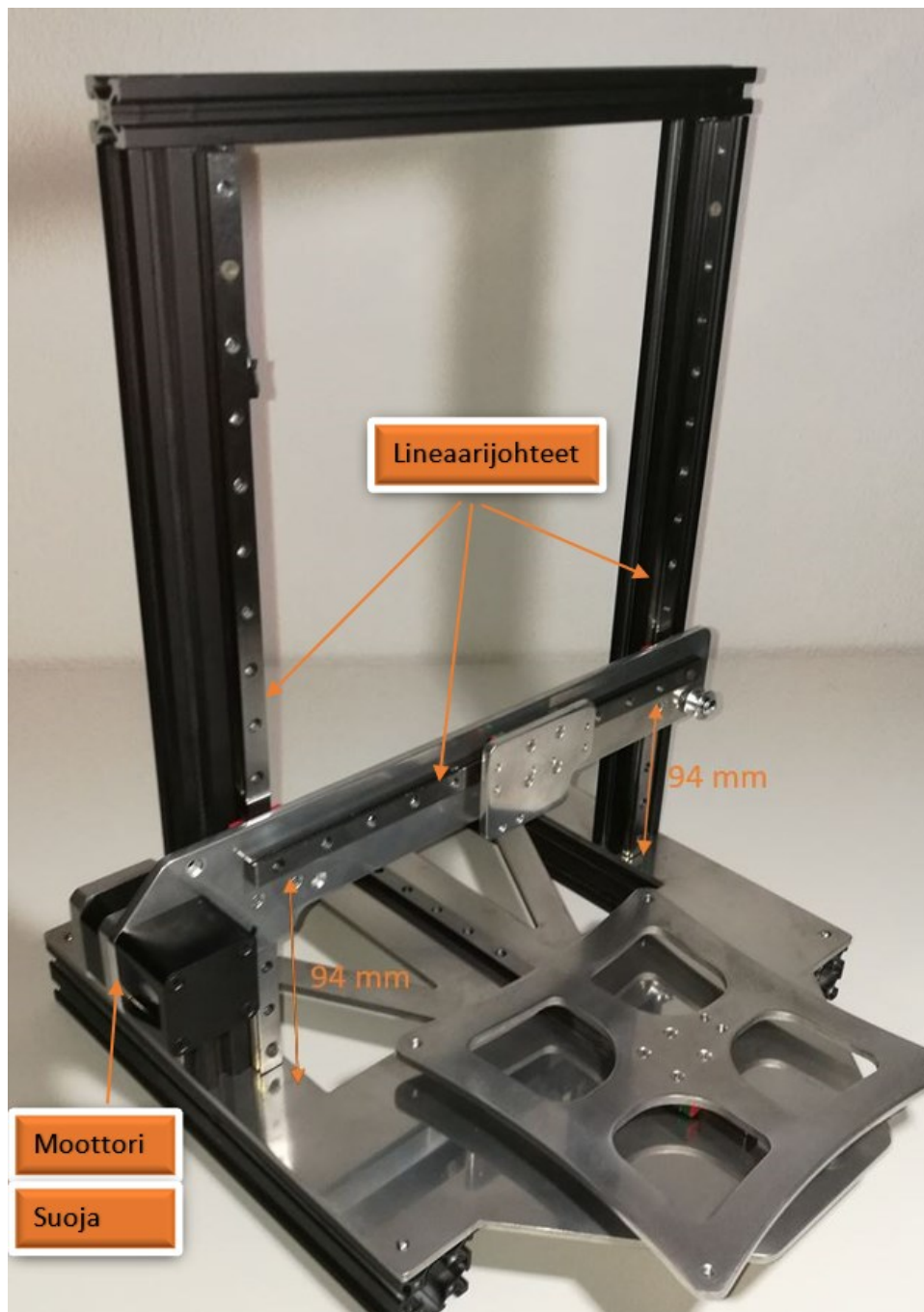
4.2 Kokoonpano

Prototyypin kokoaminen aloitettiin kokoonpanemalla runko (kuva 23). Runkoa kokoonpantaessa on tärkeää, että pystyssä olevat profiiliputket ovat yhdensuuntaiset, koska profiiliputkiin kiinnitetään lineaarijohteet ja niiden täytyy liikkua samanaikaisesti ääriasentoihin jouhevasti, johteiden välisen etäisyyden ollessa sama koko liikkeen ajan. Profiiliputkien etäisyys toisiinsa mitattiin ylä- ja alapäistä, jolla tarkastettiin yhdensuuntaisuus. Profiiliputkien kohtisuoruus vesileikatun alumiinilevyn kanssa tarkastettiin 90 ° kulmamitalla. Y-akselin lineaarijohde, moottori ja moottorin rajakytkin lisättiin kokoonpanoon ruuviliitoksilla.



Kuva 23. Prototyypin runko kokoonpantuna.

Seuraavaksi kokoonpanoon lisättiin x- ja z-akselien lineaarijohteet, vesileikatut alumiinilevyt, askelmoottori ja moottorin akselisuoja, jonka sisälle kiinnitettiin rajakytkin (kuva 24). Lineaarijohteiden vaunuja liikuteltiin käsin x-, y- ja z-akseleilla, jolla tarkastettiin vaunujen vaivaton liikkuminen ääriasetoihin. X-akselilla kulkevan lineaarijohteen etäisyys tulostusalustaan mitattiin johteen molemmista päistä, jolla varmistettiin johteen ja tulostusalustan kohtisuoruus, mittaustulosten ollessa 94 mm molemmissa päissä.



Kuva 24. X- ja z-akselien komponentit kokoonpantuna.

Virtalähde ja ohjauskortti sijoitettiin prototyypin pohjaa, 3D-tulostetun suojakotelon sisään kiinnittämällä ne ruuviliitoksilla (kuva 25).

Tarvittavat kytkennät tehtiin virtalähteeseen ja ohjauskorttiin valmistajien ohjeiden mukaisesti. Kytkentöjen johdoissa käytettiin yksirivisiä napaliittimiä. Lopuksi suojakotelo suljettiin 3D-tulostetun kansilevyn avulla.



Kuva 25. Virtalähde ja ohjauskortti kiinnitettynä prototyypin pohjaan suojakotelon sisään.

X- ja y-akselin loput komponentit kuten kuumapää, tuulettimet, lämmityslevy, tulostusalusta, BLTouch-sensori, hihnat ja hihnankiristimet lisättiin kokoonpanoon kiinnittämällä ne niille kuuluville paikoille. Z-akselin moottori kiinnitettiin runkoon ja moottoriin kiinnitettiin trapetsikierretanko kytkimen avulla. Myös langansyöttömekanismi kokoonpantiin ja kiinnitettiin moottoriin.

4.3 Sensorin määrittäminen

Github verkkosivulta ladattiin valmis laiteohjelmiston koodi, joka on tarkoitettu SKR MINI E3 -ohjauskortille. Laiteohjelmiston koodia oli muokattava muutamassa kohdassa sensorin käyttöönottamiseksi. Lähdekoodieditorina käytettiin Visual Studio Code -ohjelmaa.

BLTouch-sensori määritetään aktiiviseksi poistamalla kaksi kauttaviivaa "define BLTOUCH" komennon edestä configuration.h välilehdellä. (Bhavnagarwala, 2020)

Seuraavana on määriteltävä sensorin paikoitus, eli etäisyys suuttimesta käyttämällä x- ja y-koordinaatteja, jotka on mitattava sensorin asennuksen yhteydessä. Z-suunnan etäisyyden määrittäminen voi olla hieman hankala, sillä sensorin mittatikku ylettyy suuttimen alapuolelle, kun se työntyy ulos mitausasemaan. Koska mittatikku työntyy suuttimen alapuolelle, täytyy siirtymän arvon olla negatiivinen luku. On suositeltavaa asettaa luku -2.5 turvallisuuden vuoksi ja lähteä säätämään todellista lukua sieltä. (Bhavnagarwala, 2020)

Sensorin paikoituksen määrittämiseksi mitattiin x- ja y-koordinaateiksi 31.5 ja 9 millimetriä. Z-koordinaatiksi asetettiin suositeltu luku, joka myöhemmin muutettiin oikeaan arvoon. Lukuja määriteltäessä huomattiin ohjeistavasta tekstistä lähdekoodieditorissa, x- ja y-koordinaattien lukuarvojen olevan negatiivisia, sillä sensorin sijainti on suuttimen edessä vasemmalla (kuva 26).

```

892  /**
893   * Z Probe to nozzle (X,Y) offset, relative to (0, 0).
894   *
895   * In the following example the X and Y offsets are both positive:
896   *
897   * #define NOZZLE_TO_PROBE_OFFSET { 10, 10, 0 }
898   *
899   *   +-+ BACK ---+
900   *   |               |
901   * L |   (+) P   | R <-- probe (20,20)
902   * E |               | I
903   * F |   (-) N (+) | G <-- nozzle (10,10)
904   * T |               | H
905   *   |   (-)   | T
906   *   |               |
907   *   0-- FRONT --+
908   *   (0,0)
909   *
910   * Specify a Probe position as { X, Y, Z }
911   */
912  #define NOZZLE_TO_PROBE_OFFSET { -31.5, -9, -2.31 }

```

Kuva 26. Koordinaattien lukuarvot määriteltynä lähdekoodiin.

Seuraavassa vaiheessa määritellään tulostusalustan mittaustapa. vaihtoehtoina on viisi erilaista mittaustapaa, joista valitaan vain yksi. Poistamalla kauttaviivat mittaustavan edestä valitaan kyseinen mittaustapa. Bilineaarista-menetelmää suositellaan käytettäväksi, sillä se on vaihtoehtoista helppoin. Bilinearisessa-menetelmässä voidaan asettaa mitattavien ruudukko pisteiden määrä, mutta oletusarvoisesti se on asetettu yhdeksään pisteeseen. Pisteiden lukumäärän kasvattaminen parantaa mittaustulosta, mutta samalla mittaukseen käytetty aikaa kasvaa. (Bhavnagarwala, 2020)

Aktiiviseksi mittaustavaksi valittiin bilineaarinen-menetelmä poistamalla kauttaviivat mittaustavan edestä (Kuva 27). Mittauspisteiden lukumääränä käytettiin oletusarvoista yhdeksää pistettä.

```

1153  //#define AUTO_BED_LEVELING_3POINT
1154  //#define AUTO_BED_LEVELING_LINEAR
1155  #define AUTO_BED_LEVELING_BILINEAR
1156  //#define AUTO_BED_LEVELING_UBL
1157  //#define MESH_BED_LEVELING

```

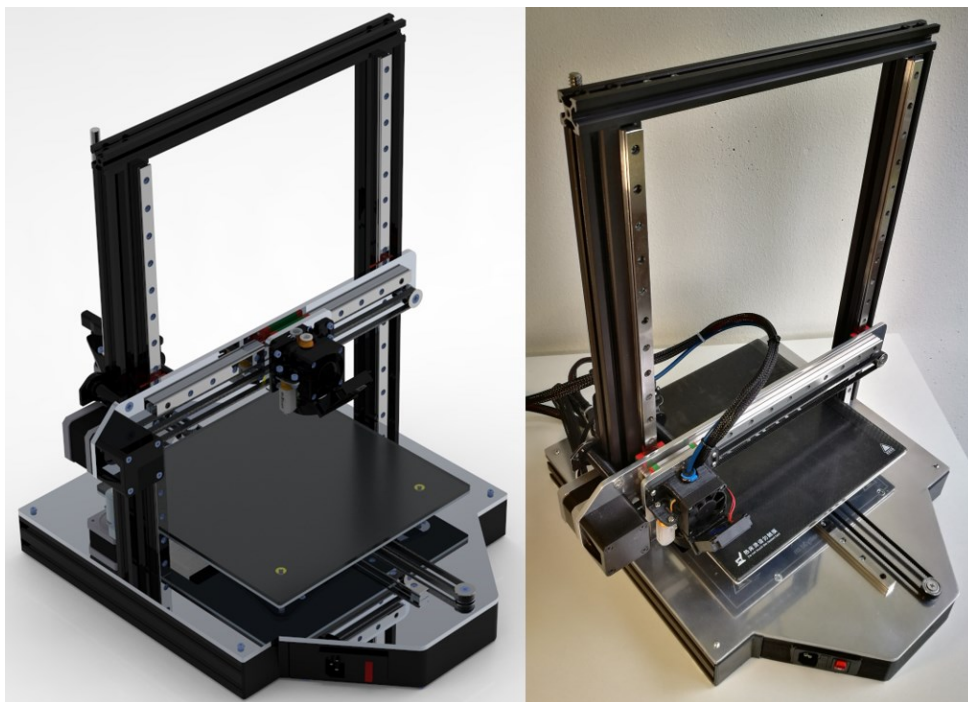
Kuva 27. Mittaustavan valinta.

5 TULOKSET

Tuloksissa esitetään valmis virtuaalinen 3D-malli ja prototyyppi. Prototyypillä testataan BLTouch-sensorin toimintaa tulostamalla testikappale. Testikappaleesta arvioidaan ensimmäisen pursotetun kerroksen kiinnittymistä tulostusalustaan ja tulostuksen aikana mitattiin laitteen äänenvoimakkuutta.

5.1 3D-malli ja prototyyppi

Virtuaalisesta 3D-mallista renderöitiin fotorealistinen kuva PTC Creo -ohjelmalla, jota verrattiin prototyyppiin (kuva 28). Renderöity kuva sisältää kaikki tulostimeen kuuluvat komponentit, paitsi tulostusnauhanohjausputken ja virtajohdot. Renderöidyn kuvan komponenteille määriteltiin oikean materiaalin ulkonäköä muistuttavat pinnat sekä virtuaalisen ympäristön valotus lisättiin kohdentamalla se 3D-malliin, jolloin kuvasta saatiin realistisempi.



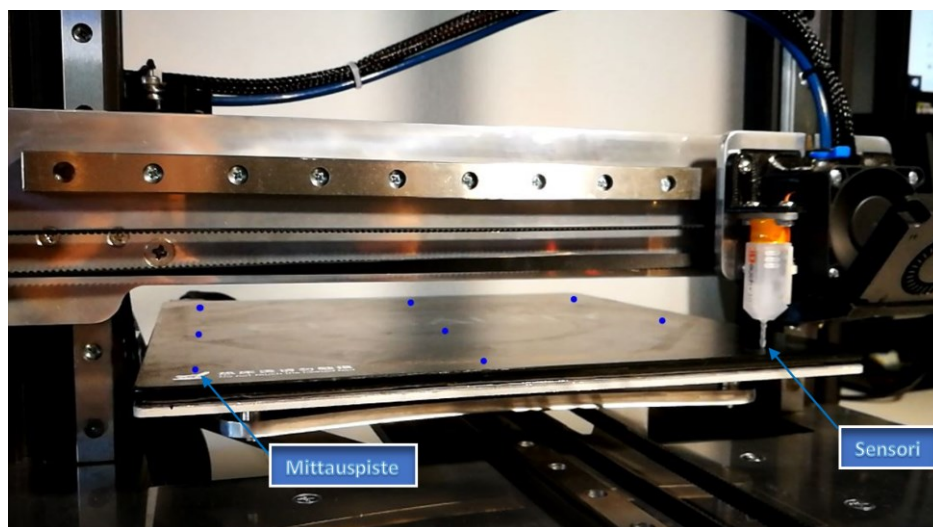
Kuva 28. Vasemmalla 3D-tulostimen virtuaalinen 3D-malli ja oikealla prototyyppi.

Prototyyppi on, virtuaalisen 3D-mallin pohjalta rakennettu ensimmäinen fyysinen 3D-tulostin, jonka tulostusala on 235 mm^2 ja sillä voidaan tulostaa 260 mm korkeita kappaleita. Prototyypissä on automaattinen tulostusalustan tasomaisuutta mittaava sensori, joka mittaa tulostusalustan korkeuseroja yhdeksässä eri pisteessä, ottaen huomioon korkeuden muutokset tulostuksen aikana.

Kuumapää voidaan lämmittää 250 °C ja tulostusalusta 110 °C, jolloin prototyypillä voidaan tulostaa yleisimpiä tulostusmateriaaleja, kuten glykolimodifioitua polyetyleenitereftalaattia (PETG), polypropeenaa (PP), polylaktidia (PLA) ja matalan sulamispisteen omaavia akrylinitriilibutadieenisyreenia (ABS) muoveja. Prototyypin ulkomitat ovat sopivat kuluttaja käyttöön tarkoitetuissa laitteissa, sillä sen korkeus on 465 mm, leveys 370 mm ja syvyys 390 mm, jolloin se voidaan sijoittaa esimerkiksi tietokonepöydälle.

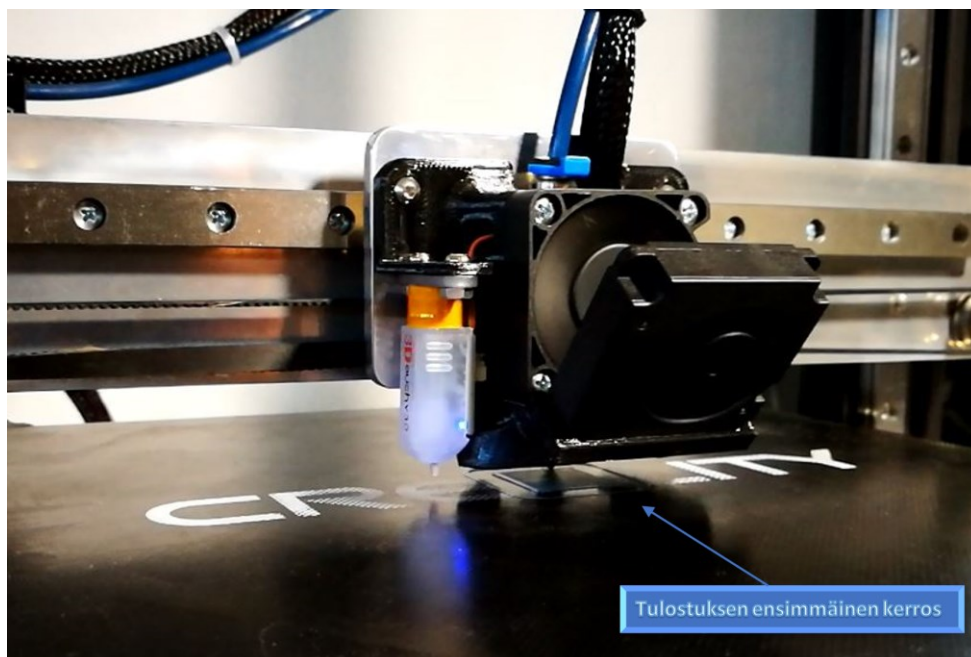
5.2 Prototyypin testaus

Prototyyppiä testattiin 3D-tulostamalla. Testikappaleeksi valittiin thingiverse-verkkosivulta ladattu calibration cube-tiedosto. Testikappale asetettiin cura-viipalointiohjelmaan, missä tulostus nopeudeksi asetettiin 70 mm/s. Testikappale tulostettiin glykolimodifioidulla polyetyleenitereftalaatti (PETG) muovinauhalla. Muovinauhan tulostuslämpötilaksi asetettiin 230 °C, joka on suositeltu lämpötilan asetus kyseiselle tulostusnauhalle. Tulostuksen alussa sensori mittasi asetetut yhdeksän pistettä, jonka jälkeen varsinainen tulostus alkoi.



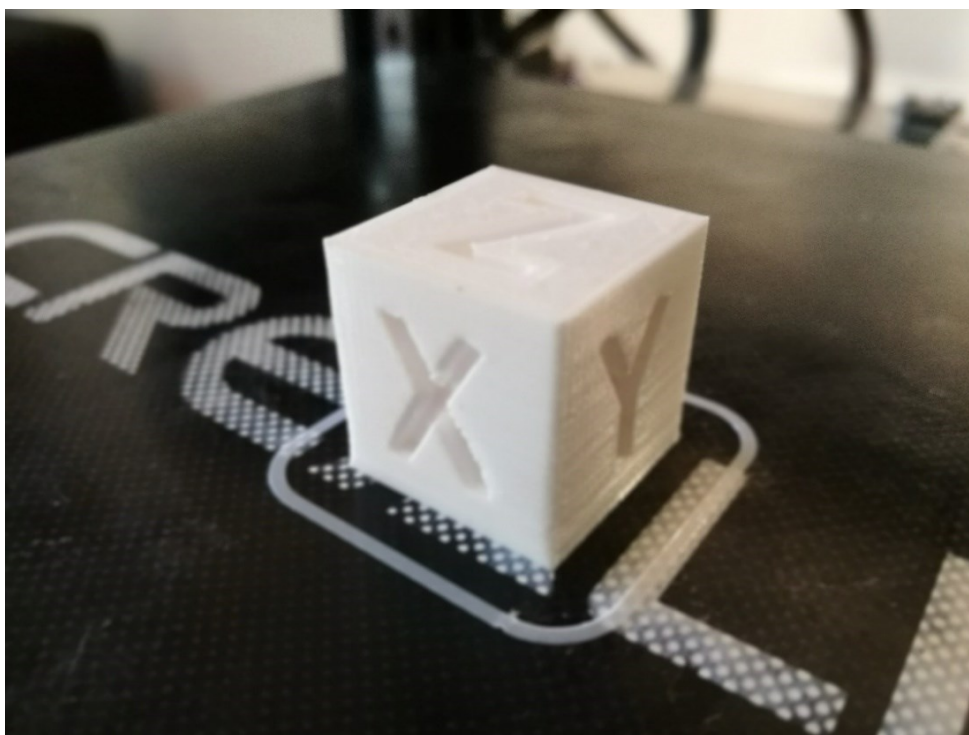
Kuva 29. Havainnollistava kuva mittauspisteiden kohdista.

Ensimmäisestä pursotetusta kerroksesta arvioitiin suuttimen ja tulostusalustan etäisyys toisistaan, havainnoimalla pursotuksen kiinnittymistä tulostusalustaan (kuva 30). Ensimmäisen kerroksen kiinnittyessä tulostusalustaan hyvin ja muodostaen hieman kupupintaisen pursotuksen on suuttimen ja tulostusalustan välinen etäisyys sopiva.



Kuva 30. Tulostuksen ensimmäinen kerros.

Prototyypillä tulostettiin onnistuneesti ensimmäinen testikappale. Kuvassa 31 on valmis testikappale, jonka tulostamiseen kului aikaa 33 minuuttia.



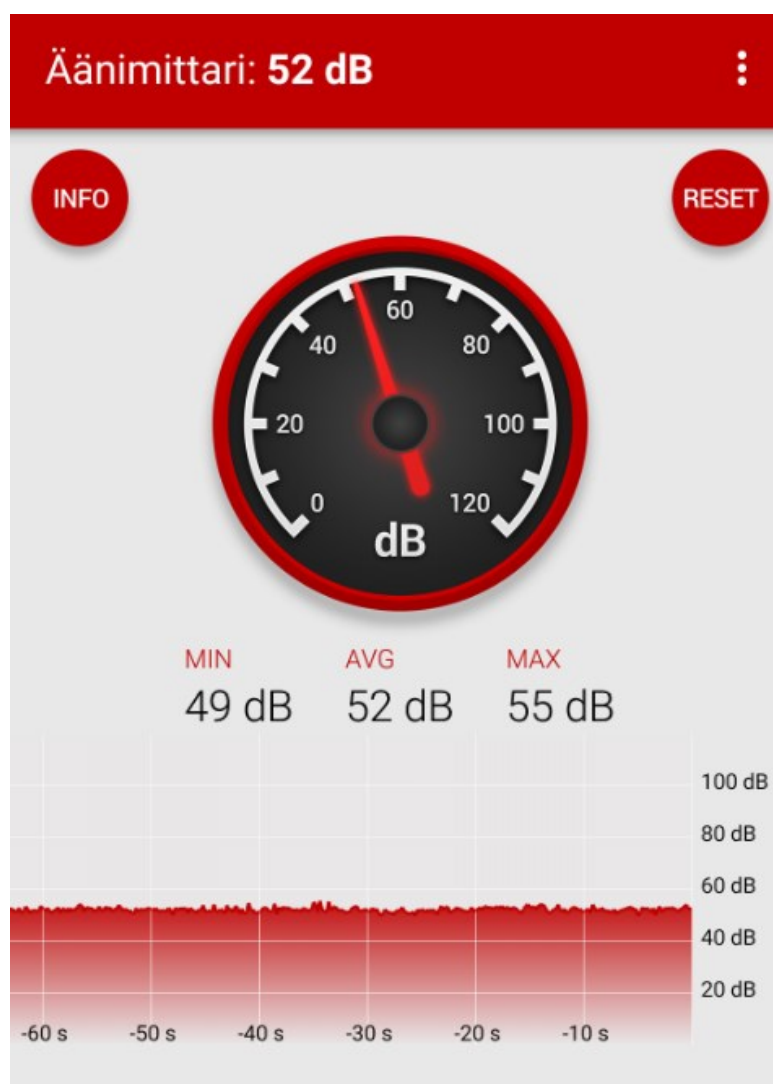
Kuva 31. Testikappale tulostettuna.

5.3 Hinta

Prototyypin valmistushinnaksi muodostui 250 euroa. Prototyypin kokoonpanossa käytettiin hyödyksi jo olemassa olevia komponentteja kuten rungon profiiliputket, lämmitettävä alumiinilevy, trapetsikierretanko ja 90° kulmaan taivutettu alumiinilevy. Vesileikatut alumiinilevyt saatiin Hämeen ammattikorkeakoulun tarjoamana opinnäytetyöhön, jolloin materiaaleista ja vesileikkauksesta ei syntynyt kuluja.

5.4 Desibelimitaus

Prototyypin äänenvoimakkuutta mitattiin tulostuksen yhteydessä desibelimitarilla (kuva 32). Mittaus suoritettiin noin 15 senttimetrin etäisyydeltä, 60 sekunnin ajan tulostus nopeuden ollessa 70 mm/s. Mittauksen keskiarvoksi saatiin 52 desibeliä ja suurin mitattu tulos oli 55 desibeliä.



Kuva 32. Desibelimitauksen tulokset.

5.5 Käyttöönnoton yhteenveto

Visuaalisesti prototyyppi vastaa virtuaalista 3D-mallia erittäin hyvin. Käyttöönotto sujui hyvin muutamaa lisämäärittystä huomioimatta, kuten BLTouch-sensorin mittauspisteiden havaittiin aluksi olevan osittain tulostusalustan reunojen ulkopuolella, joka korjattiin muuttamalla tulostusalustan paikkaa määrittäviä parametreja lähdekoodieditorissa. Tulostusalustan ja suuttimen välinen lopullinen etäisyys kalibroitiin tarkasti käyttämällä Pronterface -ohjelmaa ja lopulliset parametrit tallennettiin lähdekoodiin. Pronterface on 3D-tulostimen kanssa kommunikoiva ohjelma, jolla pystytään säätämään tulostimen eri parametreja tietokoneen välityksellä ja tallentamaan muutokset suoraan ohjaukskortin lähdekoodiin.

Suojakotelossa sijaitseva kolo (Kuva. 15), johon muistikortti ja USB-liitäntä on mahdollista liittää, havaittiin olevan hiukan pieni. Muistikortti ja USB-liitäntä on kuitenkin mahdollista kytkeä, mutta vaatii tarkkuutta onnistuakseen. Kuitenkin kytkennät on mahdollista tehdä, mutta suunnittelemalla kolosta isompi olisi se 3D-tulostimen helppokäyttöisyyden kannalta parempi ratkaisu.

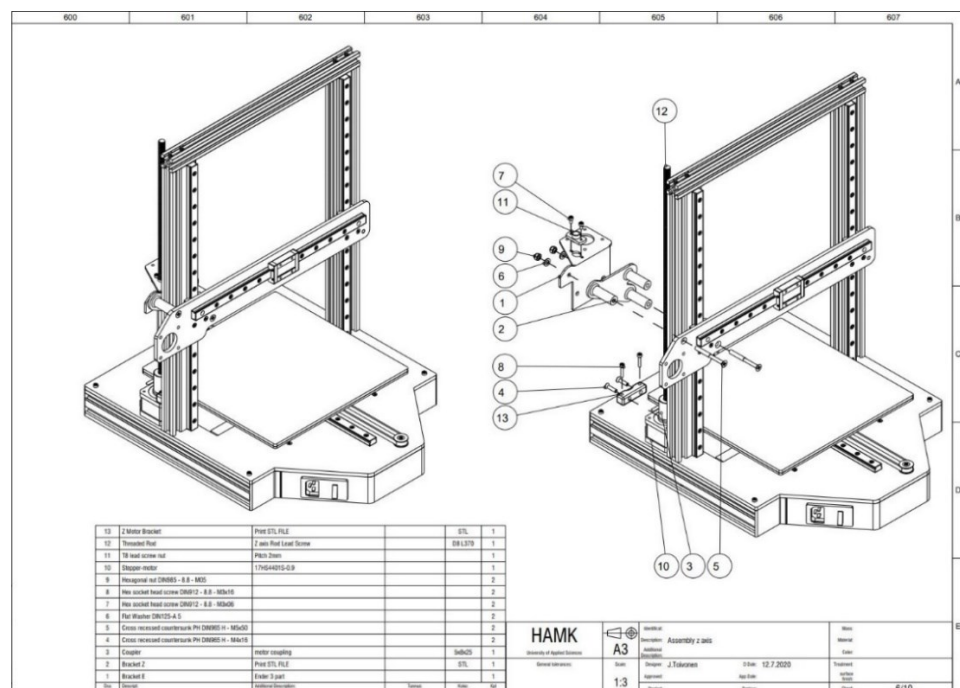
Pursotetun tulostusnauhan tarttuvuus tulostusalustaan oli erinomainen ja yllättävää oli tulostimen hiljaisuus. Moottoreiden liikkeistä ei juurikaan havaittu äänekkyyttä, vaan desibelimittauksen aikana kovimmat äänet syntyivät tuulettimista. Yllättävää oli myös testikappaleen hyvä pinnanlaatu tulostusnopeuden ollessa kohtalaisen nopea, eikä haamukuvan syntymistä erottanut silmämääräisesti kyseisestä kappaleesta. Kokonaisuudessaan käyttöönotto sujui mallikkaasti, eikä vaatinut erityisiä ponnisteluja laitteen toiminnan varmistamiseksi. Prototyyppi havaittiin toimivaksi ja helppokäyttöiseksi 3D-tulostimeksi.

6 TIEDOSTOJEN JULKAISU

3D-tulostimen piirustukset ja tiedostot julkaistiin Hämeen ammattikorkeakoulun lehtori Jaakko Vaskon innoittamana thingiverse-verkkosivulle. Thingiverse on sivusto, missä 3D-tulostamisesta kiinnostuneet käyttäjät voivat vapaasti jakaa omia luomuksiaan. Verkkosivulle julkaisua varten luotiin 3D-tulostimen komponenteista tarvittavat tekniset piirustukset, ohjeelliset kokoonpanopiirustukset ja osaluettelot, mitä seuraamalla tulostin on mahdollista rakentaa.

6.1 Kokoonpanopiirustukset

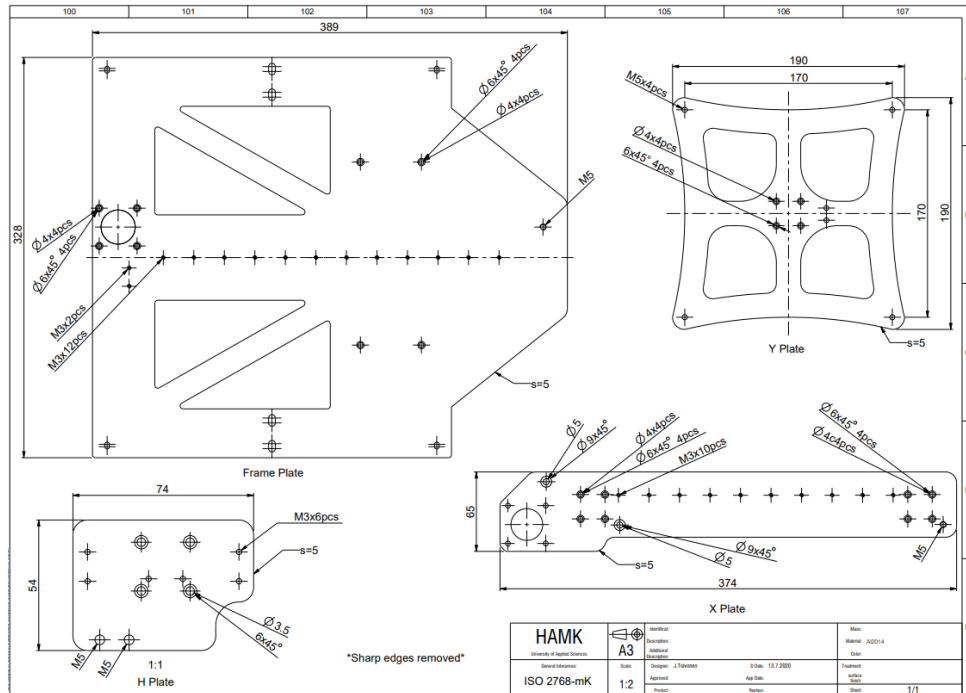
Ohjeellisia osakokoonpanopiirustuksia luotiin kymmenen kappaletta, joissa esitetään vaiheittain 3D-tulostimen kokoonpano. Yhden osakokoonpanopiirustuksen luomiseksi tehtiin virtuaalinen 3D-malli ja mallista räjäytyskuva, PTC Creo -ohjelmalla. Räjäytyskuvassa on osoitettu osien kiinnitys ja osanumeroinnit, jotka vastaavat osaluetteloon määriteltyjen osien numerointiin. 3D-mallista luotiin piirustus, jossa esitetään 3D-malli ja räjäytyskuva (kuva 33). Osakokoonpanot tallennettiin yhdeksi pdf-tiedostoksi, joka sisältää kymmenen osakokoonpanopiirustusta, oikeassa kokoonpanojärjestyksessä.



Kuva 33. Osakokoonpano z-akselin kokoonpanosta.

6.2 Tekniset piirustukset

Alumiinisista levyosista luotiin tekninen piirustus (kuva 34). Piirustukseen mitoitettiin levyosien päämitat ja tarvittavat kierteet sekä viisteet, jotka on tarkoitus tehdä termisen leikkauksen jälkeen. Piirustukseen lisättiin termisen leikkauksen yleistoleranssi ja materiaaliksi määriteltiin alumiini.



Kuva 34. Tekninen piirustus alumiinilevyistä.

6.3 Julkaisu

Ennen varsinaista julkaisua luotiin käyttäjätunnukset thingiverse-verkkosivulle. Julkaisuun lisättiin kaikki tarvittavat tiedostot 3D-tulostimen valmistamiseksi kuten tekniset piirustukset, kokoonpanokuvat, osaluettelot, 3D-tulostettavat stl-tiedostot, dxf-tiedosto, valmiiksi muokattu laitekoodi SKR MINI E3 -ohjainkortille ja kuvia renderöidystä 3D-mallista sekä prototyyppistä. 3D-tulostin esiteltiin julkaisun yhteenvedossa, joka sisältää ohjeistavaa tekstiä muun muassa alumiinilevyjen valmistusmenetelmästä ja dxf-tiedoston mittakaavasta. Kuvassa 35 näkymä julkaisun etusivulta.

LIKE →

Comment

Post a Make →

Watch

Remix it →

Copy Link

Tip Designer

About Thingiverse · Legal · Privacy Policy · Contact Us · Developers
© 2020 MakerBot Industries, LLC

Thing Details

17 Thing Files

0 Comments

0 Makes

0 Remixes

3 Apps

Ad to Support Thingiverse

Why do we show ads on Thingiverse?

Contents

Summary

Report Thing

Back to Top

Summary

This is my engineering thesis. I design and build 3D printer wich fit in ender 3 frame. Alternatively, aluminum profile tubes can be easily made by 4040, 2040 & 2020 profiles if necessary.

Needed aluminium profiles:
4040 x 290mm x 2pcs
2040 x 400mm x 2pcs
2020 x 330mm x 1pcs

Printer use MGN12H linear rails to guarantee print quality by no reconance.

5mm Aluminium Plates is manufacturing by water cutting method. DXF-file include aluminium plates 1:1 scale and are ready to cut by the thermal cutting method. I recommend the water cutting method. Drawing from aluminium plates added to locate thread and holes after cutting.

Instruction of assembly will find in 10 sheet pdf format. single sheet show subassembly phase and bil of material.

Added stl files for 3D printed parts:

Desing idea for extruder and bowden attachment is from "Design prototype test" youtube video: (<https://www.youtube.com/watch?v=zJ26DD9tk6w>)

I used super simple belt tensioners. Designed by berk93. <https://www.thingiverse.com/thing:1784375>

Firmware.bin file for skr mini e3 mainboard. recommend to calibrate z offset by pronterface. z offset is set to -2.5 for safety.

Planning new cover for the powersupply and motherboard. Connection changes are likely for the power supply and motherboard

Kuva 35. Näkymä julkaisun etusivulta.

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä perehdyttiin materiaalia pursottavan laitteen suunnitteluun ja virtuaalisen 3D-mallin luomiseen, jonka pohjalta on mahdollista rakentaa toimiva prototyyppi. Työssä onnistuttiin esittämään suunnittelun ja 3D-mallinnuksen keskeiset kohdat, jotka täytyy ottaa huomioon 3D-tulostinta suunnitellessa. 3D-tulostimen suunnitteluun ja rakentamiseen liittyy paljon asioita, jotka tulee huomioida. Opinnäytetyöhön olisi voinut sisällyttää paljon suunnittelun ja kokoonpanon eri vaiheita, mutta tavoitteena oli kuitenkin esittää keskeisimmät kohdat ja rajata työ oleellisiin asioihin.

Vesileikattujen alumiinilevyjen ja 3D-tulostettujen komponenttien hinnan arviointi olisi tukenut opinnäytetyötä. Arvioimalla hinta, olisi saatu todennukainen kustannusarvio laitteen rakentamista varten julkaisuun verkkosivulle.

Tavoitteena oli tehdä ymmärrettävä ja tiivis kokonaisuus prototyypin käyttöönotosta. Tavoite oli osoittaa vaiheittain opinnäytetyöprojektin eri vaiheet, suunnitelmasta kohti fyysistä prototyyppiä, johon sisältyisi uusimpia markkinoille tulleita sovelluksia kuten tulostusalustan tasomaisuutta mittaava sensori ja sen määrittäminen. Tavoite oli luoda selkeästi noudatettavat ohjeet prototyypin kasaamista varten, jotta kuka tahansa tulostinta kasaava onnistuisi siinä. Tavoitteiden saavuttaminen onnistui hyvin, sillä tuloksena on fyysinen toimiva laite, jossa siihen määritetyt sovellukset toimivat ja helpottavat laitteen käyttöä. Syventymättä liikaa pieniin yksityiskohtiin opinnäytetyö selventää asiat kattavasti.

Tulevaisuudessa 3D-tulostinta on helppo päivittää, sillä virtuaalinen 3D-malli tulostimesta on olemassa, johon pienet muutokset on mahdollista tehdä helposti ja lisätä kokoonpanoon. Uusia ideoita on jo suunnitteilla, kuten tulostusnauhan sensorin lisääminen kokoonpanoon. Sensorin avulla ei tarvitse huolehtia tulostusnauhan loppumisesta, sillä tulostusnauhan loppuessa 3D-tulostimen kuumapää siirtyy odotuspisteeseen, kunnes uusi tulostusnauha on vaihdettu ja syötetty sensorin läpi. Tulostimen päivityksiä on mahdollista seurata thingiverse-sivustolta, osoitteesta: <https://www.thingiverse.com/thing:4540897>.

LÄHTEET

All3DP. (2020). A warped 3D print is a wasted 3D print. 3D print warping. Haettu 1.6.2020 osoitteesta <https://all3dp.com/2/3d-print-warping-what-it-is-how-to-fix-it/>

Alonen, A., Alonen, L. & Hietikko, E. (2016). Lisäävän valmistuksen perusteet. Savonia-ammattikorkeakoulun julkaisusarja, Savonia-ammattikorkeakoulu. Haettu 1.6.2020 osoitteesta <http://urn.fi/URN:ISBN::978-952-203-221-8>

Barcellona, J. (2016). Exploring 3D printing at the dme. Haettu 19.5.2020 osoitteesta <https://medium.com/@JerBarcellona/exploring-3d-printing-at-the-dme-the-future-of-manufacturing-40359d895dda>

Bhavnagarwala, H. (2020). BLTouch Sensor Guide: All you need to know. Haettu 14.6.2020 osoitteesta <https://all3dp.com/2/bltouch-sensors-guide/>

Grames, E. (2018). 3D Printer power supply - How to choose the right one. Haettu 12.5.2020 osoitteesta <https://all3dp.com/2/3d-printer-power-supply-how-to-choose-the-right-one/>

Kondo, H. (2019a). 3D Printing: Ghosting / Ringing - 3 easy fixes. Haettu 17.5.2020 osoitteesta <https://all3dp.com/2/3d-printer-ringing-easy-fixes/>

Kondo, H. (2019b). 5 Best 3D printer Extruder Hot Ends. Haettu 1.6.2020 osoitteesta <https://all3dp.com/1/best-3d-printer-hot-ends/>

Kondo, H. (2019c). Linear rail 3d printer: Really better or just a hype. Haettu 19.5.2020 osoitteesta <https://all3dp.com/2/linear-rail-3d-printer-really-better-or-just-a-hype/>

Obudho, B. (2018). 3D printer axis: The basics - Simply explained. Haettu 24.5.2020 osoitteesta <https://all3dp.com/2/3d-printer-axis-all-you-need-to-know/>

RepRap. (2018). Heated Bed. Introduction. Haettu 1.6.2020 osoitteesta https://reprap.org/wiki/Heated_Bed#Firmware

Rigid. (n.d). Vibrations and 3D printing ringing. 44 issues explained. Haettu 17.6.2020 osoitteesta <https://rigid.ink/pages/ultimate-troubleshooting-guide#issue-vibrations-and-3d-printing-ringing-31>

Gibson, I. Rosen, D. W. & Stucker, B. (2015) Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping and Direct Digital Manufacturing, Second Edition, New York, USA: Springer Science + Business Media. 498 s. ISBN: 978-1-4939-2112-6

SFS 52900 (2017). Materiaalia lisäävä valmistus. Yleiset periaatteet. Terminologia. SFS Online. Haettu 29.7.2020 osoitteesta <https://online.sfs.fi>

Yeap, M. (2019). 5 Best 3D Printer Controller Boards. Haettu 01.06.2020 osoitteesta <https://all3dp.com/2/5-fantastic-3d-printer-controller-boards/>