

3D-tulostimen päivittäminen



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Riihimäen kampus, konetekniikka

Kevät, 2021

Jonne Kuusisto

TIIVISTELMÄ

Tässä opinnäytetyössä päivitettiin ja kokeellisesti parannettiin materiaalia pursottavan 3D-tulostimen ominaisuuksia.

Opinnäytetyön tavoitteina oli päivittää sekä kokeellisesti parantaa budjettiluokan 3D-tulostimen lukuisia osa-alueita ja ominaisuuksia. Päivitysten kohteeksi valittiin edullinen ja alkuperäiskuntoinen 3D-tulostin, jolla voitiin tulostaa vain yleisimpiä tulostusmateriaaleja. opinnäytetyössä keskityttiin 3D-tulostimeen tehtäviin muutoksiin, komponenttien toimintoihin ja valintaan, laiteohjelmiston muokkaamiseen sekä valmistettaviin osiin. osien suunnittelussa käytettiin PTC Creo 4.0 mallinnusohjelmaa ja osat valmistettiin termisellä leikkausmenetelmällä tai 3D-tulostamalla.

Avainsanat 3D-tulostin, Ender 3

Sivut 64 sivua

Author Jonne Kuusisto

Year 2021

Subject Upgrading a 3D printer

Supervisors Jaakko Vasko

ABSTRACT

In this project, the properties of an FDM 3D printer were updated and experimentally improved. The goals of the project were to update and experimentally improve the numerous aspects and features of a budget class 3D printer. An affordable off the shelf 3D printer was selected as the target of the upgrade. This printer could use only the most common printing materials. This thesis focuses on the changes made to the 3D printer, the functions and selection of components, the modification of the firmware and the parts to be manufactured. The parts were designed using the PTC Creo 4.0 modeling software and manufactured by using the thermal cutting method or 3D printing.

Keywords 3D printer, Ender 3

Pages 64 pages

Sisällys

1	Johdanto	1
2	3D-tulostus ja toiminnot.....	2
2.1	Karteesinen 3D-tulostin	3
2.2	Creality Ender 3	3
3	Suunnittelu	5
3.1	Komponentit ja tavoitteet.....	5
3.1.1	Ohjainkortti	6
3.1.2	Ohjainpaneeli	7
3.1.3	Kuumapää.....	10
3.1.4	Liikekomponentit	15
3.1.5	Suulakepuristin.....	16
3.1.6	Automaattinen tulostusalustan säätö.....	21
3.1.7	Tulostuslangan tunnistin	24
3.1.8	Trapetsikierretanko	25
3.2	3D-tulostimen kotelo	26
3.3	3D-mallinnus	28
4	Osien valmistus.....	36
4.1	Tulostettavat osat	36
4.2	Vesileikatut osat.....	37
5	Kokoonpano.....	37
5.1	X- ja z-akseli.....	38
5.2	Y-akseli	42
5.3	Kotelo	44
6	Laiteohjelmiston muutokset.....	50
7	Tulokset	54
8	Yhteenveto	60
	Lähteet.....	63

Kuvat

Kuva 1. Materiaalia pursottavan 3D-tulostuksen valmistusprosessi. (Varotsis, n.d).....	2
Kuva 2. Karteesisen 3D-tulostimen toimintamalli. (Alex, 2017).....	3

Kuva 3. Creality Ender 3 3D-tulostin. (Pickavance, 2018)	4
Kuva 4. Ender 3:n ohjainkortti.....	6
Kuva 5. Bigtreotech SKR MINI E3 ohjainkortti.....	7
Kuva 6. Ender 3:n ohjainpaneeli.....	8
Kuva 7. Bigtreotech TFT35 vaihtoehtoiset käyttötavat.....	9
Kuva 8. Bigtreotech TFT35 takapaneeli.....	10
Kuva 9. Kuumapään komponentit.....	11
Kuva 10. Kuumapään toiminta. (Hoarder, 2018)	12
Kuva 11. Ender 3:n kuumapään rakenne ja vuotokohdat. (Gharge, 2019).....	13
Kuva 12. E3D V6 kuumapää. (Hullette, 2020)	14
Kuva 13. Ender 3:n alkuperäiset liikekomponentit ja alumiiniprofiilit.....	15
Kuva 14. Lineaarijohteet sekä leikkauskuva laakeroiduista vaunuista. (Kondo, 2019) ...	16
Kuva 15. Uritettu hammaspyörä. (Landry, 2016)	17
Kuva 16. Suorapursotus.....	18
Kuva 17. Ohjainputkella varustettu pursotus.....	19
Kuva 18. Ender 3:n tukkeutunut suulakepuristin.....	20
Kuva 19. Bondtech BMG. (Matterhackers, n.d.)	21
Kuva 20. Manuaalinen tulostusalustan säätö.	22
Kuva 21. Epätasainen tulostusalusta.....	23
Kuva 22. Tulostusalustan mittaus sensori.....	23
Kuva 23. Tulostuslangan tunnistin.....	25
Kuva 24. Epätasaisuus pursotuskerroksissa.	26
Kuva 25. 3D-tulostimen kotelo. (Pires, 2020).....	27
Kuva 26. 3D-mallinnuksen lähtökohdat.	28
Kuva 27. Toiminnallisten osien mallinnusvaihe virtuaalisessa kokoonpanossa.	29
Kuva 28. Kuumapään toimintasäteen tarkastus tulostusalustan ääripäissä.....	30
Kuva 29. Räjätyskuva tulostuspään komponenteista sekä tulostettavista osista.	31
Kuva 30. Lisätyn trapetsikierretangon sekä kiinnitysosien virtuaalinen kokoonpano....	32
Kuva 31. 3D-tulostimen ja kotelon kokoonpano korkeuden määrittämistä varten.....	33
Kuva 32. Kotelon valmis virtuaalinen kokoonpano.....	34
Kuva 33. Jaetun jäähdytysilman kulkusuunta tuulettimelta kotelon ulkopuolelle.	35
Kuva 34. Räjätyskuva komponenttikotelosta.	35

Kuva 35. 3D-tulostettujen osien orientaatiot cura-viipalointiohjelmassa.	36
Kuva 36. Levyosien vesileikkausprosessi.	37
Kuva 37. Kokoonpanon lähtökohdat.	38
Kuva 38. X- ja z-akselin kokoonpano.	39
Kuva 39. Z-akselin lineaarijohteiden asennus.	39
Kuva 40. Tulostuspään komponenttien kokoonpano.	40
Kuva 41. X-akselin lopullinen kokoonpano.	41
Kuva 42. Uusi suulakepuristin asennettuna.	42
Kuva 43. Y-akselin kokoonpano.	43
Kuva 44. Uusi tulostusalusta, magneettitarra ja jouset.	44
Kuva 45. Valmis 3D-tulostimen kotelon kokoonpano.	45
Kuva 46. Jännitteenmuuntimen asennus ja säätäminen.	46
Kuva 47. Ohjainkortin kytkentä.	47
Kuva 48. Komponenttikotelon kokoonpanovaihe.	48
Kuva 49. Komponenttikotelon toimintojen testaus.	49
Kuva 50. Valmis komponenttikotelo.	49
Kuva 51. Tarkasti säädetty pursotusmäärä.	51
Kuva 52. Uuden suulakepuristimen askelten määrittäminen.	51
Kuva 53. Tulostusalustan mittaus sensorin käyttöönnotto.	52
Kuva 54. Tulostusalustan mittaus sensorin paikoituksen mitat.	53
Kuva 55. Kaikkien akselien arvot määriteltynä lähdekoodieditorissa.	53
Kuva 56. Tulostusalustan mittaustavan valinta.	54
Kuva 57. Testikappaleen tasainen ja laadukas tulostusjälki.	55
Kuva 58. Mittatarkka testikappale.	56
Kuva 59. 3D-tulostettu testikappale sekä mittauskohdat.	57
Kuva 60. Onnistunut joustavan tulostusmateriaalin testitulokset.	58
Kuva 61. Onnistunut testikappale nylon tulostusmateriaalista.	59
Kuva 62. Testikappaleen pursotuskerroksien testaus.	60
Kuva 63. Valmis 3D-tulostimen päivitys.	62

1 Johdanto

3D-tulostaminen on yleistynyt viime vuosina kuluttajamarkkinoilla. 3D-tulostimia sekä tulostusmateriaaleja löytää nykyään kauppojen hyllyiltä, mikä on vaikuttanut positiivisesti 3D-tulostuksen yleistymiseen. Myös 3D-tulostimien kehittyminen sekä hintojen aleneminen ovat vaikuttaneet kuluttajien kiinnostukseen 3D-tulostusta kohtaan. 3D-tulostimia löytyy nykyään monissa eri hintaluokissa, joista edullisimmat ovat noin 140 euron arvoisia. Edullisesti rakennetulla 3D-tulostimella on myös haittapuolensa, kuten huoltojen ja korjausten tarve sekä vähäinen tulostusmateriaalien valikoima.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli päivittää materiaalia pursottavan 3D-tulostimen lukuisia osa-alueita. Opinnäytetyön päivitysten kohteeksi valikoitui edullinen Ender 3 3D-tulostin, koska kokemuksen mukaan sillä voidaan alkuperäiskuntoisena tulostaa vain helpoimpia ja yleisimpiä materiaaleja. Myös huoltojen sekä korjausten toistuva tarve vaikutti kohteen valintaan. Päivitysten tavoitteina on parantaa edullisen 3D-tulostimen käytettävyyttä, luotettavuutta, tulostuslaatua, tulostusnopeutta, äänekkyyttä sekä monipuolistaa tulostusmateriaalien valikoimaa.

Opinnäytetyössä perehdytään edullisen 3D-tulostimen ongelmakohtiin, joita yritetään kokeellisesti parantaa komponentteja päivittämällä. Tarvittavat rakenteelliset muutokset tehdään virtuaalisen 3D-mallin pohjalta, jossa käytetään alkuperäisen 3D-tulostimen runkoa mallina. 3D-mallinnus suoritetaan PTC Creo 4.0 mallinnusohjelmalla ja muutoksiin tarvittavat osat ovat valmistettu termisellä leikkausmenetelmällä tai 3D-tulostamalla.

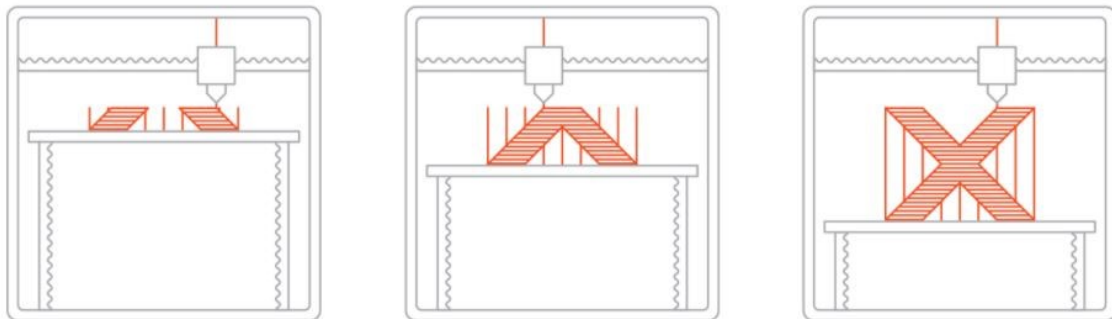
Opinnäytetyössä edetään ensin alkuperäisen 3D-tulostimen toiminnoista suunnitteluvaiheeseen, jossa perehdytään Ender 3:n ongelmakohtiin, päivitettäviin komponentteihin sekä niiden valintaan. Valinnan jälkeen työhön vaadittavista osista sekä komponenteista luodaan 3D-mallit virtuaalisessa kokoonpanossa, jolla varmistetaan toiminnallisten mittojen sekä liikkuvien toimintojen yhteensopivuus. Osat valmistetaan luotujen 3D-mallien pohjalta, jonka jälkeen suoritetaan 3D-tulostimen kokoonpano. Kokoonpanon jälkeen perehdytään työssä vaadittaviin laiteohjelmiston muokkauksiin, jotka ovat välttämättömiä päivitettyjen komponenttien vuoksi. Työn lopuksi käydään

yksityiskohtaisesti läpi muutoksien sekä komponenttien tuomista mahdollisista parannuksista.

2 3D-tulostus ja toiminnot

Materiaalia pursottava 3D-tulostus (Fused Deposition Modeling eli FDM) on materiaalia lisäävä valmistusprosessi (Additive Manufacturing eli AM), jossa haluttu malli saavutetaan pursottamalla sulaa lisäainetta kerroksittain määriteltyä polkua pitkin (Kuva 1). Materiaalia pursottava 3D-tulostus on suosituin tulostustekniikka maailmanlaajuisesti. Lisäaineena käytetään termoplastisia polymeerejä, jotka ovat tulostuslangan muodossa.

Kuva 1. Materiaalia pursottavan 3D-tulostuksen valmistusprosessi. (Varotsis, n.d)



Materiaalia pursottavassa valmistusprosessissa suulakepuristin syöttää tulostuslankaa kuumapäälle, jossa se sulaa tulostettavaksi massaksi. Kuumapää on kiinnitetty 3-akseliseen järjestelmään, joka sallii liikkeet x-, y- ja z-akselilla. Sulanut massa pursotetaan kerros kerrokselta ennalta määriteltyihin paikkoihin, missä se jäähtyy ja jähmettyy. 3D-tulostuksen aikana kuumapää liikkuu määriteltyä reittiä pitkin horisontaalisesti kerroksen valmistumiseen asti, jonka jälkeen tulostusalusta laskee tai kuumapää nousee uuden kerroksen aloittamista varten. Tätä prosessia toistetaan, kunnes malli on valmis. (Varotsis, n.d)

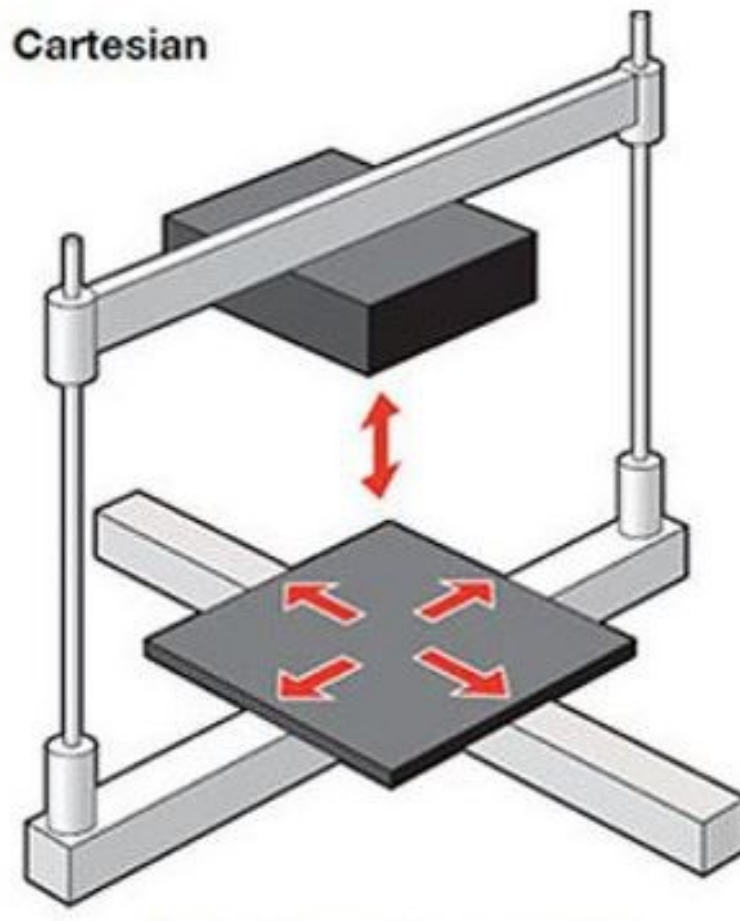
2.1 Karteesinen 3D-tulostin

Karteesinen 3D-tulostin on yleisimpiä materiaalia pursottavista 3D-tulostin malleista.

Karteesisella 3D-tulostimella tarkoitetaan suorakulmaista koordinaatistoa käyttävää mallia (Kuva 2), jossa tulostuspään sijaintia ja suuntaa määritellään kolmella, x-, y- ja z-akselilla.

(Alex, 2017)

Kuva 2. Karteesisen 3D-tulostimen toimintamalli. (Alex, 2017)



2.2 Creality Ender 3

Crealityn valmistama Ender 3 on materiaalia pursottava 3D-tulostin (Kuva 3), jonka hinta on 170 euroa. Kyseisessä 3D-tulostimessa voidaan käyttää 1,75 mm kokoista tulostuslankaa ja tulostettavaksi soveltuvia materiaaleja ovat mm. PLA, ABS, joustava TPU sekä puu- ja hiilikuitutäytteiset muovit. Ender 3:n tulostusalustan kooksi luvataan 220 x 220 mm ja tulostuskorkeudeksi 250 mm. Tulostusalusta on lämmitettävissä 110 °C lämpötilaan ja

tulostuspään lämpötilan ylärajaksi on asetettu 255 °C. Tarkkuudeksi on annettu $\pm 0,1$ mm ja tulostuskerroksien korkeudeksi 0,1-0,4 mm. Virtalähteen teho on 360 wattia ja ulostulojännite 24 volttia. (AN-Cadsolutions, n.d.)

Kuva 3. Creality Ender 3 3D-tulostin. (Pickavance, 2018)



Ender 3 on erittäin edullinen ja suosittu 3D-tulostin, jonka tulostustaso on ilmoitettua hieman suurempi, 235 mm². Ender 3 on osittainen rakennussarja, jossa esiasennettuna ovat x- ja y-akseli komponentteineen. Kokoonpanoon kuluu aikaa noin 45 minuuttia, mutta rungon suoruus ja akseleiden vapaa liikkuminen on tärkeää säätää tarkasti.

Liikekomponentit on tehty laakeroiduista pyöristä, jotka kulkevat rungon alumiiniprofiileita vasten. Z-akselilla liike suoritetaan yhden trapetsikierretangon välityksellä x-akselille, jolloin koko x-akseli ja sillä oleva tulostuspää nousee tai laskee. Yhden trapetsikierretangon välityksellä liikkuvan x-akselin on kerrottu aiheuttavan epätasaista liikettä x-akselin vapaassa päässä. Z-akselin trapetsikierretangon askelmoottorin akseli ei ole pystysuorassa x-akselilla olevan trapetsikierretangon mutterin kanssa, joka aiheuttaa trapetsikierretangon vääntymistä. 3D-tulostettavien tiedostojen siirtoa varten etupaneeli on varustettu microSD-

muistikorttipaikalla, joka on vaikeakäyttöinen muistikortin koon vuoksi. Suurimpia ongelmia tuottaa epätasaisen tulostusalustan säätäminen suoraan, joka suoritetaan manuaalisesti tulostusalustan alle sijoitetuista säätöruuveista. (Pickavance, 2018)

3D-tulostimen päivitysten kohteeksi valittiin Ender 3 3D-tulostin käyttökokemusten perusteella. Kyseisen 3D-tulostimen runko on valmistettu erikokoisista alumiiniprofiileista, jotka on kiinnitetty toisiinsa pulteilla. Kaikkien akselien ja suulakepuristimen liikkeet on toteutettu Nema 17 -askelmoottoreiden avulla, jotka on kiinnitetty 3D-tulostimen runkorakenteisiin. X- ja y-akselien askelmoottoreiden edestakaiset liikkeet välitetään hihnan avulla tulostuspäälle. Isokokoinen virtalähde on kiinnitetty kahdella pultilla z-akselin runkoprofiiliin ilman alapuolista tukea, jolloin virtalähde pääsee pursotuksen aikana heilumaan. Tulostustason alapuolelle sijoitettu ohjainkortin suojakotelo kerää herkästi pölyä ja roskia päälle sijoitetun tuulettimen vuoksi. Ohjainpaneeli on sijoitettu 3D-tulostimen oikeaan reunaan, josta 3D-tulostinta on helppoa ohjata.

3 Suunnittelu

Ender 3 3D-tulostimen muutostöiden suunnitteluun on käytetty Hämeen ammattikorkeakoulun tarjoamaa PTC Creo 4.0 3D-mallinnus ohjelmaa. Valituista komponenteista sekä alkuperäisestä Ender 3:n rungosta luotiin 3D-mallit, jotka yhdistettiin yhdeksi virtuaaliseksi kokoonpanoksi. Kokoonpanon luominen helpottaa osien yhteensopivuutta sekä 3D-mallinnustyössä tehtäviä muutoksia. Suunnittelussa perehdyttiin 3D-tulostimen komponentteihin sekä niiden tuottamiin ongelmiin. Alkuperäisen Ender 3:n lukuisia ongelmia pyrittiin korjaamaan tai parantamaan uusilla komponenttivalinnoilla.

3.1 Komponentit ja tavoitteet

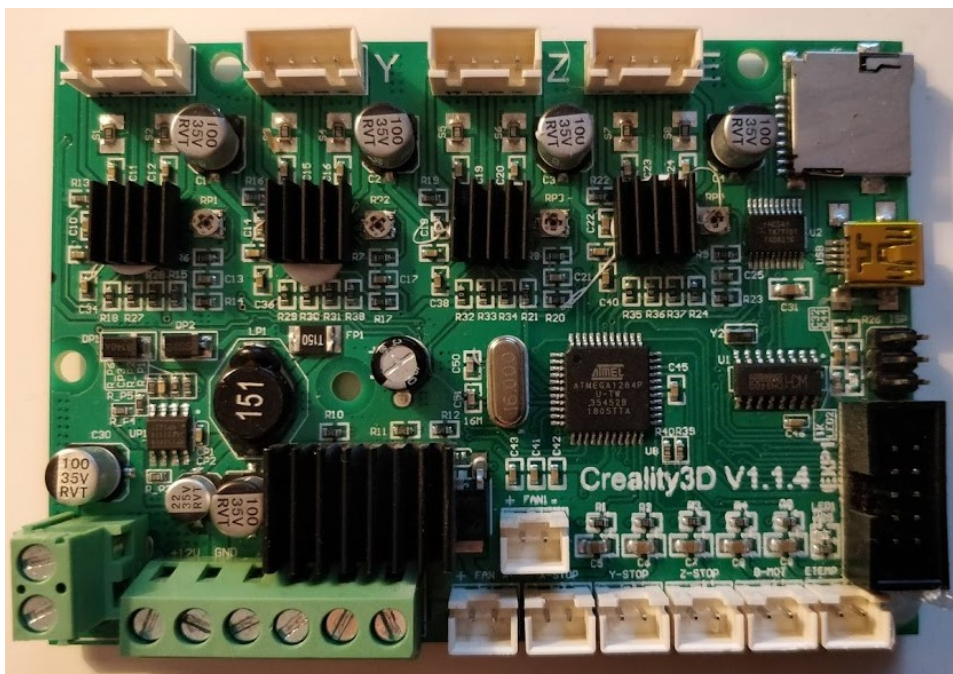
Komponenttivalinnoilla on pyritty parantamaan alkuperäisen 3D-tulostimen lukuisia toimintoja. Tavoitteena oli tehdä muutoksia alkuperäiseen 3D-tulostimeen, jonka jälkeen tutkittiin muutoksien vaikutuksia sekä eroavaisuuksia. Parannuksia haluttiin tehdä 3D-tulostimen käytettävyyteen, luotettavuuteen, tulostuslaatuun, tulostusnopeuteen, äänekkyteen sekä tulostusmateriaalien monipuolistamiseen.

3.1.1 Ohjainkortti

Ohjainkortin tehtävänä on tuottaa kaikki 3D-tulostimen toiminnot ja liikkeet G-koodien avulla muulle mekatronikalle. Ohjainkorttiin on asennettuna laiteohjelmisto, jolla G-koodi on tuotettu. Ohjainkorteissa on prosessori, joka suorittaa kaiken laskennan liikkeiden ja toimintojen välillä. Prosessoreita on tehojensa puolesta erilaisia, joka vaikuttaa laskennan aikaan. 32-bittisillä prosessoreilla varustetut ohjainkortit ovat huomattavasti tehokkaampia kuin 8-bittiset ohjainkortit. Monet ohjainkortit eroavat myös liitettävyydellään ja laajennettavuudellaan. 3D-tulostettavien mallien siirtämistä varten kaikki ohjainkortit on varustettu USB-liittimellä tai muistikorttipaikalla, mutta kehittyneemmissä ohjainkorttimalleissa on mahdollisuus siirtää tiedostoja langattomasti 3D-tulostimelle. (Richter, 2018)

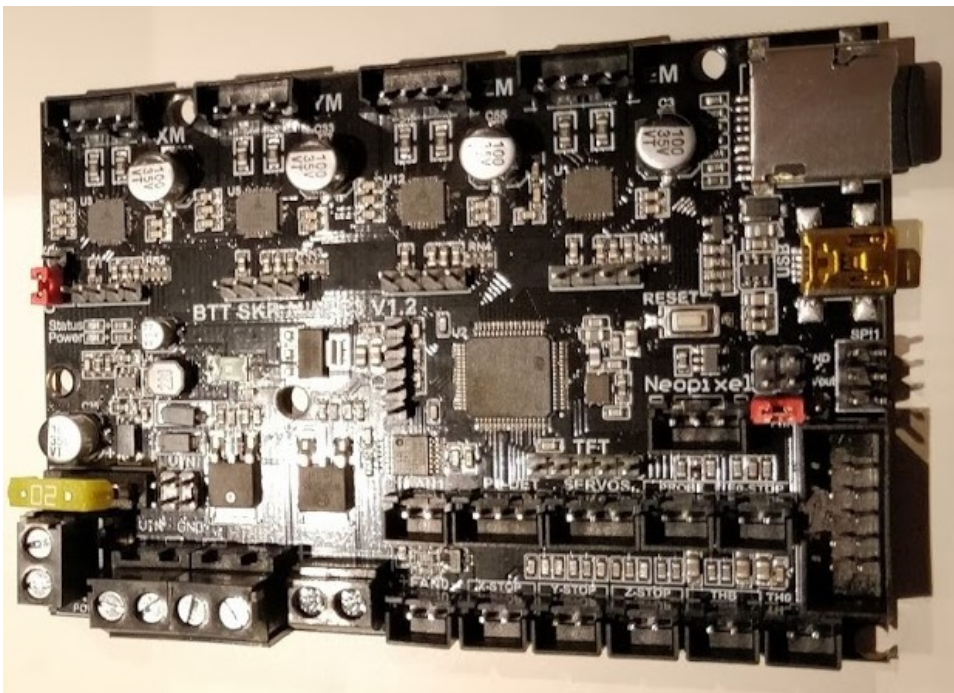
Ender 3:n alkuperäisessä ohjainkortissa (Kuva 4) on hidas 8-bittinen prosessori, äänekkäät askelmoottoreiden ohjaimet sekä huonosti liitännöitä 3D-tulostimen toimintojen laajennettavuudelle. 3D-tulostimen päivityksiensä vuoksi myös ohjainkortti tulee vaihtaa kehittyneempään malliin. Uutta ohjainkorttia vertaillessa kriteereinä olivat tehokkaampi prosessori, hiljaiset askelmoottorin ohjaimet, toimintojen laajennettavuus, yhteensopivuus muiden komponenttien kanssa sekä edullisuus.

Kuva 4. Ender 3:n ohjainkortti.



Ender 3:n uudeksi ohjainkortiksi valittiin Bigtreetechin valmistama SKR MINI E3 (Kuva 5), koska siitä löytyy liitäntöjä 3D-tulostimen toimintojen laajennettavuudelle, kuten kosketusnäytölle, tulostusalustan mittaus sensorille sekä tulostuslangan tunnistimelle. SKR MINI E3 sisältää 32-bittisen prosessorin sekä hiljaiset askelmoottorin ohjaimet. Tiedostojen siirtoa varten ohjainkortissa on USB-liitin sekä muistikorttipaikka. SKR MINI E3 on edullinen ohjainkortti 25 euron hinnallaan. Laiteohjelmiston koodi ja ohjainkortin tarkat tiedot löytyvät Github verkkosivulta.

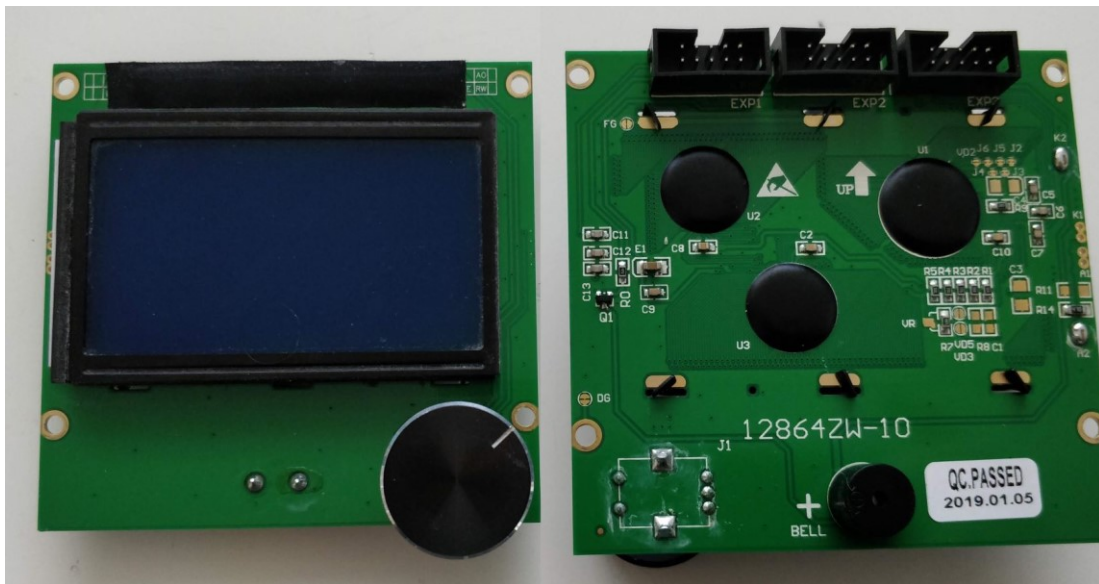
Kuva 5. Bigtreetech SKR MINI E3 ohjainkortti.



3.1.2 Ohjainpaneeli

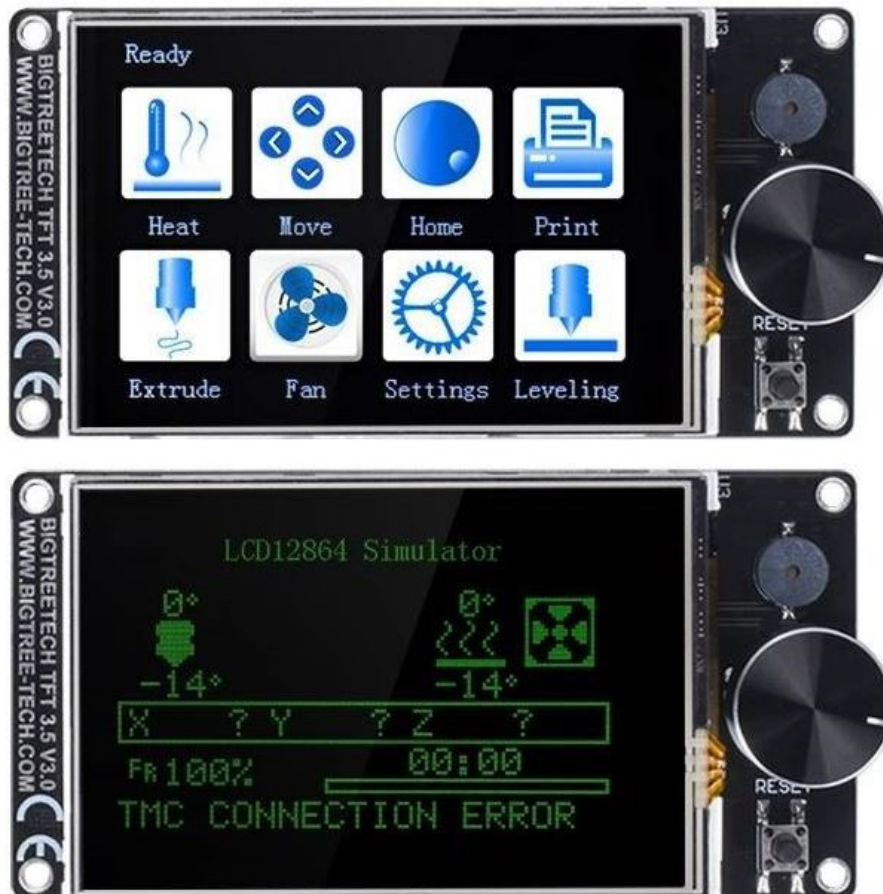
3D-tulostimen ohjainpaneelilla on kaksi tehtävää. 3D-tulostimen käyttäjä näkee ohjainpaneelista tulostuksen aikana tarvittavia tietoja sekä pystyy ohjaamaan kaikkia 3D-tulostimen toimintoja. Ender 3:n alkuperäisessä ohjainpaneelissa (Kuva 6) on 128 x 64 pikselin nestekidenäyttö, jonka näyttöruudun leveys on 70 mm ja korkeus 39 mm. Ohjaukset suoritetaan pyörivällä säätöpainikkeella.

Kuva 6. Ender 3:n ohjainpaneeli.



Uutta ohjainpaneelia valitessa tulee ottaa huomioon 3D-tulostimen käyttäjän tarve, ohjainpaneelin ominaisuudet sekä yhteensopivuus ohjauskortin kanssa. Vaihdeettava ohjainpaneeli ja ohjauskortti valittiin samalta valmistajalta, jotta yhteensopivuus ja käyttöönotto olisi mahdollisimman helppoa. Ohjainpaneeli vaihdettiin nykyaikaisempaan värilliseen kosketusnäyttöön, jotta 3D-tulostimen käyttö olisi helpommin ja nopeammin toteutettavissa. Uudeksi ohjainpaneeliksi valikoitui Bigtreetechin valmistama TFT35, muiden saman valmistajan vaihtoehtojen ollessa vain suurempia, mutta samoilla toiminnoilla. Ohjainpaneelissa on kaksi erilaista käyttötapaa (Kuva 7), jolla 3D-tulostinta voidaan ohjata. Ohjainpaneelin ja langattoman verkon mikropiirin hinta oli yhteensä 29 euroa.

Kuva 7. Bigtreetech TFT35 vaihtoehtoiset käyttötavat.



Kosketusnäytöllisen ohjainpaneelin käyttö on erittäin sujuvaa ja nopeaa verrattuna säätöpainikkeella olevaan nestekidenäyttöön. Tarvittaessa TFT35 näytön saa vaihdettua alkuperäiseen käyttötilaan, jossa ohjaus tapahtuu säätöpainikkeella ja näkymä muistuttaa alkuperäistä Ender 3:n nestekidenäyttöä. TFT35 kosketusnäytön leveys on 75 mm ja korkeus 51 mm. 3D-tulostettavien mallien tiedostojen siirtoa varten on ohjainpaneeli varustettu SD muistikorttipaikalla sekä USB-liittimellä.

Takapaneelissa on liitäntä tulostuslangan tunnistimelle, jolloin ohjauskortin laiteohjelmiston koodiin ei tarvitse tehdä muutoksia. Takapaneelissa (Kuva 8) on myös liitin langattoman verkon (WIFI) mikropiiriä varten, jolloin 3D-tulostinta voidaan tarvittaessa käyttää etänä. Github verkkosivulla on saatavilla tarkat tiedot kyseisestä ohjainpaneelistä asennusohjeineen sekä valmis laiteohjelmiston koodi ladattavaksi päivityksiä varten. (Laws, 2020)

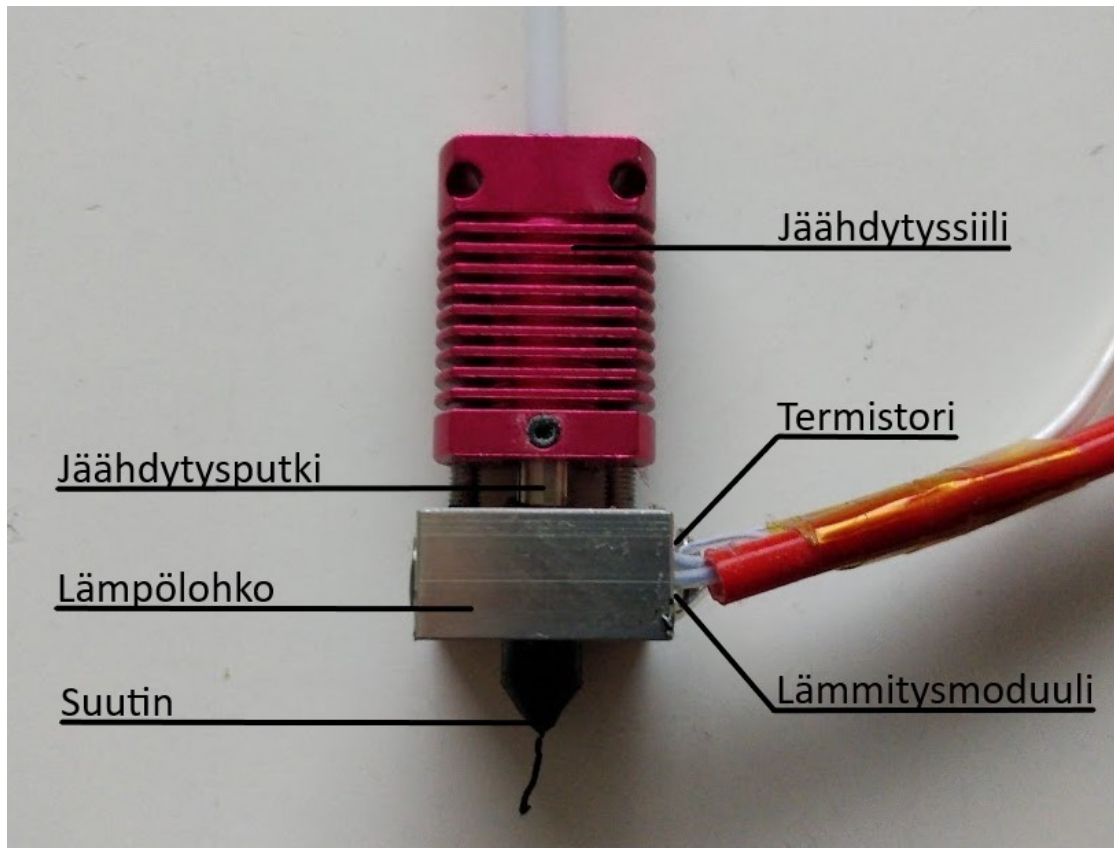
Kuva 8. Bigtreotech TFT35 takapaneeli.



3.1.3 Kuumapää

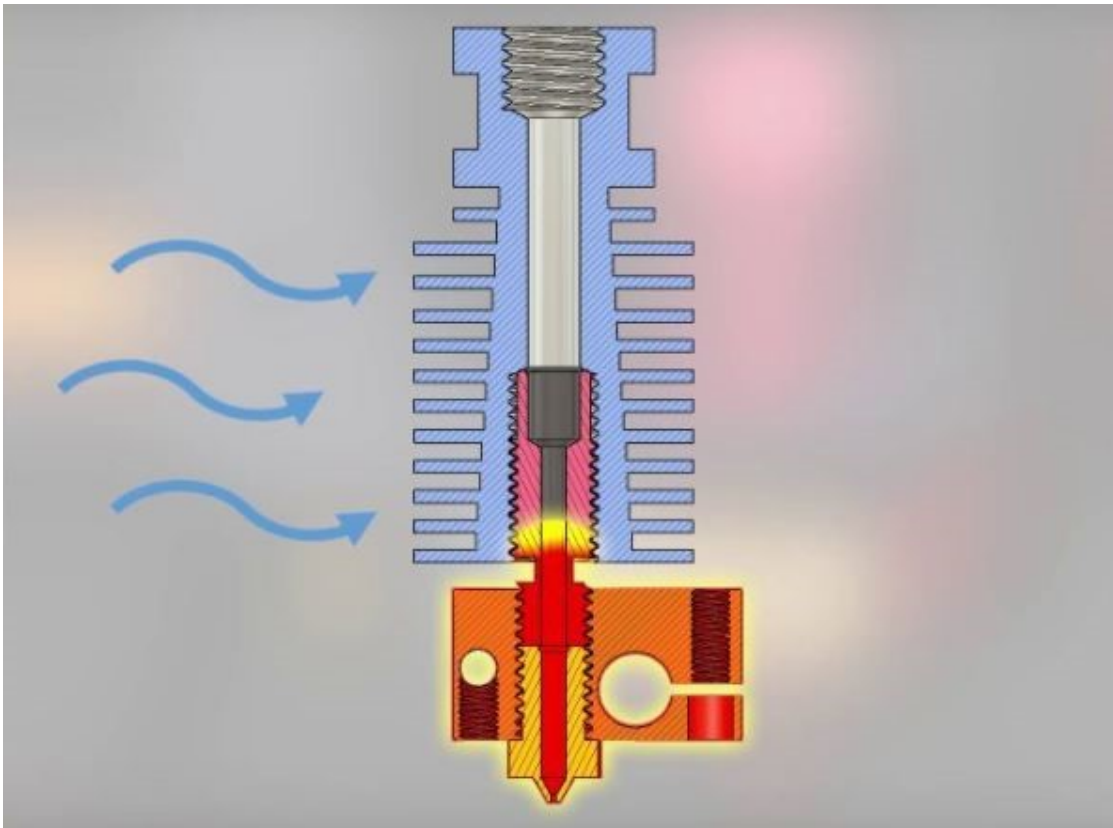
3D-tulostimen kuumapään toiminta perustuu tulostuslangan jäähdytysiin, jäähdytysputkeen, lämpölohkoon ja suuttimeen. Lämpölohkoon on kiinnitetty sähköisesti toimiva lämmitysmoduuli, jolla lämpölohkon kuumennus tapahtuu. Lämmitysmoduulin viereen on asennettu termistori, jonka tarkoitus on mitata lämpölohkon lämpötiloja (Kuva 9).

Kuva 9. Kuumapään komponentit.



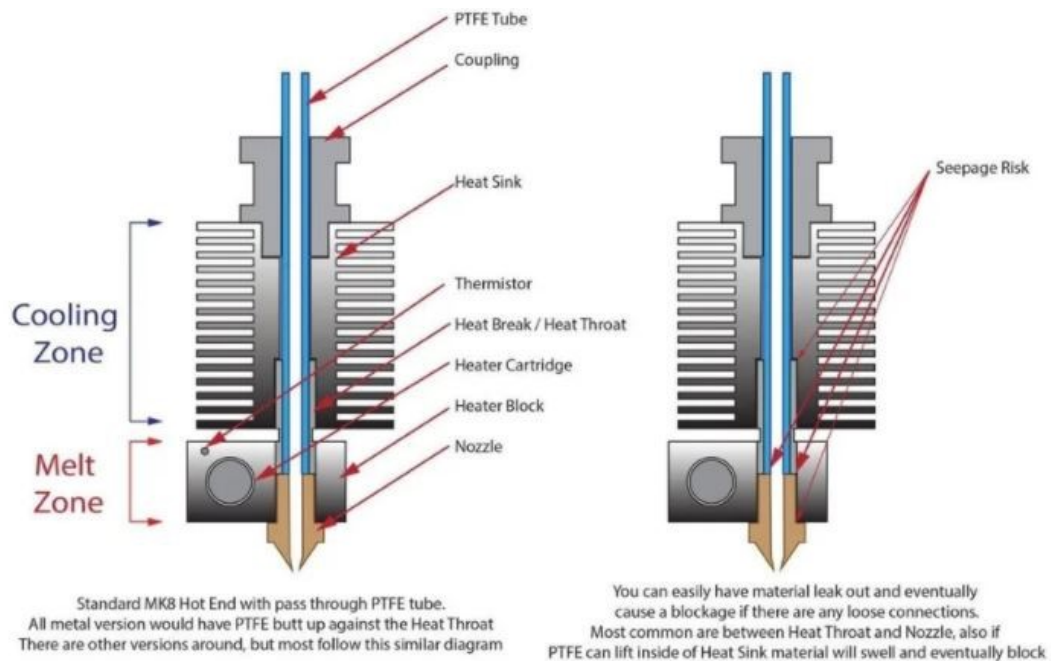
Kuumapään lämpölohko sulattaa tulostuslangan pursotuksen aikana suuttimen läpi. Jäähdytysputken tarkoituksena on katkaista lämmön siirtyminen lämpölohkolta jäähdytysputkeen, jonka tehtävänä on pitää tulostuslanka kiinteässä muodossaan. Pursotuksen aikana jäähdytysputken ja jäähdytysputkeen tehtävä on kriittinen, koska tulostuslanka sulaaessaan laajenee jäähdytysputkeen, joka johtaa kuumapään tukkeutumiseen. Kuumapään on normaalisti kiinnitetty tuuletin lisäämään jäähdytysputkeen viilennystehoa (Kuva 10). (Hoarder, 2018)

Kuva 10. Kuumapään toiminta. (Hoarder, 2018)



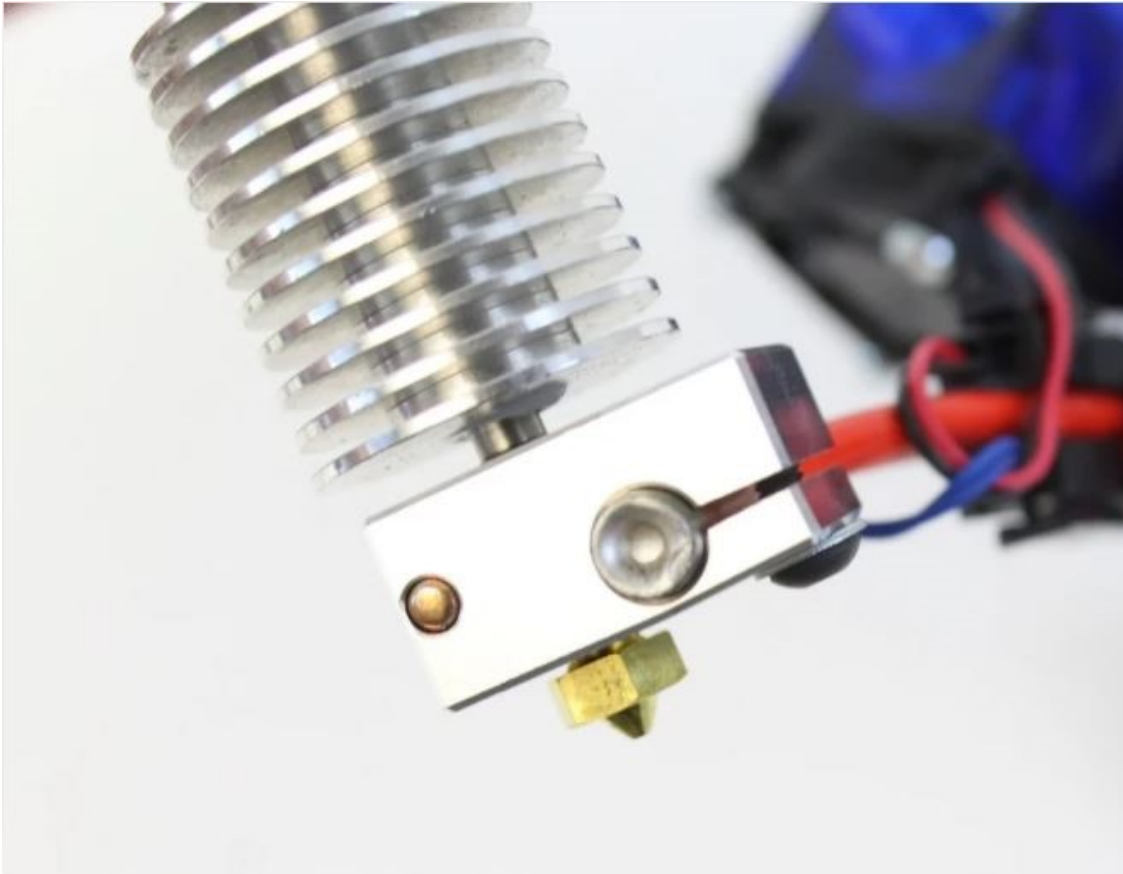
Ender 3:n kuumapää on rakenteeltaan hyvin yksinkertainen ja toimiva, mutta sillä voidaan sulattaa vain matalan lämpötilan tulostusmateriaaleja. Pursotuksen aikana tulostuslanka kulkee ohjainputkea pitkin kuumapäälle, jossa ohjainputki ulottuu kuumapään suuttimeen asti. Kuumapään rakenne aiheuttaa ongelmia, jossa sula muovimassa saattaa päästä vuotamaan heikoista liitoksista (Kuva 11). Ongelmia syntyy myös ohjainputkesta, joka alkaa sulamaan yli 250 °C lämpötilassa ja tuottamaan myrkyllisiä kaasuja. Ylikuumentunut ja vaurioitunut ohjainputki tulee aina vaihtaa uuteen. (Gharge, 2019)

Kuva 11. Ender 3:n kuumapään rakenne ja vuotokohtat. (Gharge, 2019)



E3D valmistaa erittäin suosittuja ja luotettavia 3D-tulostimien komponentteja. E3D valmistama V6 kuumapään (Kuva 12) rakennetta kutsutaan kokonaan metalliseksi, jossa ohjainputki ulottuu vain jäähdytysputkeen asti, jolloin huoltamista on vähemmän. V6 kuumapäällä saavutetaan turvallisesti 285 °C lämpötila, joka riittää hyvin laajalle tulostusmateriaali valikoimalle. Kokonaan metallisen kuumapään ongelmana on herkempi lämmön siirtyminen ohjainputkea pitkin ylös ja tukoksien aiheuttaminen. (Hullette, 2020)

Kuva 12. E3D V6 kuumapää. (Hullette, 2020)



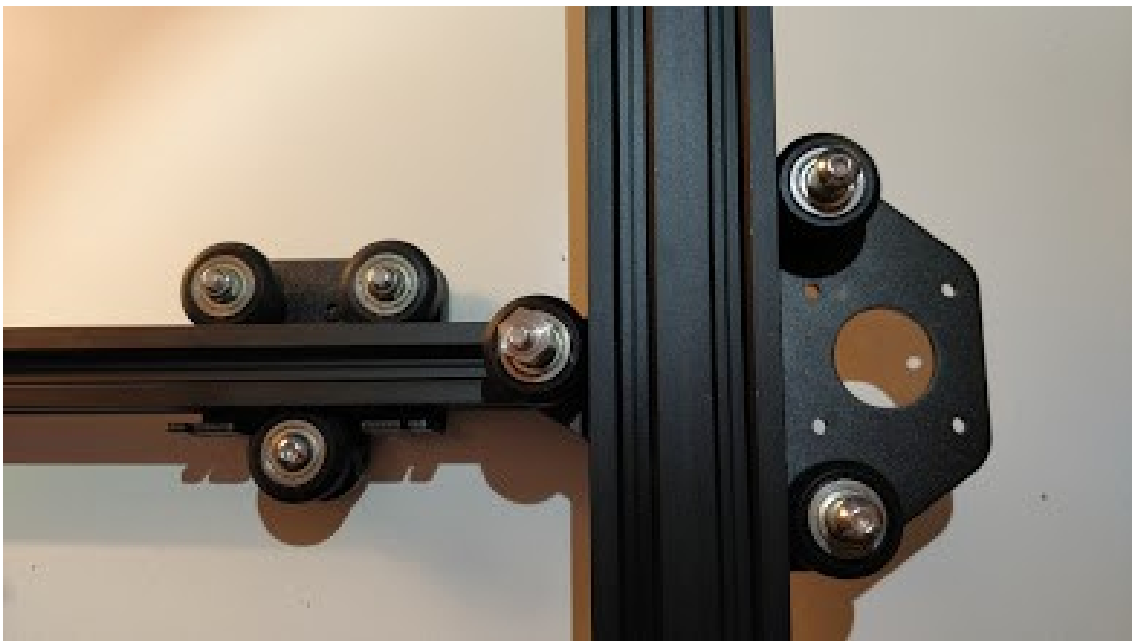
Ender 3:n suppeaa tulostusmateriaalien valikoimaa haluttiin laajentaa kuumemman kapasiteetin omaavalla sekä vähemmän huoltoa kaipaavalla kuumapäällä. Käyttökokemuksen mukaan pidemmällä aikavälillä ohjainputkessa tapahtuu jo 240 °C lämpötilassa muodonmuutoksia, joka aiheuttaa usein kuumapään tukoksia ja epäonnistuneita 3D-tulostuksia. Vaihtoehtoisia kuumapäitä haettiin kokonaan metallista valmistetuista malleista, jossa ohjainputki ei ulotu kuumapään suuttimeen asti. Kuumapään haluttiin olevan edullinen, mutta myös helposti muunneltavissa oleva malli. Varaosien saatavuuden sekä suurempien lämpölohkojen valikoiman vuoksi päädyttiin V6 tyyppiseen kuumapähän, joka oli mahdollista kiinnittää tarvittaessa myös suoraan suulakepuristimeen. Alkuperäisen E3D:n valmistama V6 kuumapään hinta on 72 euroa, joten päädyttiin tilaamaan huomattavasti edullisempi TriangleLab:n valmistama kopio hintaan 14 euroa. Messingistä valmistetun suuttimen tilalle hankittiin pitkäikäisempi työkaluteräksestä valmistettu suutin samalta valmistajalta. V6 kuumapään jäähdytysiilille tilattiin tuuletin viilennystehon maksimoimiseksi ja tukoksien minimoimiseksi.

3.1.4 Liikekomponentit

Ender 3:n alkuperäiset liikekomponentit on tehty laakeroitujen pyörien avulla, jotka kulkevat suoraan rungon alumiiniprofiileita vasten (Kuva 13). Alumiiniprofiileissa on teräväreunainen ura, joita vasten muoviset pyörät kiristetään epäkeskomutteria apuna käyttäen. Kokemuksen mukaan alumiiniprofiilia vasten kulkevat muoviset pyörät joustavat ja kuluvat käytössä, jolloin joudutaan tekemään liikekomponenttien kiristämistä ja säätämistä.

Liikekomponenttien säätö saattaa ajan kuluessa myös löystyä, joka aiheuttaa ongelmia pursotuksen aikana. Alkuperäisten liikekomponenttien tarkka säätäminen on haastavaa ja pyörien kuluminen johtaa epätarkkoihin 3D-tulostuksiin.

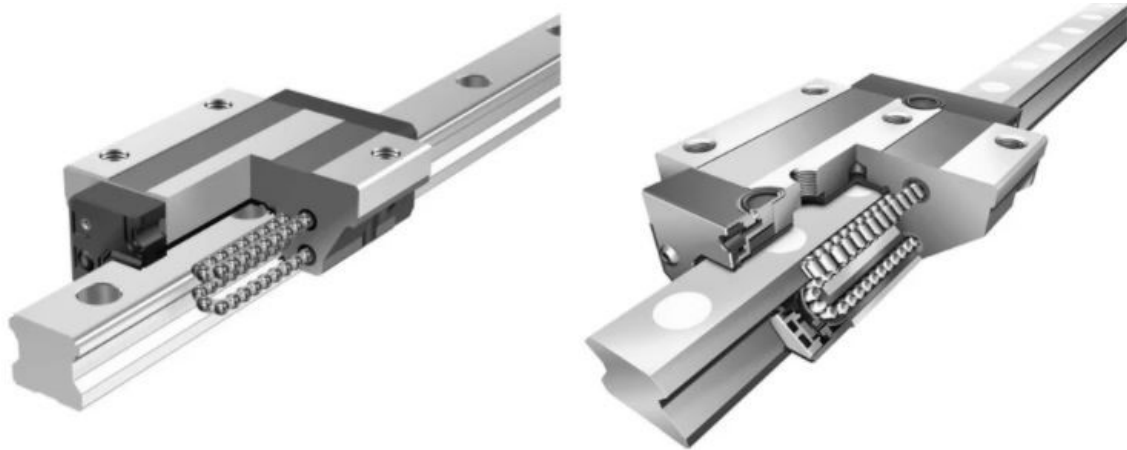
Kuva 13. Ender 3:n alkuperäiset liikekomponentit ja alumiiniprofiilit.



Ender 3:n uusien liikekomponenttien haluttiin olevan tarkempia liikeratojen suhteen sekä helposti huollettavissa, joten valinta kohdistui lineaarisiin johteisiin, joita käytetään arvokkaammissa 3D-tulostimissa sekä CNC-työstölaitteissa. Vaihtoehtoisena liikekomponentteina oli lineaariset pyöröakselit, mutta helpomman kiinnityksen vuoksi valittiin lineaariset johteet. Lineaarisia johteita suunniteltiin tulevan kolme kappaletta 300 millimetrin pituisena sekä kaksi kappaletta 400 millimetrin pituisena. Saksasta toimitettuina lineaaristen johteiden hinnaksi kertyi 95 euroa. X- ja y-akseleille suunniteltiin alumiiniset levyt, jotka mahdollistavat lineaaristen johteiden kiinnityksen.

Lineaariset johteet (Kuva 14) ovat yleisiä liikekomponentteja, joita käytetään 3D-tulostimissa sekä CNC-työstölaitteissa saavuttamaan sujuvia liukuliikkeitä. Linearisessa johteessa on jäykkä teräskisko, jota pitkin kuulalaakeroitu vaunu liikuu. Teräskiskon sekä laakeroidun vaunun toleranssit mahdollistavat tarkat lineaariset liikkeet. (Kondo, 2019)

Kuva 14. Lineaarijohteet sekä leikkauskuva laakeroiduista vaunuista. (Kondo, 2019)



3.1.5 Suulakepuristin

Suulakepuristimen tehtävänä on työntää oikea määrä tulostuslankaa kuumapäälle pursotuksen aikana. 3D-tulostettavan mallin muodoista johtuen suulakepuristin myös vetää tulostuslankaa kuumapään sisään, joka estää sulan muovimassan valumista kuumapään siirtymissä. Suulakepuristimen toiminnalliset liikkeet suoritetaan yleensä Nema 17 askelmoottorin avulla. Askelmoottorin akselilla on uritettu hammaspyörä, jonka välityksellä tulostuslankaa työnnetään kuumapäälle (Kuva 15). Hammaspyörää vasten on rakennettu mekanismi, joka painaa tulostuslankaa hammaspyörän uria vasten. Hammaspyörän uran ja vastakkaisen mekanismin tarkoituksena on tuottaa mahdollisimman hyvä kitka ja tasainen paine tulostuslankaa pursottaessa.

Kuva 15. Uritettu hammaspyörä. (Landry, 2016)

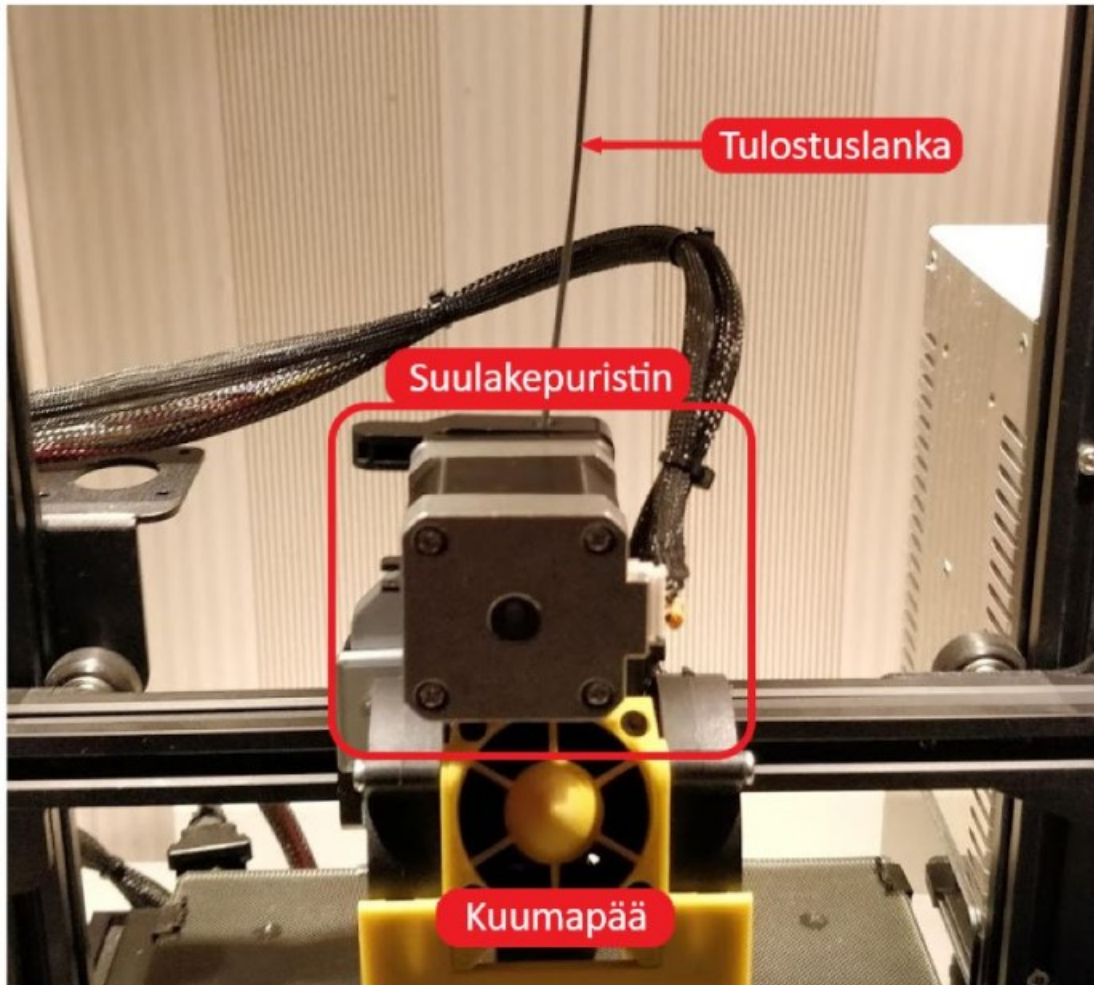


Suulakepuristimen toimintamallien tyyppejä on kahta erilaista, jotka erottavat toisistaan suulakepuristimen sijainnin suhteen. Suorapursotuksessa suulakepuristin on asennettu suoraan liikkuvalla kuumapäälle, toisin kuin ohjainputkella varustetussa pursotuksessa, jossa tulostuslanka ohjataan ohutta putkea pitkin kuumapäälle suulakepuristimen ollessa kiinteästi paikallaan 3D-tulostimen rungossa.

Suorapursotuksen (Kuva 16) etuna on lyhyt pursotuksen etäisyys suulakepuristimelta kuumapäälle. Lyhyessä etäisyydessä reagoitokyky on parempi, mikä voi vaikuttaa sulan muovimassan pienempään valumiseen suuttimesta sekä parempaan tulostuslaatuun. Tulostuslangan ja ohjainputken tuottaman kitkan puuttumisen vuoksi suorapursotuksessa tarvittava vääntö on pienempi, jolloin voidaan käyttää pienempää ja kevyempää askelmoottoria. Suorapursotuksella joustavien materiaalien tulostaminen voi olla myös helpompaa suulakepuristimen ja kuumapään lyhyen etäisyyden vuoksi. Suorapursotuksen heikkouksia kuumapään nopeissa liikkeissä ovat liikkuvan massan tuottamat ongelmat, kuten rungon värinästä aiheutuva 3D-tulostuksen epätasaisuus sekä askelmoottorin askeleen

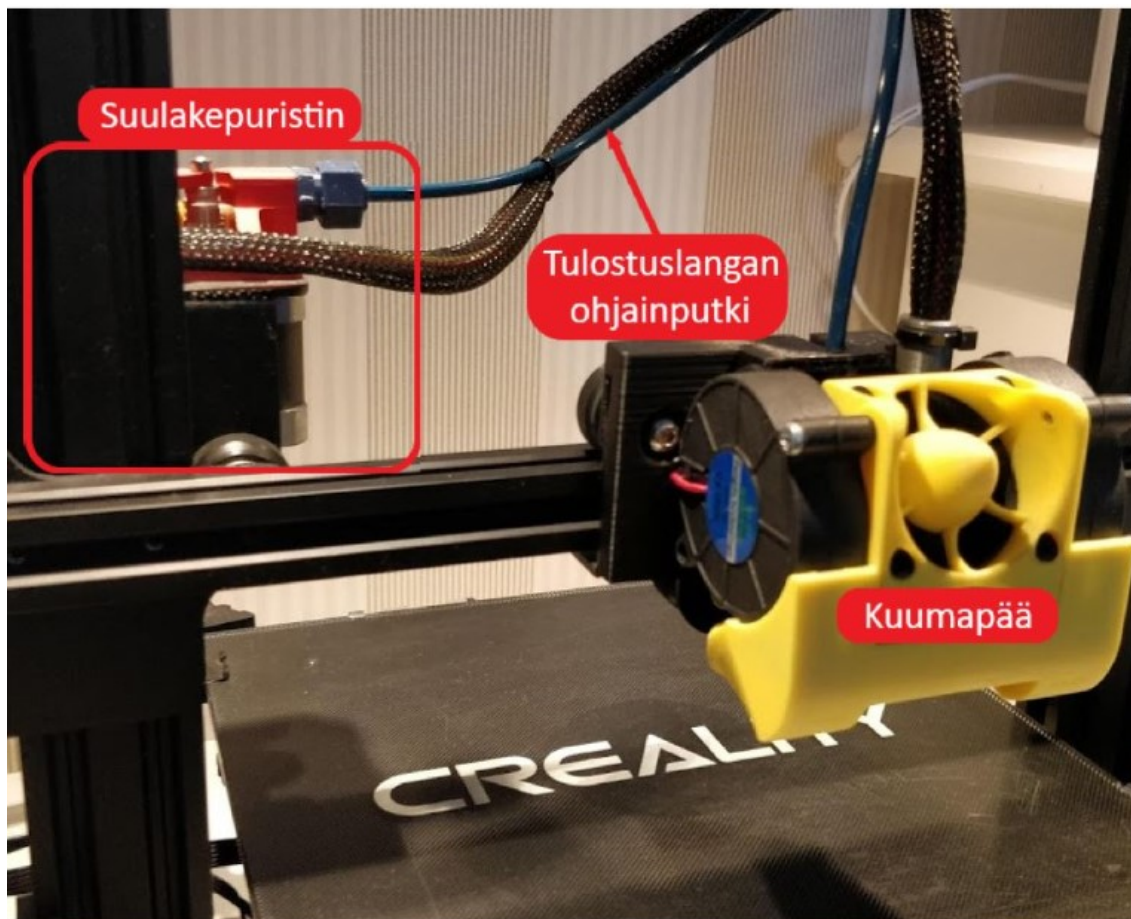
hyppäys. Isompi massa vaatii kuumapäätä liikuttavalta askelmoottorilta enemmän vääntöä, jolloin askelmoottori kuumenee enemmän.

Kuva 16. Suorapursotus.



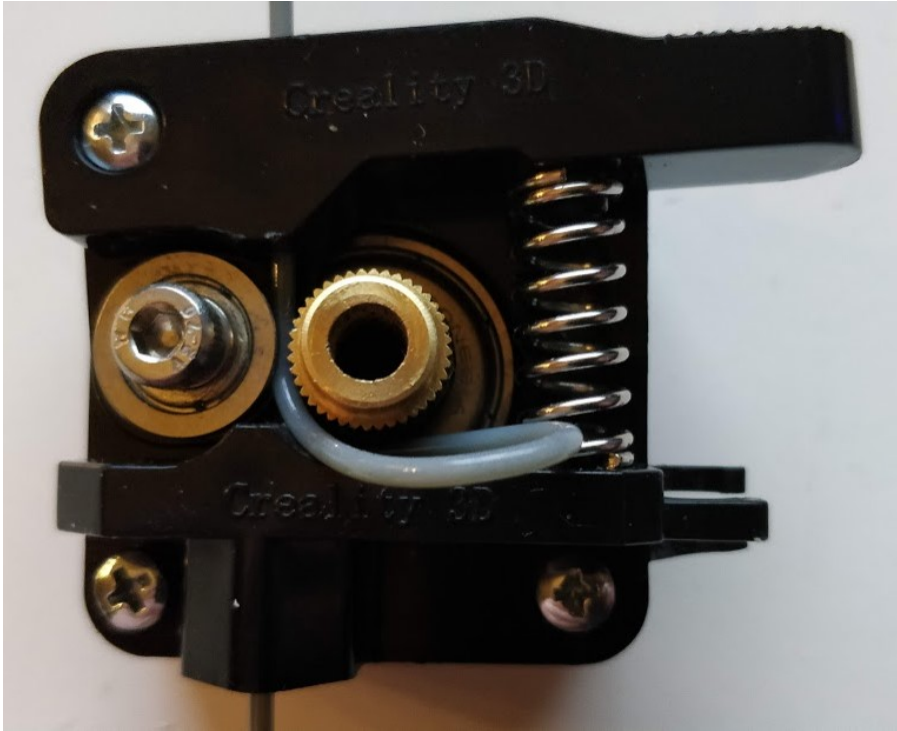
Ohjainputkella varustetussa pursotuksessa (Kuva 17) kuumapään liikkuva massa on huomattavasti pienempi, jolloin tulostusnopeus sekä tarkkuus ovat parempia kuin suorapursotuksessa. Pursotuksen aikana tulostuslangan sisäänvedon säätäminen sekä sulan muovimassan valuminen voivat olla ongelmallisia pitkän ohjainputken sekä siitä johtuvien liikkeiden viiveen vuoksi. Joustavien materiaalien 3D-tulostaminen voi olla hankalaa ohjainputken ja tulostuslangan synnyttämän kitkan vuoksi. Suuremman kitkan myötä edellytetään suulakepuristinta, jonka välityssuhdetta on muutettu väännön lisäämiseksi. (Landry, 2016)

Kuva 17. Ohjainputkella varustettu pursotus.



Suulakepuristimen päivitykseen kohdistuvia tavoitteita oli pystyä tulostamaan joustavia materiaaleja kärsimättä tulostusnopeudesta sekä laadusta. Kokemuksen mukaan alkuperäisellä Ender 3:n suulakepuristimella ei pysty joustavia materiaaleja tulostamaan. Tulostuslangan kulkureitti pursottavalta mekanismilta ohjainputkeen on valmistettu liian suurella toleranssilla, jolloin joustava tulostuslanka pääsee puristumaan ja kulkeutumaan pursottavan mekanismin väliin (Kuva 18).

Kuva 18. Ender 3:n tukkeutunut suulakepuristin.



Ender 3 suulakepuristimen heikkouksia on myös 1:1 välityssuhteella toimiva rakenne, joka aiheuttaa huonolla vääntömomentillaan heikkoja tulostuksia, epätasaista pursotusta sekä askelmoottorin kuumenemista. Uudeksi suulakepuristimeksi valikoitui Bondtech valmistajan BMG tyyppinen malli, jonka pystyy helposti kiinnittämään Ender 3:n suulakepuristimen alkuperäiselle paikalle tai tarvittaessa suoraan kuumapähkään. Bondtech:n valmistama malli maksaa 94 euroa, joten vaihtoehdoksi tilattiin TriangleLab:n valmistama kopio hintaan 26 euroa.

Bondtech BMG on kevyt ja voimakas suulakepuristin 3:1 välityssuhteella, joka soveltuu käytettäväksi suorapursotuksessa sekä ohjainputkella varustetussa pursotuksessa (Kuva 19). Pursotettavaksi soveltuu kaikki tulostusmateriaalit. Suulakepuristimen rakenne on suljettu ja tulostuslangan kulkureitti on suunniteltu pienillä toleransseilla, jolloin joustavan materiaalin pursottaminen on vaivatonta. Hammaspyörät on valmistettu työkaluteräksestä ja pursotusmekanismi on rakennettu manuaalisesti säädettäväksi, jolla hammasrattaiden purevuutta tulostuslangalle voidaan tarkasti säätää. (Matterhackers, n.d.)

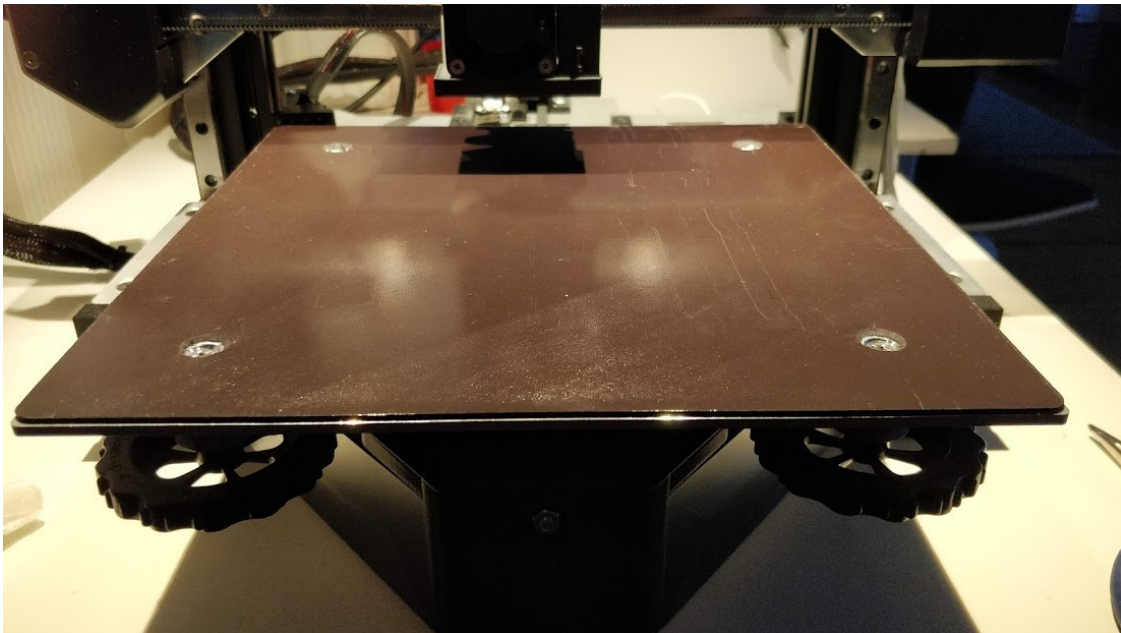
Kuva 19. Bondtech BMG. (Matterhackers, n.d.)



3.1.6 Automaattinen tulostusalustan säätö

Tulostusalustan suoruus sekä säätäminen suuttimeen nähden on kriittinen tekijä onnistuneiden ja tarkkojen 3D-tulostuksien aikaansaamiseksi. Tyypillisesti säätäminen tehdään manuaalisesti säädettävillä ruuveilla tulostusalustan tasoittamiseksi (Kuva 20). Tulostusalustan säätö voi muuttua useiden 3D-tulostimen käyttötuntien myötä, jolloin aikaa vievä ja työläs manuaalinen säätäminen joudutaan tekemään aina uudestaan. Huonosti säädetty tulostusalusta voi aiheuttaa ensimmäisen pursotuskerroksen heikkoa tulostusmateriaalin tarttuvuutta tulostusalustaan. Liian lähelle suutinta säädetty tulostusalusta voi johtaa tukoksiin tai tulostusalustan naarmuihin ja rikkoutumiseen.

Kuva 20. Manuaalinen tulostusalustan säätö.



Automaattinen tulostusalustan säätö tapahtuu tulostuspään suuttimen lähelle asennetulla tulostusalustan tasomaisuutta mittaavalla sensorilla. 3D-tulostuksen alkuvaiheessa sensorin on tarkoitus mitata useasta kohdasta etäisyyttä tulostusalustan ja suuttimen välillä. Laiteohjelmisto käyttää sensorin mittaamia tietoja pursotuksen aikana säätämällä suuttimen korkeutta korjatakseen tulostusalustan epätasaisuuksia. (Simplify3D, n.d)

Ender 3 3D-tulostimen tulostusalusta on säädettävissä manuaalisesti tason kulmista eikä sisällä automaattisen tulostusalustan säätöä. Kokemuksen mukaan tulostusalustan säätäminen joudutaan tekemään useasti tulostuskertojen jälkeen. Tulostusalustan ja säätöruuvien välissä olevat heikot kierrejouset päästävät säätöruuvit pyörähtämään 3D-tulostuksen nopeissa liikkeissä, joten tilalle haluttiin tukevammia jousia, jotta säätö pysyisi muuttumattomana. Manuaalisten säätöruuvien ollessa vain tason kulmissa on huomattu, että tulostusalusta on keskeltä hieman reunoja alempana (Kuva 21). Tämä tuottaa ongelmia, jossa ensimmäisen kerroksen pursotusvaiheessa tulostusmateriaali ei tartu tulostusalustan keskelle ja reunoilla suutin on liian lähellä tulostusalustaa.

Kuva 21. Epätasainen tulostusalusta.



3D-tulostimeen haluttiin lisätä automaattinen tulostusalustan säätö, jotta säästetään aikaa vievältä tulostusalustan säätämiseltä. Tulostustason päälle on saatavilla erilaisia vaihdettavia pintoja, joihin pursotus tapahtuu. Vaihdettavien tulostustason pintojen ollessa eri korkuisia, haluttiin lisätä tulostusalustan mittaus sensori (Kuva 22), joka mittaa korkeutta tulostusalustan pinnasta. Antclabs valmistaa BLTouch-sensoria, jonka hinta on 42 euroa, joten valinta kohdistui Trianglelabin valmistamaan, toiminnoiltaan samanlaiseen sensoriin, joka on 12 euron hinnallaan huomattavasti edullisempi vaihtoehto.

Kuva 22. Tulostusalustan mittaus sensori.

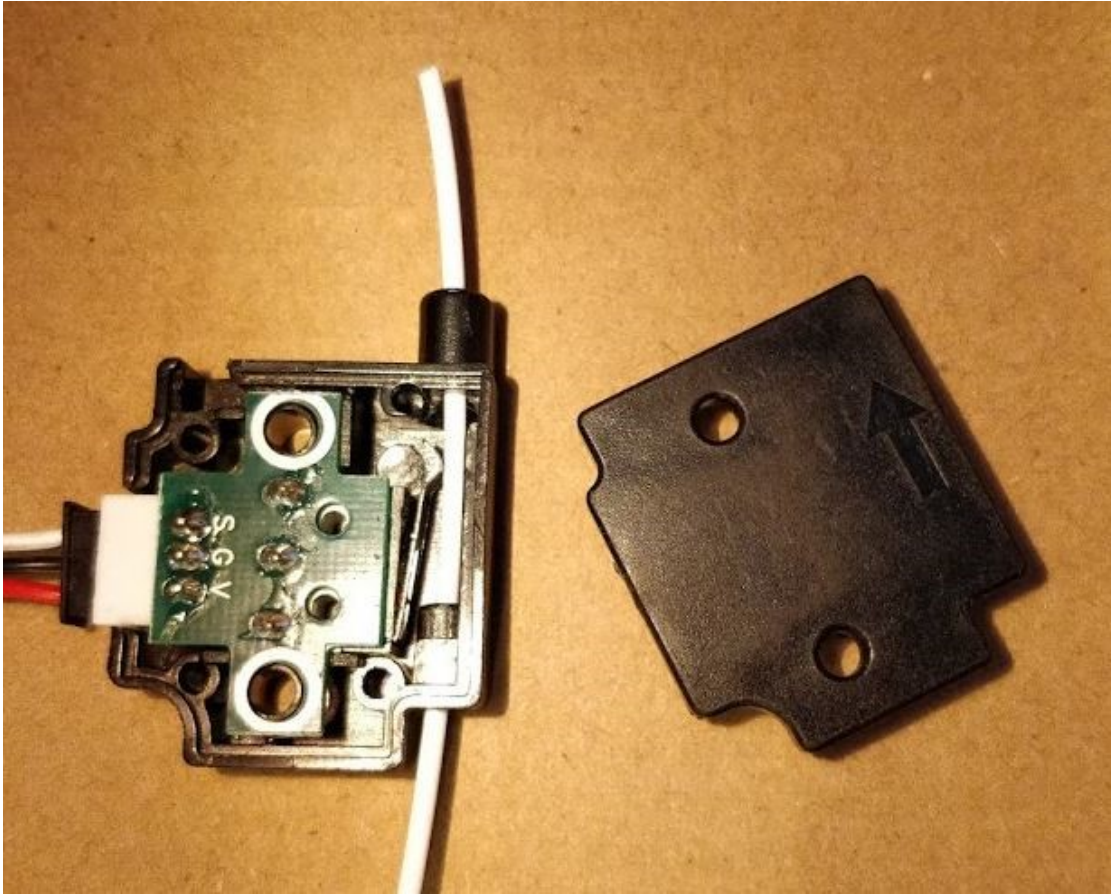


BLTouch-sensori on yksi tarkimmista ja luotettavimmista sensori, jota voidaan käyttää erilaisten tulostusalustan pintojen kanssa. Sensori koostuu mikro-ohjaimesta, solenoidikytkimestä ja liikkuvasta tunnistimesta, joka käy koskettamassa tulostusalustan pintaa mittaussprosessin aikana. (Bhavnagarwala, 2020)

3.1.7 Tulostuslangan tunnistin

Kokemuksen mukaan yksi 3D-tulostuksen aikana syntyvistä ongelmista on, että tulostuslanka saattaa loppua kesken ja 3D-tulostin jatkaa pursotusta ilman tulostuslankaa. Tämä voi johtaa 3D-tulostettavan mallin epäonnistumiseen, jos pursotusprosessia ei valvota. Ender 3:ssa ei ole tulostuslangan tunnistinta, jolloin 3D-tulostukseen tarvittavan tulostuslangan määrän arvioiminen on erittäin vaikeaa. Tulostuslankaa saattaa myös jäädä pieniä määriä rullaan, josta koituu materiaalihukkaa. Tulostuslangan tunnistimen tarkoituksena on havaita tulostuslangan loppuminen tai katkeaminen kesken 3D-tulostuksen. Tulostuslangan loppuessa tunnistin keskeyttää väliaikaisesti pursotuksen, jonka jälkeen tulostuslankaa voidaan turvallisesti lisätä. Tulostuslangan lisäyksen jälkeen 3D-tulostin jatkaa pursotusta keskeytykskohdasta, joka johtaa onnistuneeseen 3D-tulostukseen. Tulostuslangan tunnistimeksi valittiin koteloitu ja mekaanisesti toimiva rajakytkin (Kuva 23), jonka hinta on 3 euroa. Kokemuksen mukaan optiset tulostuslangan tunnistimet voivat aiheuttaa virheilmoituksia läpikuultavia tulostusmateriaaleja käyttäessä. Valintaan vaikutti tulostuslangan tunnistimen hinta sekä toimivuus kaikenlaisilla tulostusmateriaaleilla.

Kuva 23. Tulostuslangan tunnistin.



3.1.8 Trapetsikierretanko

Yksi Ender 3:n havaituista ongelmista on z-akselilla tapahtuvan nostoliikkeen epätasaisuus. Ender 3:ssa x-akseli ja sillä horisontaalisesti liikkuva tulostuspää on kiinnitetty z-akseliin, joka huolehtii tulostuspään vertikaalisista liikkeistä. Z-akselilla nostoliikkeet välitetään yhden trapetsikierretangon välityksellä X-akselin toisesta päädyistä, kun toinen pääty on tuettuna liikekomponentteineen rungon profiilia vasten. Pursotuksen aikana on havaittu ongelmia, jossa vapaan pään nostoliike ei vastaa trapetsikierretangolle annettua liikettä. Ongelma havaittiin tutkimalla x-akselilla tapahtuvaa nostoliikettä sekä 3D-tulostettujen mallien ulkopinnasta, jossa pursotuskerrokset olivat silminnähden epätasaiset (Kuva 24).

Kuva 24. Epätasaisuus pursotuskerroksissa.



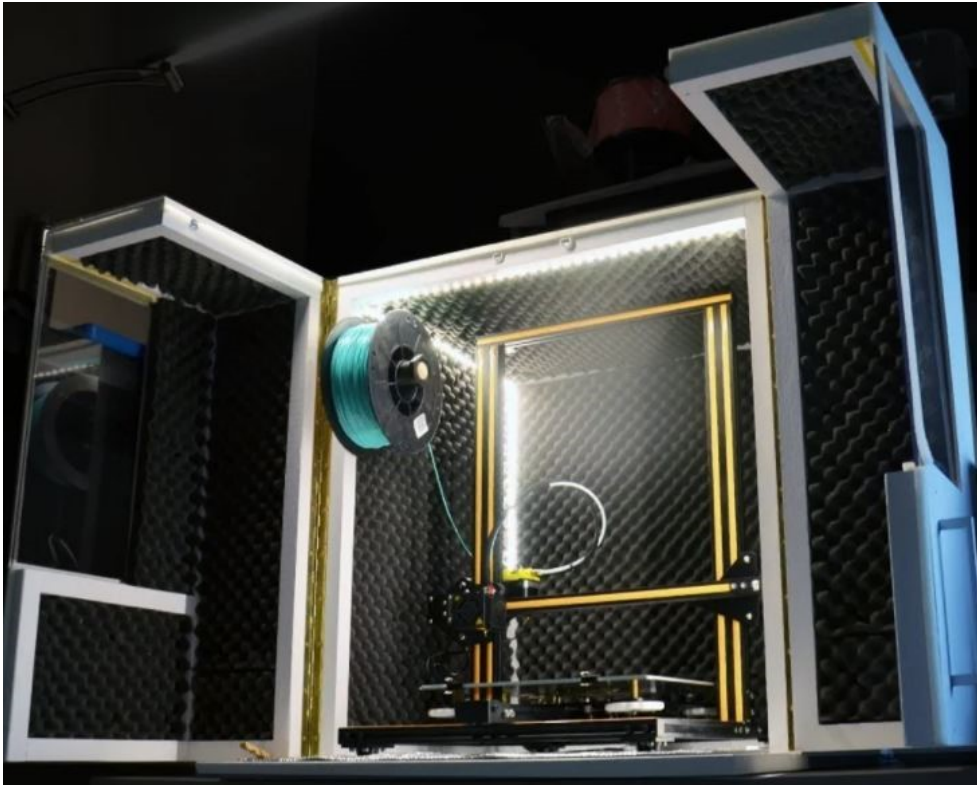
Epätasainen nostoliike x-akselin ääripäissä haluttiin korjata lisäämällä vapaaseen päähän toinen trapetsikierretanko. Trapetsikierretangon lisäämisellä haluttiin testata, korjaantuuko pursotuskerroksien epätasaisuus. Alkuperäisen trapetsikierretangon liikkeitä välitetään uudelle trapetsikierretangolle hihnan välityksellä, koska valitussa ohjainkortissa ei ole liitäntöjä ylimääräisille askelmootoreille. Muutokseen vaadittavat komponentit tilattiin yhteensopivuuden takaamiseksi vasta 3D-mallinnuksen jälkeen. Alkuperäistä vastaavan trapetsikierretangon, hihnan sekä hihnapyörien hinnaksi kertyi 12 euroa, Kiinasta toimitettuna.

3.2 3D-tulostimen kotelo

3D-tulostimen kotelon (Kuva 25) tarkoituksena on pitää tulostusympäristön lämpö tasaisena, jolla vähennetään pursotettavan mallin vääntymistä ja halkeilua tiettyjä tulostusmateriaaleja käytettäessä. Pursotuksen aikana tietyistä tulostusmateriaaleista syntyy myrkyllisiä höyryjä, joita kotelon on tarkoitus estää leviämästä huoneilmaan. Kotelo 3D-tulostimen ympärillä vähentää pursotuksen aikana syntyviä ääniä sekä suojaa 3D-tulostinta pölyltä. Kotelon sisäiset lämpötilat voivat nousta huomattavasti, joten 3D-tulostimen virtalähde, ohjainpaneeli sekä ohjainkortti kannattaa sijoittaa kotelon ulkopuolelle ongelmien

välttämiseksi. Jos kotelo ei ole valmistettu tulenkestävästä materiaalista, kannattaa kotelon sisälle asentaa palovaroitin. (Pires, 2020)

Kuva 25. 3D-tulostimen kotelo. (Pires, 2020)



3D-tulostimen kotelon lisäämisellä haluttiin parantaa tulostusympäristön lämpötilan säilymistä tasaisena pursotuksen aikana. Kotelosta haluttiin esteettinen, joka sulautuu kotiympäristöön. Kotelo suunniteltiin valmistettavaksi kahdesta Ikean valmistamasta pöydästä, polykarbonaattilevyistä sekä 3D-tulostetuista osista. Kahden pöydän sekä valmiiksi leikattujen polykarbonaattilevyjen hinnaksi kertyi yhteensä 62 euroa.

Virtalähteelle, ohjainpaneelille sekä ohjainkortille suunniteltiin yhteinen kotelo 3D-tulostamalla ja virtalähteen metallista runkoa hyödyntämällä. Virtalähteen sekä ohjainkortin tuulettimet poistettiin ja tilalle suunniteltiin yksittäinen suurempi tuuletin. Kaikkia Ender 3:n alkuperäisiä sähköjohtoja tulee pidentää, jotta komponenteille valmistuva kotelo saadaan 3D-tulostimen kotelon ulkopuolelle.

3.3 3D-mallinnus

Osien suunnittelussa on käytetty PTC Creo 4.0 3D-mallinnus ohjelmaa. Ender 3:n rungosta sekä uusista komponenteista luotiin 3D-mallit, jotka yhdistettiin 3D-tulostimen virtuaaliseen kokoonpanoon. Kokoonpanon luominen helpottaa 3D-mallien suunnittelua sekä muokkaamista, millä varmistetaan komponenttien yhteensopivuus sekä helppo asennus. Mallinnuksessa liikkuvilla osilla saadaan luotua oikeaa tuotetta vastaavat toiminnot sekä voidaan tarkistaa komponenttien esteettömät liikkeet. Lineaariset johteet määriteltiin kokoonpanossa liikkuviksi, jotta mallinnuksen aikana voidaan paremmin huomioida toiminnallisia mittoja sekä liikkuvia toimintoja. Uusia komponentteja varten täytyi suunnitella myös kiinnitysosia valmistettavaksi. Alumiinilevyt suunniteltiin leikattavaksi termisellä leikkausmenetelmällä, jota varten täytyi luoda tiedostot työn mahdollistamiseksi. 3D-tulostetut kiinnitysosat on pyritty suunnittelemaan tulostussuunnat huomioon ottaen sekä mahdollisimman vähällä tukimateriaalien käytöllä vähentämään materiaalihukkaa.

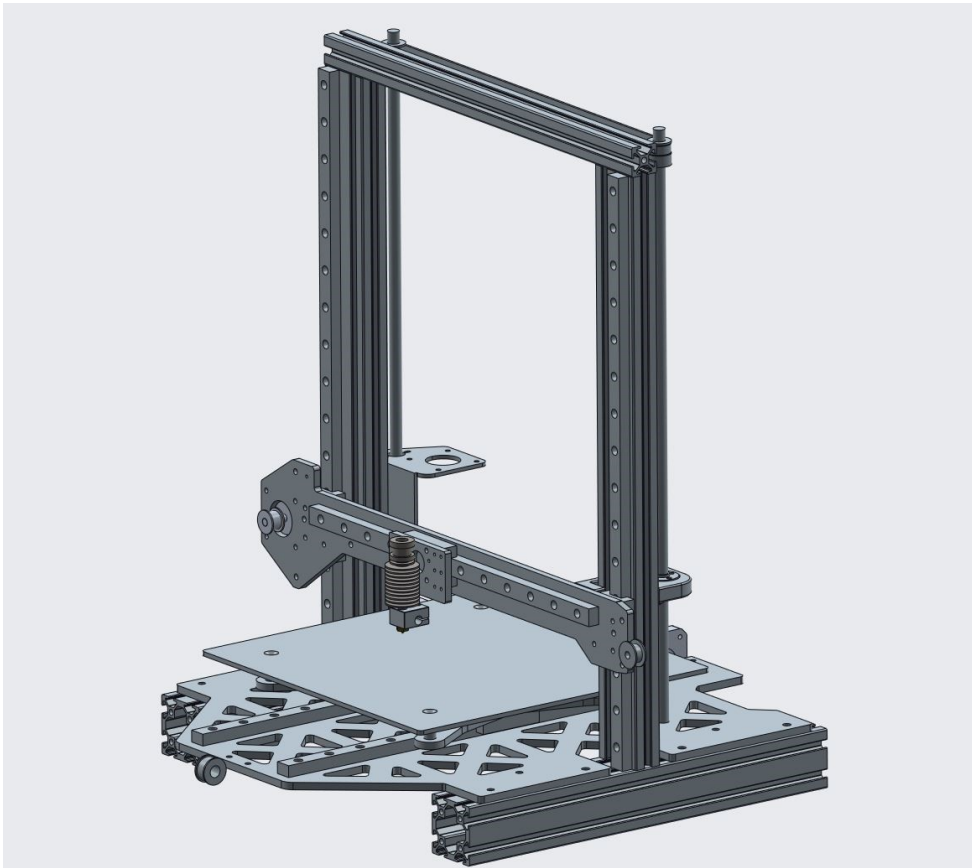
3D-mallinnuksen lähtökohtana alkuperäisestä Ender 3:sta mallinnettiin käytettävät osat, kuten runko, z-akselin askelmoottori sekä trapetsikierretanko kiinnikkeineen (Kuva 26).

Kuva 26. 3D-mallinnuksen lähtökohdat.

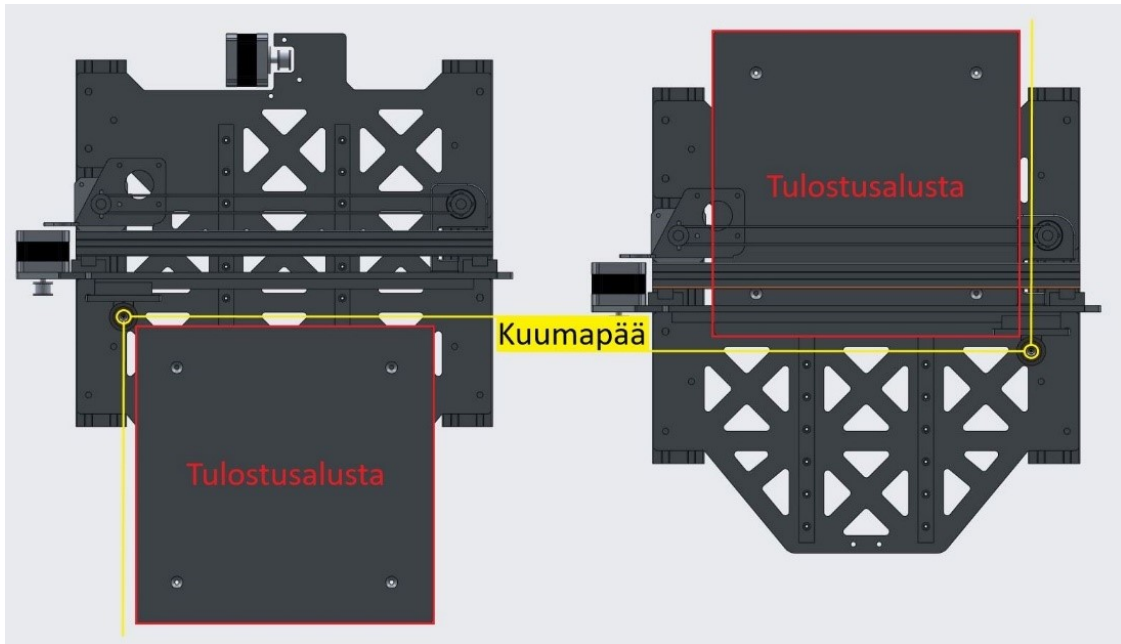


Tämän jälkeen rungon päälle suunniteltiin vesileikatut levyt, lineaarijohteet sekä liikkuvat osat (Kuva 27), jotta toiminnallisia mittoja voidaan helpommin huomioida. Tulostuspään suuttimen sekä tulostusalustan paikoitus on tärkeimpiä huomioon otettavia asioita, jotta koko tulostusala saadaan käyttöön. Ensin mallinnettiin z-akselin lineaarijohteet ja x-akselin kokoonpano, johon kuului alumiinilevy, askelmoottori, lineaarijohde sekä kuumapää. Tämän jälkeen mallinnettiin y-akselin kokoonpano alumiinilevyineen ja komponentteineen, jonka jälkeen tarkastettiin kuumapään vapaa liikkuvuus tulostusalustan ääripäihin (Kuva 28). Kuumapään vapaan liikkuvuuden sekä lineaarijohteiden asemoinnin varmistamisen jälkeen mallinnettiin lineaarijohteiden kiinnitykseen vaadittavat kiinnitysreiät. Alumiinilevyjen vesileikkausta varten luotiin dxf-tiedostot, jotka lähetettiin sähköpostilla Hämeen ammattikorkeakoulun laboratorioinsinöörille Tuukka Roihalle työstettäväksi.

Kuva 27. Toiminnallisten osien mallinnusvaihe virtuaalisessa kokoonpanossa.

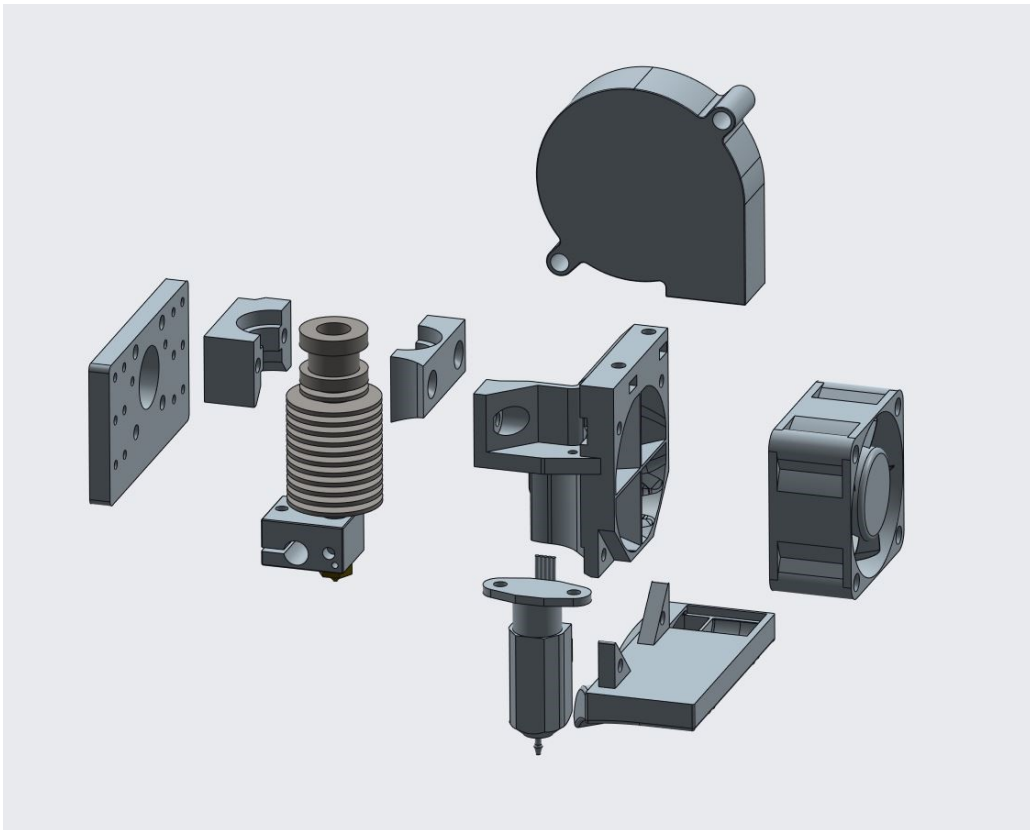


Kuva 28. Kuumapään toimintasäteen tarkastus tulostusalustan ääripäissä.



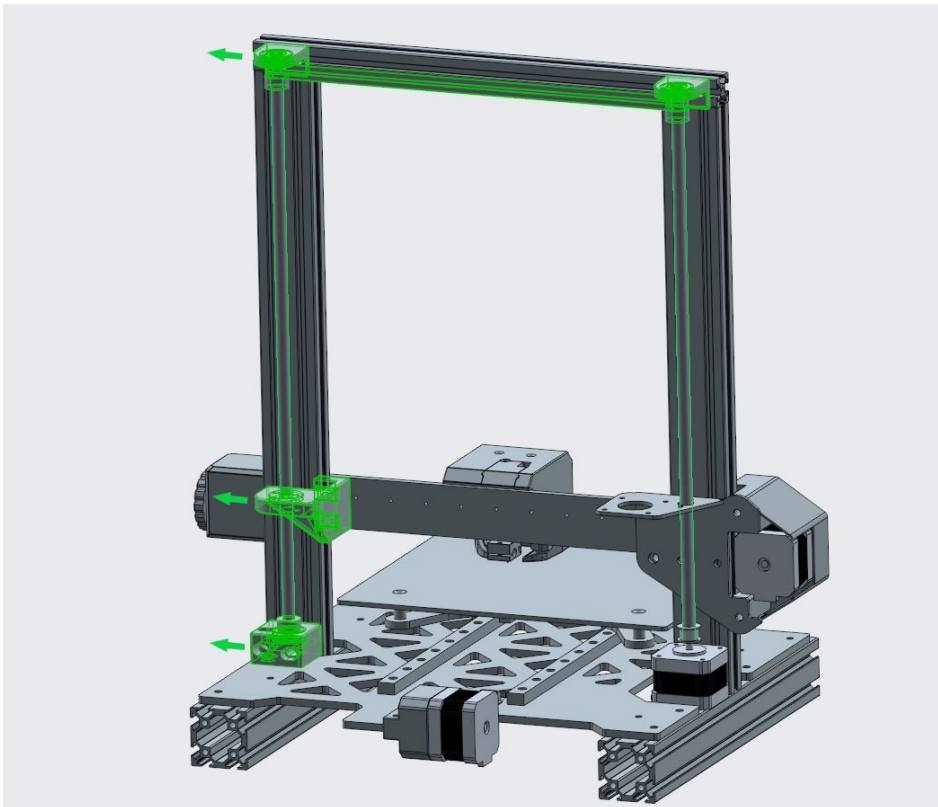
Tämän jälkeen mallinnettiin tulostettavat kiinnitysosat tulostuspäälle, johon kuului kuumapään lisäksi kuumapään tuuletin, tulostusalustan mittaus sensori sekä pursotuksen jäähdyttävä tuuletin (Kuva 29). Tulostuspään kokoonpanosta haluttiin helposti asennettava, jotta mahdollinen huoltaminenkin helpottuisi. Asennuslevyn mallinnettiin ensin kiinnitys kuumapäälle, jonka päälle mallinnettiin tuulettimien telineet sekä tulostusalustan mittaus sensori. Kaikki komponenttien kiinnitysosat suunniteltiin kiinnitettäväksi erikseen, jotta huoltaminen olisi helpompaa. Tulostusalustan mittaus sensorin valmistajan antama toiminnallinen mitta huomioitiin telinettä mallinnettaessa.

Kuva 29. Räjätyskuva tulostuspään komponenteista sekä tulostettavista osista.



Toista trapetsikierretanko varten suunniteltiin tulostettavat kiinnikkeet siten, ettei uusi trapetsikierretanko pääse liikkumaan pystyasennossa, jotta vapaan pään nostoliikkeet saataisiin mahdollisimman tarkoiksi. Uuden trapetsikierretangon liikkeitä välitetään hihnalla toiselta trapetsikierretangolta, joten hihnan kiristykseen mallinnettiin tulostettavat kiinnitysosat, joita saa liikutettua ja kiristettyä sopivan hihnan kireyden varmistamiseksi. Trapetsikierretanko täytyy pystyä säätämään pystysuoraan z-akselin liikkeiden kanssa, jotta lineaariset liikkeet toimisivat huoletta. Kuva 30 nähdään virtuaalisessa kokoonpanossa vihreällä värillä tarvittavat kiinnitysosat, hihna, trapetsikierretangot sekä nuolilla merkattu hihnan kiristysuunta.

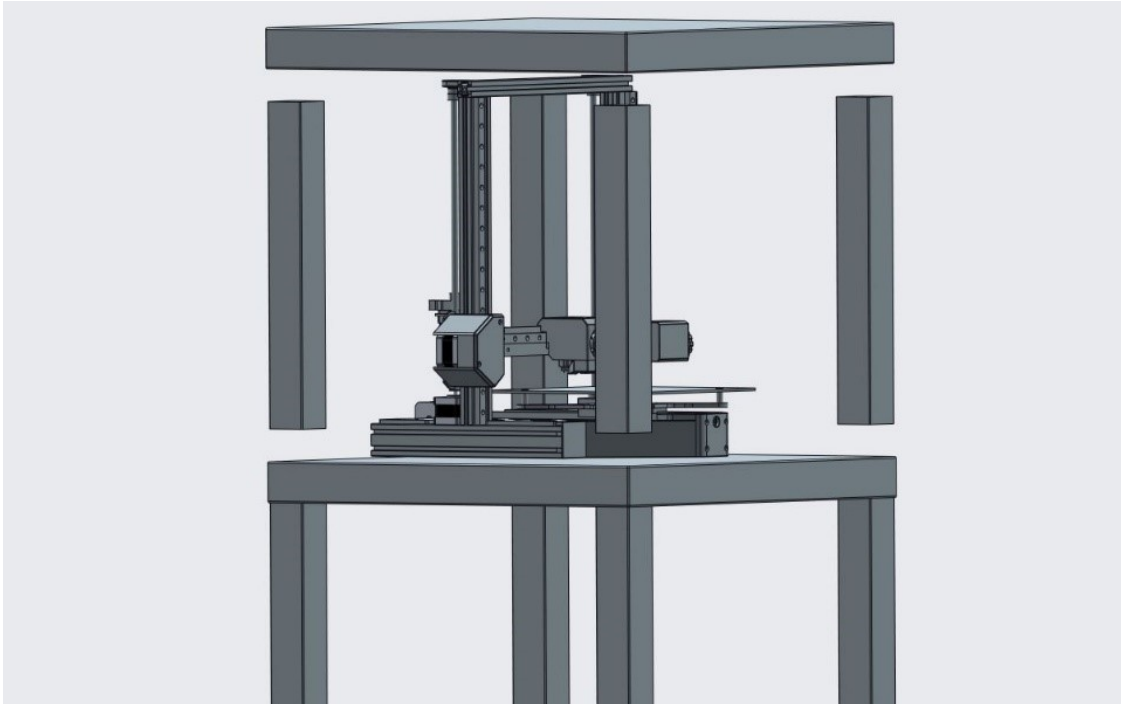
Kuva 30. Lisätyn trapetsikierretangon sekä kiinnitysosien virtuaalinen kokoonpano.



X- ja y-akselien päihin mallinnettiin hihnankiristimet, joilla hihnat saadaan säädettyä tarvittavalle kireydelle. Paremman ulkonäön luomiseksi mallinnettiin lopuksi x-akselin komponenteille sekä y-akselin etupuolelle kuoret.

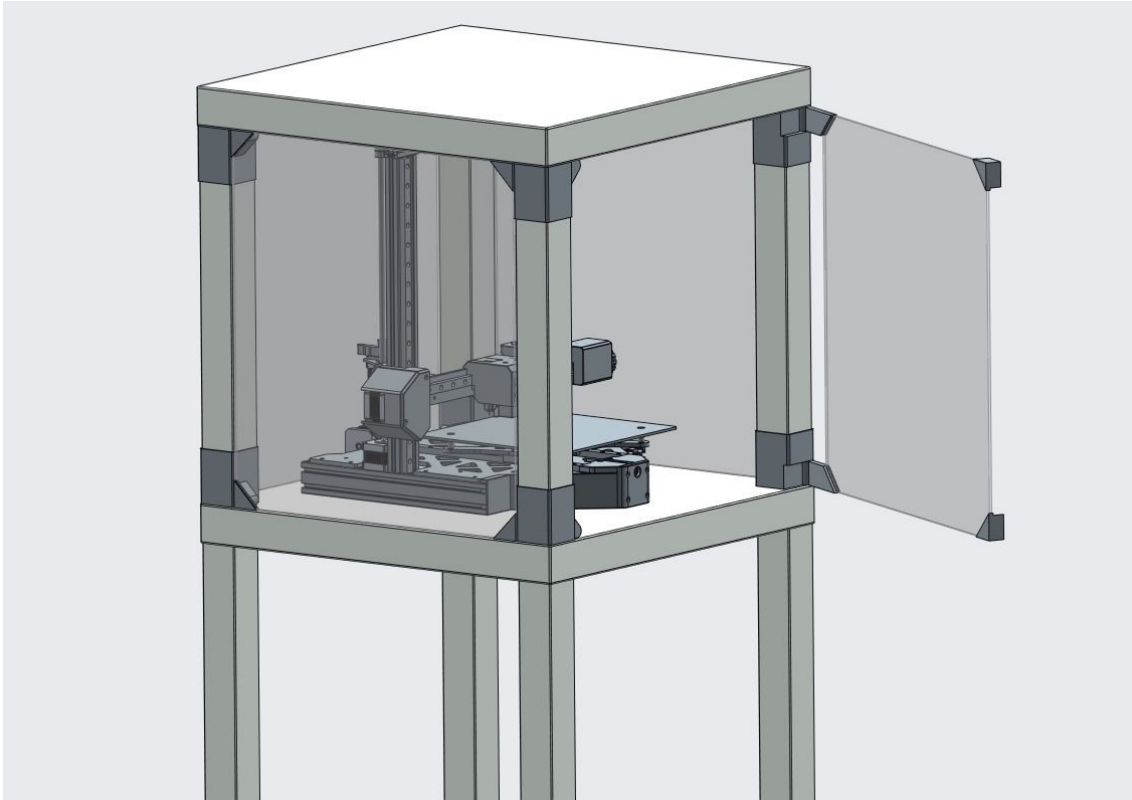
3D-tulostimen kotelon suunnittelussa käytettiin kahta Ikeasta hankittua pöytää, jota jatkettiin tulostetuilla osilla sekä polykarbonaatista valmistetuilla levyosilla. Pöydän tasoista sekä jaloista luotiin virtuaalinen kokoonpano, johon liitettiin 3D-tulostimen virtuaalinen kokoonpano korkeuden määrittystä varten (Kuva 31).

Kuva 31. 3D-tulostimen ja kotelon kokoonpano korkeuden määrittystä varten.



Pöydän jalkoihin mallinnettiin korokepalat, koska 3D-tulostin ei mahtuisi muuten korkeudestaan kotelon sisälle. Korokepaloihin suunniteltiin pieniä magneetteja varten siivekkeet, joilla 3 millimetriä paksut polykarbonaatista valmistetut levyosat saataisiin kiinni. Lisäksi kahteen korokepalaan mallinnettiin saranat ja kahvat ovea varten, jotta 3D-tulostinta päästäisiin helpommin käsittelemään. Kuva 32 nähdään kotelon valmis virtuaalinen kokoonpano, jossa pöydän osat näkyvät valkoisella ja tulostettavat osat harmaalla.

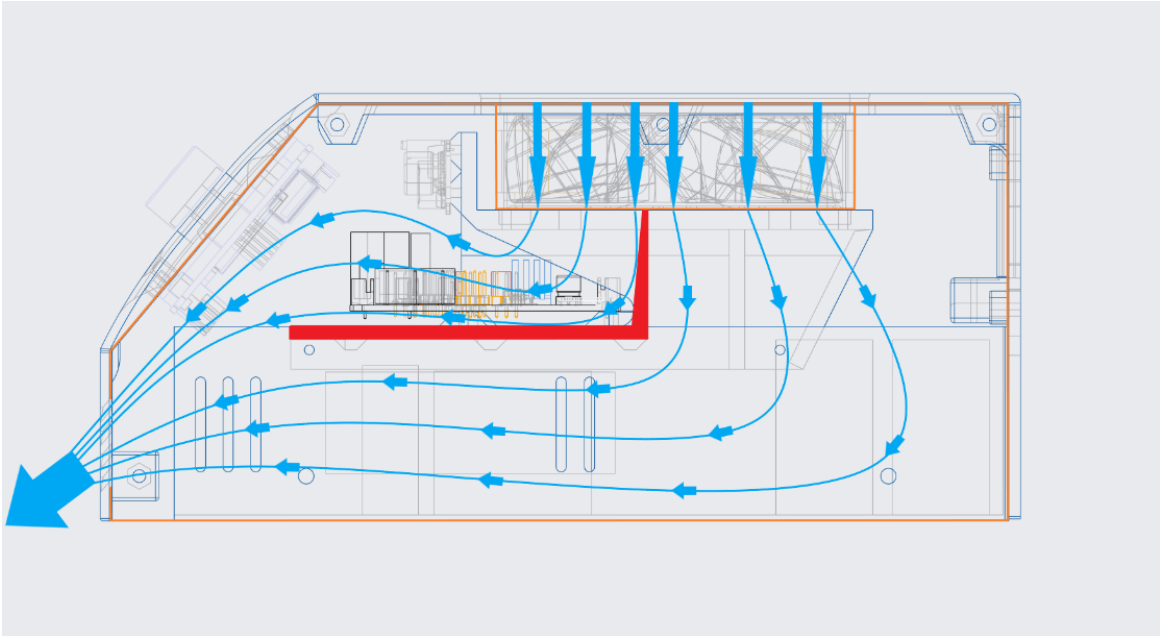
Kuva 32. Kotelon valmis virtuaalinen kokoonpano.



Siirrettävien komponenttien kotelon mallinnus aloitettiin mallintamalla alkuperäinen virtalähde, johon kaikki komponentit telineineen ja kuorineen kiinnitettäisiin.

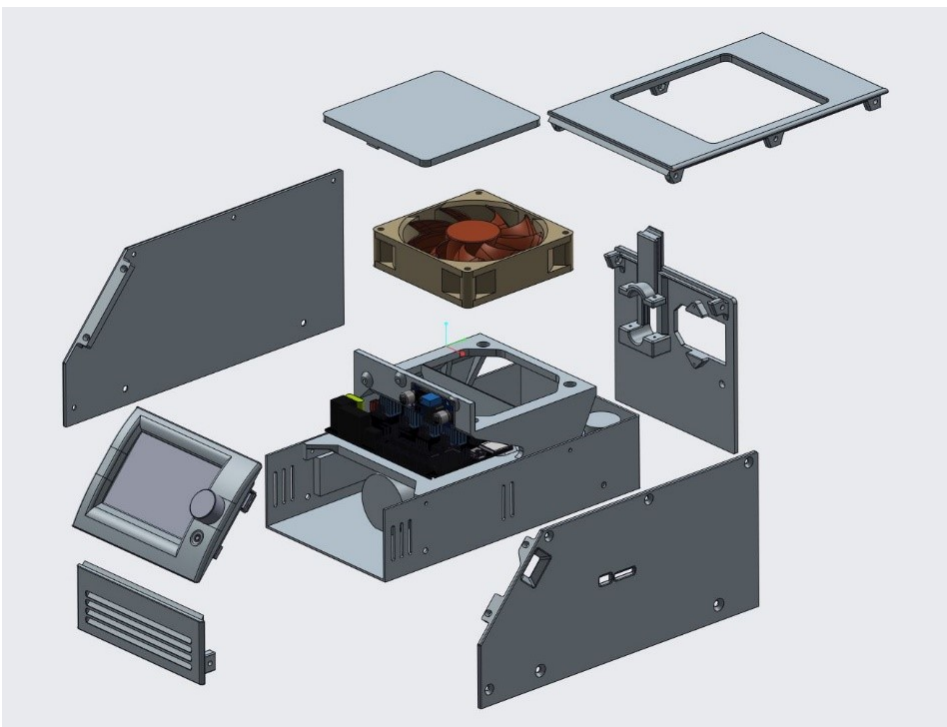
Komponenttikotelon suunnittelussa otettiin huomioon tuuletusilman kiertokulku yhdeltä tuulettimelta, jotta välttyttäisiin komponenttien ylikuumenemiselta. Kuva 33 nähdään punaisella merkattuna ohjainkortin teline ja sinisellä merkattuna jaetun jäähdytysilman kulkusuunta tuulettimelta kotelon ulkopuolelle.

Kuva 33. Jaetun jäähdytysilman kulkusuunta tuulettimelta kotelon ulkopuolelle.



Komponenttikotelon kuoret on mallinnettu helposti tulostettaviksi levyosiksi. Levyosat on suunniteltu kiinnitettäväksi joko toisiinsa tai virtalähteen alkuperäisille paikoille ruuviliitoksin. Kuva 34 nähdään kaikki komponenttikotelon 3D-tulostetut osat, sähköiset komponentit sekä alkuperäinen virtalähde.

Kuva 34. Räjätyskuva komponenttikotelosta.



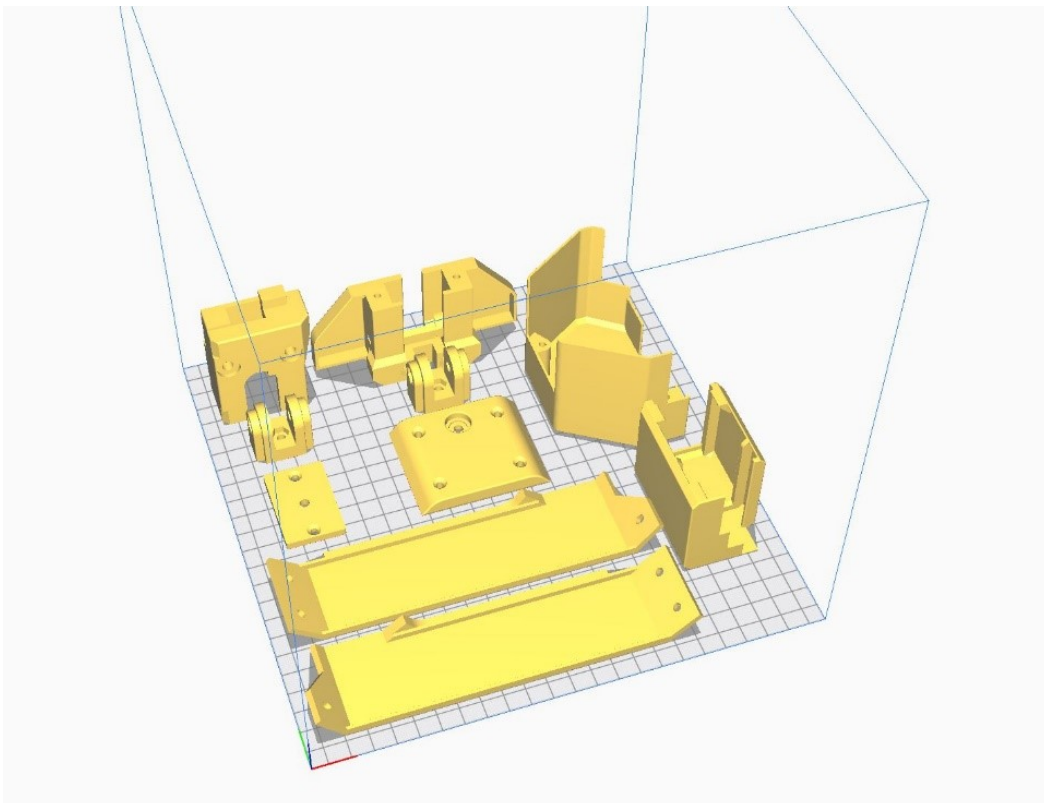
4 Osien valmistus

Muutoksiin vaadittavat osat on valmistettu 3D-tulostamalla tai viiden millimetrin alumiinilevystä vesileikkaamalla. Työhön vaadittavat alumiiniset levyosat on järjestänyt ja työstänyt Hämeen ammattikorkeakoulun laboratorioinsinööri Tuukka Roiha.

4.1 Tulostettavat osat

3D-tulostettavia osia varten luodut stl-tiedostot siirrettiin 3D-tulostuskäyttöön tarkoitettuun Ultimaker Cura -viipalointiohjelmaan. Cura-viipalointiohjelma luo ohjelmaan asetetuista 3D-malleista g-koodin, joka siirretään 3D-tulostimelle tulostusta varten. 3D-tulostettaviin osiin käytettiin PETG tulostuslankaa, joka kokemuksen mukaan soveltuu hyvin kiinnikeosiin käytettäväksi. 3D-tulostettavat osat pyrittiin suunnittelemaan orientaatiot ja tulostussuunnat huomioon ottaen, jolla vähennettiin tulostuksessa käytettävää tukimateriaalien käyttöä. Kuva 35 on esimerkki x- ja y-akselille tulostettujen hihnankiristimien sekä peitelevyjien orientaatioista cura-viipalointiohjelmassa.

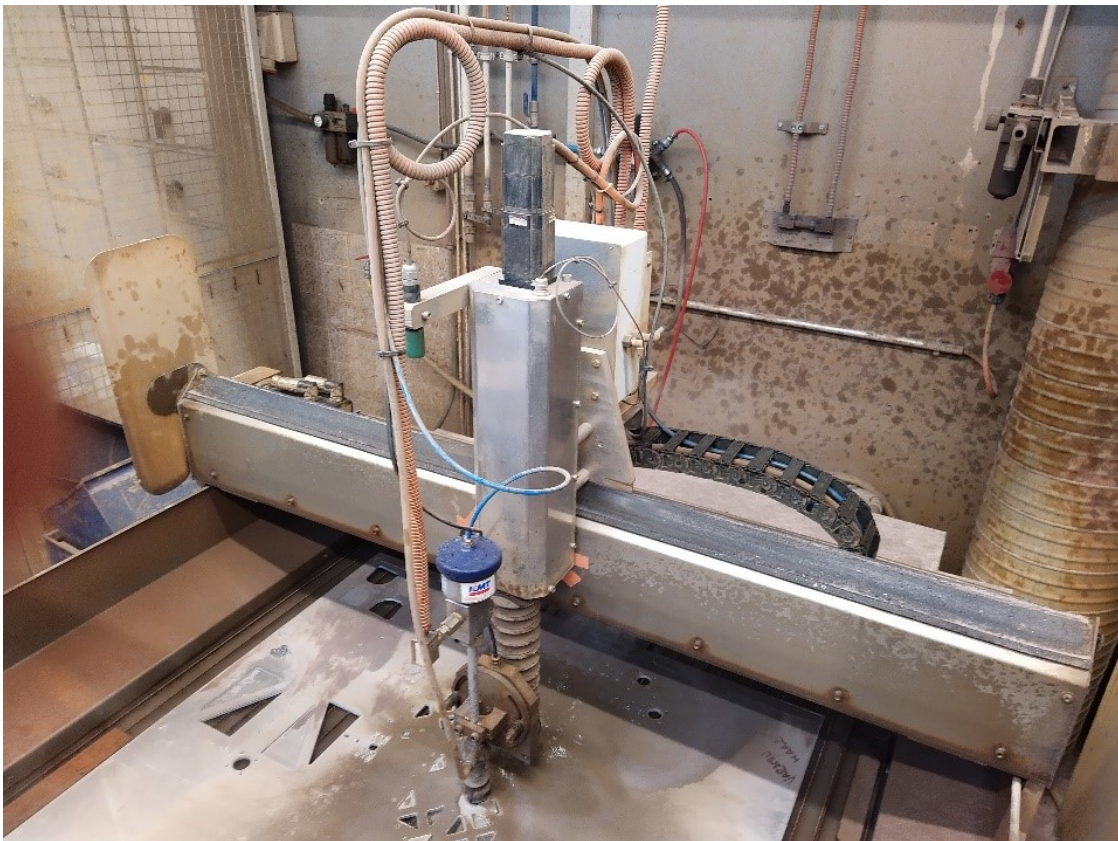
Kuva 35. 3D-tulostettujen osien orientaatiot cura-viipalointiohjelmassa.



4.2 Vesileikatut osat

Alumiinisia levyosia varten luodut dxf-tiedostot lähetettiin sähköpostilla Hämeen ammattikorkeakoulun laboratorioinsinööri Tuukka Roihalle, joka vesileikkasi työhön vaadittavat levyt Riihimäen Hyria ammattiopistolla. Kuva 36 on käynnissä vesileikkausprosessi, jonka kuvaajana on toiminut Tuukka Roiha.

Kuva 36. Levyosien vesileikkausprosessi.



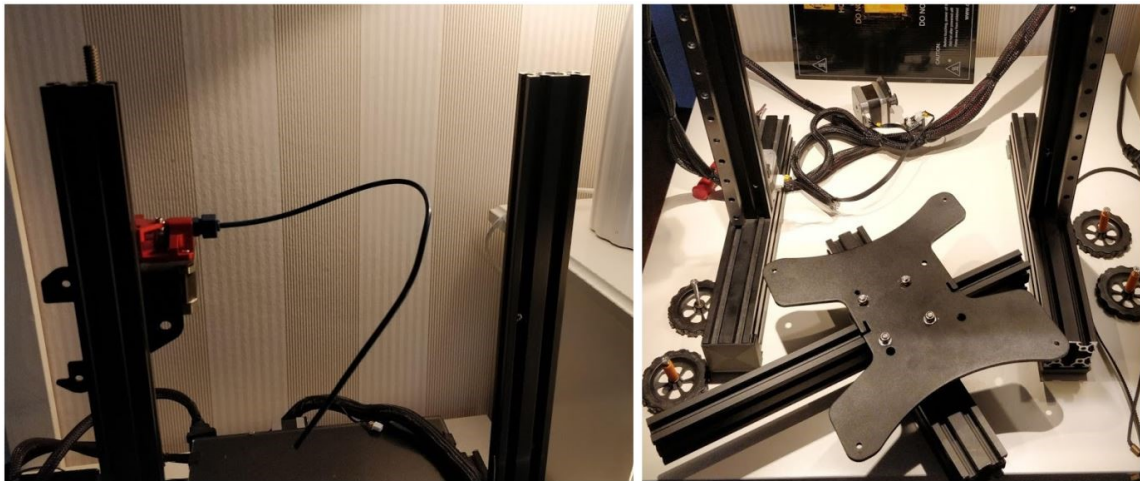
Vesileikatuista levyosista poistettiin terävät reunat hiomalla. Tarvittavat reiät kierteytettiin, jonka jälkeen poistettiin purseet.

5 Kokoonpano

Ender 3 3D-tulostinta täytyi purkaa ennen varsinaista kokoonpanoa, jotta uusien komponenttien asentaminen onnistuisi. Lähtökohtana oli, että X- ja z-akselien kokoonpano pystytään suorittamaan kokonaisuudessaan valmiiksi ja erillään y-akselista, joka helpottaa purku ja kokoonpano vaiheita (Kuva 37). Suurimmat suunnitellut muutokset koskevat

linearijohteita sekä vesileikattuja levyjä, joten alkuperäisestä 3D-tulostimesta jätettiin purkamisen jälkeen vain kiinteät runkoprofiilit. Alumiinilevyihin kiinni tulevien komponenttien yhteensopivuus testattiin, jonka jälkeen alumiinilevyt sekä linearijohteet sovitettiin paikalleen ilman kiinnitystä kokoonpanon onnistumisen varmistamiseksi. Kaikki kokoonpanon kiinnitykset on tehty ruuviliitoksin.

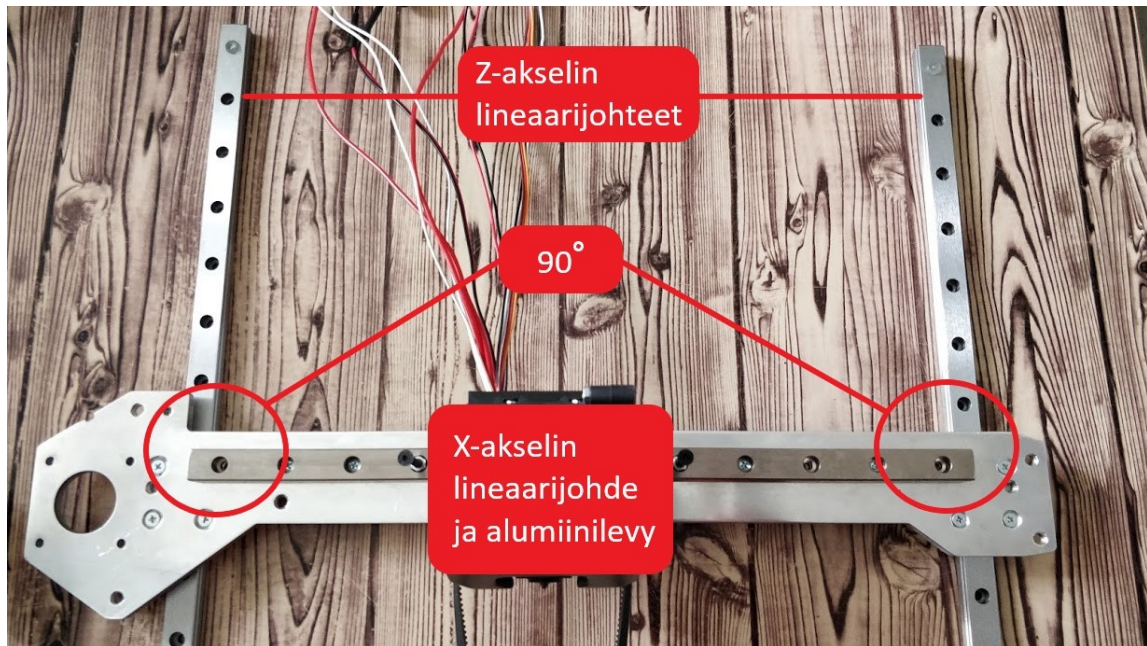
Kuva 37. Kokoonpanon lähtökohdat.



5.1 X- ja z-akseli

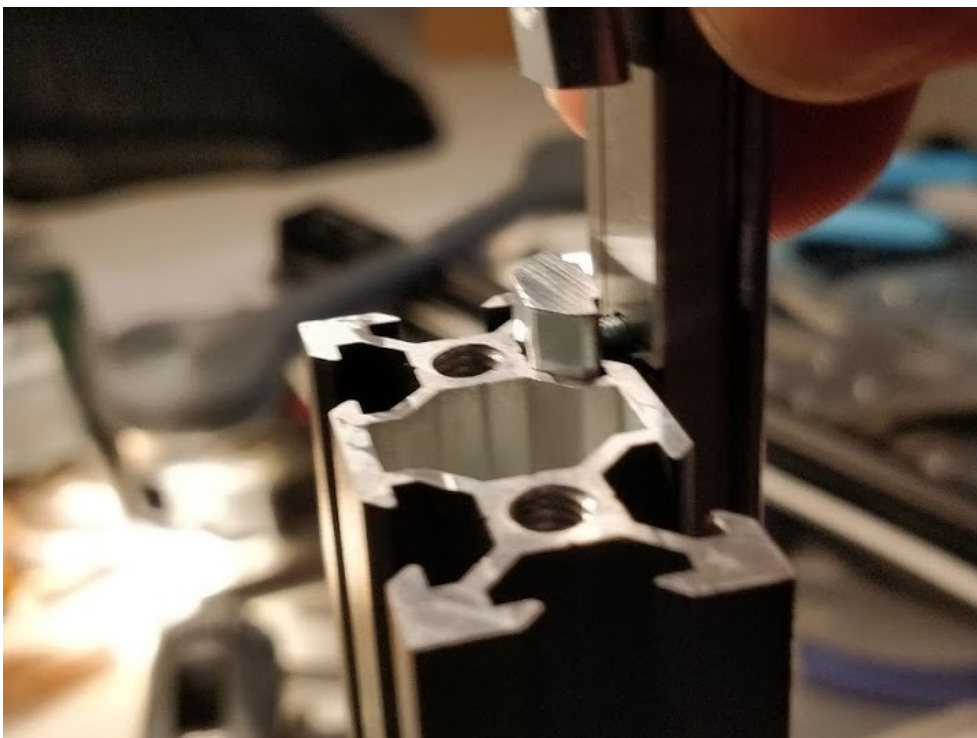
Kokoonpano aloitettiin asentamalla x-akselin alumiinilevy z-akselin linearijohteisiin (Kuva 38). Alumiinilevyyn asennettiin väliaikaisesti myös x-akselin linearijohde, jotta x- ja z-akselin linearijohteet saatiin kohtisuoraan toisiaan vasten 90 ° kulmamittaa apuna käyttäen.

Kuva 38. X- ja z-akselin kokoonpano.



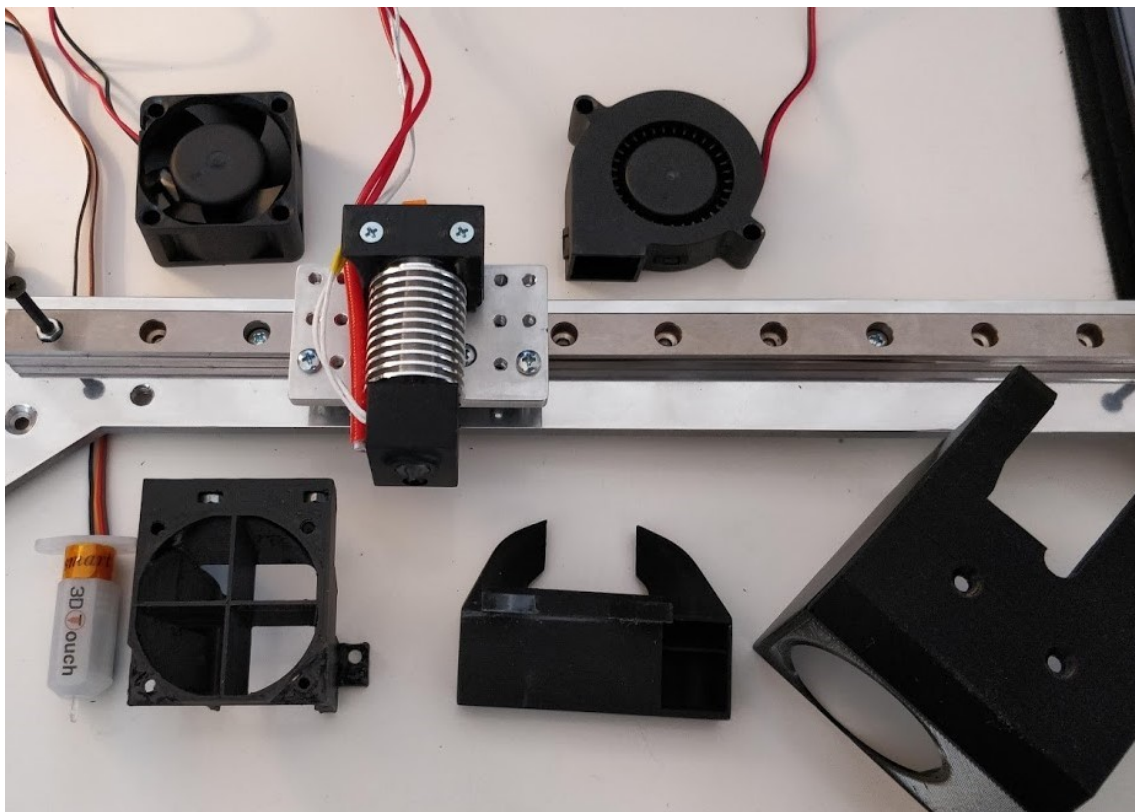
X- ja z-akselin komponentit asennettiin kokoonpantuna rungon profileihin. Z-akselin linearijohteisiin asennettiin runkoprofiilin uraan soveltuvat mutterit ruuviliitoksin, jonka jälkeen linearijohteet muttereineen pujotettiin rungon yläosasta paikalleen (Kuva 39).

Kuva 39. Z-akselin linearijohteiden asennus.



Rungon yläpalkin kiinnityksen jälkeen tarkastettiin komponenttien ja rungon kohtisuus sekä yhdensuuntaisuus 90° kulmamittaa apuna käyttäen. Asennuksen jälkeen testattiin akselien toiminta sekä vapaa liikkuvuus ääri-asennoissa. Liikekomponenttien asennuksen jälkeen kokoonpantiin x-akselin lineaarijohteelle tulostuspään komponentit (Kuva 40). Tulostusalustan mittaus sensori sekä kuumapää tuulettimiseen asennettiin lineaarijohteen vaunuun liitetyn kiinnityslevyn avulla. Asennettaessa tuli ottaa huomioon komponenttien kohtisuus sekä tiukka kiinnitys heilumisen estämiseksi.

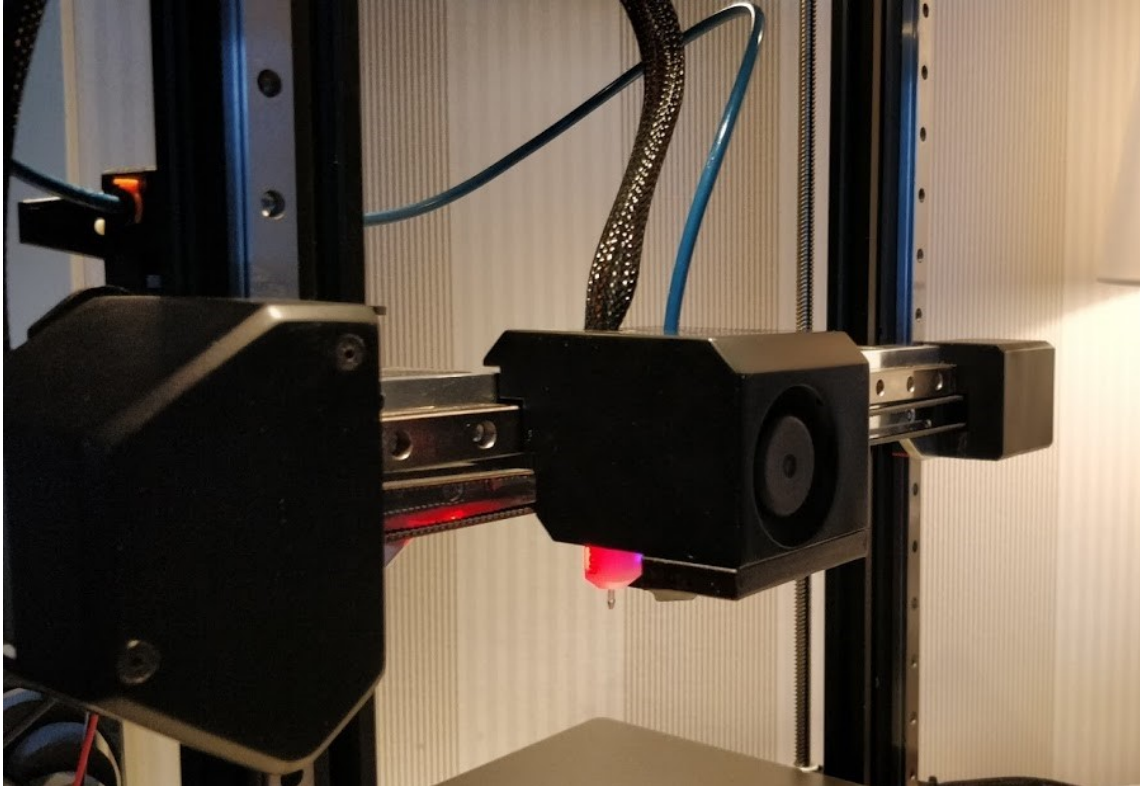
Kuva 40. Tulostuspään komponenttien kokoonpano.



Seuraavaksi x-akselin alumiinilevyn molempiin päihin kiinnitettiin z-akselin trapetsikierretankojen kiinnityslevyt, jonka välityksellä nostoliikkeet saadaan toimimaan. X-akselille asennettiin myös askelmoottori, hihnan kiristin sekä rajakytkin. X-akselin liikkeitä välittävä hihna pujotettiin ja kiinnitettiin paikalleen, jonka jälkeen hihna kiristettiin sopivalle kireydelle. Toinen trapetsikierretanko lisättiin kiinnitysosiineen x-akselin vapaaseen päähän sekä pujotettiin hihna paikalleen. Lisätyn trapetsikierretangon linjaus sekä hihnan kiristys toteutettiin liikuttamalla x-akselia z-akselin ääripäissä samalla kiristäen kiinnitysruuvit. Tulostuspäälle tulevat sähköjohdot sukitettiin sekä kiinnitettiin tulostuslangan ohjainputki.

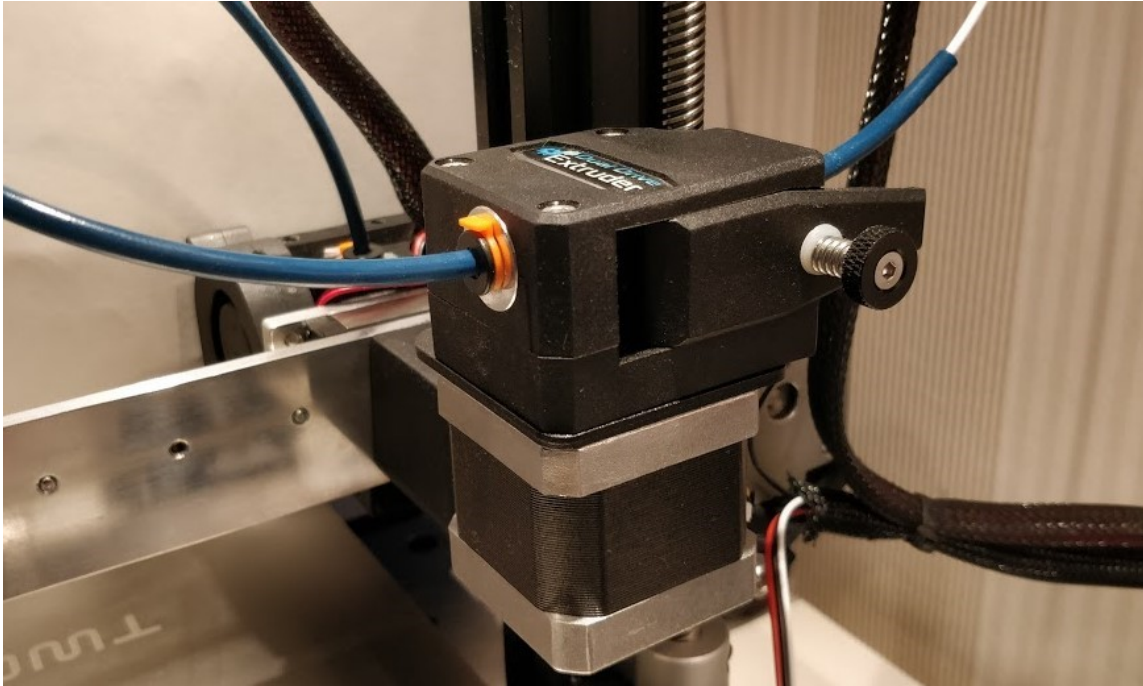
Tämän jälkeen asennettiin vielä suojakuoret paikalleen. Lopuksi valmiin kokoonpanon (Kuva 41) jälkeen tarkistettiin vielä komponenttien jouhevat ja esteettömät liikkeet sekä testattiin rajakytkimen toiminta.

Kuva 41. X-akselin lopullinen kokoonpano.



Uusi suulakepuristin asennettiin alkuperäiselle paikalle (Kuva 42), joka sijaitsee z-akselilla trapetsikierretangon kiinnityslevyssä. Suulakepuristimen kokoonpano suoritettiin valmistajan ohjeiden mukaisesti. Viimeiseksi asennettiin tulostuslangan ohjainputki paikalleen. Asennuksen jälkeen testattiin suulakepuristimen toiminta, jossa mitataan tulostusmateriaalin pursotuksen määrää. Uusi suulakepuristin on 3:1 välityssuhteella, joten laiteohjelmiston koodia täytyi muokata, jotta suulakepuristin pursottaisi oikean määrän materiaalia.

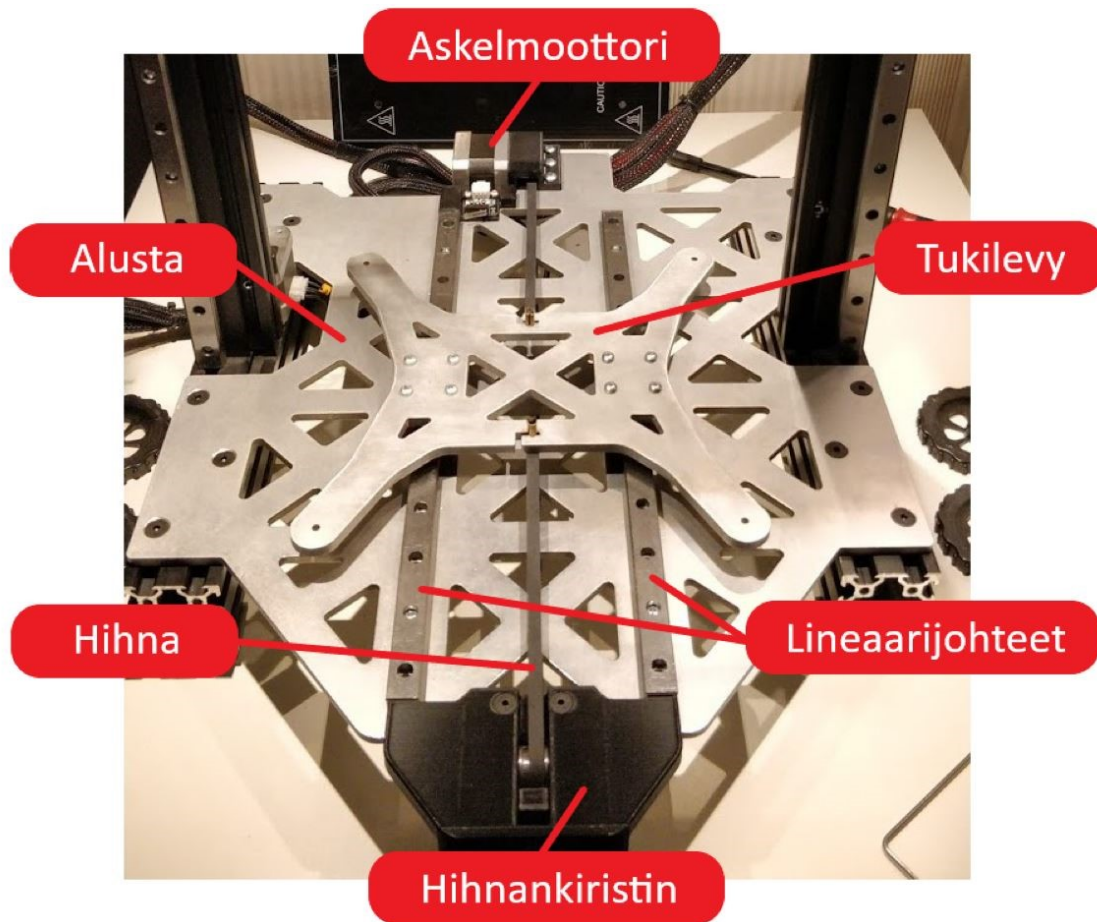
Kuva 42. Uusi suulakepuristin asennettuna.



5.2 Y-akseli

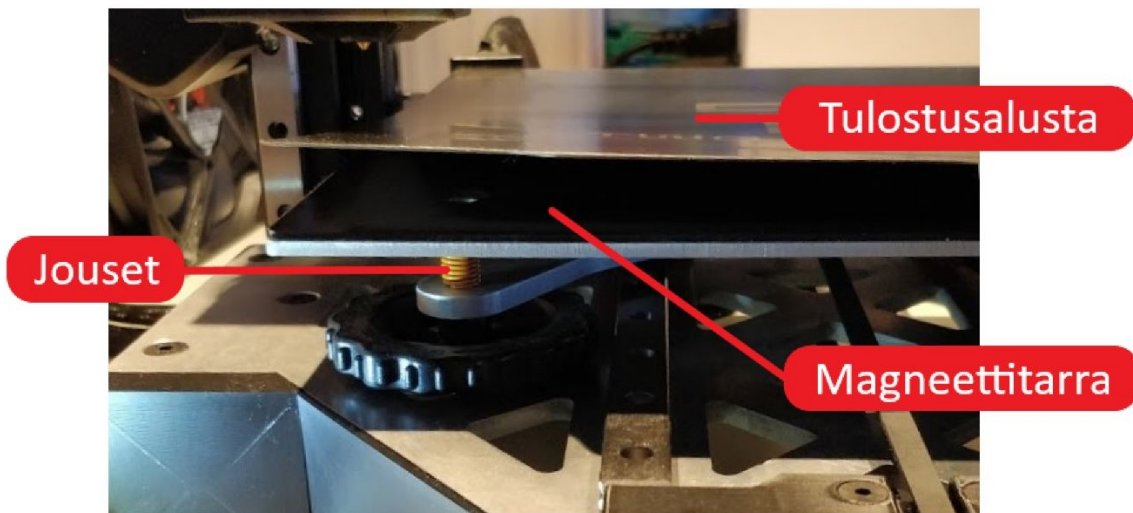
Y-akselin kokoonpanossa käytetyt alumiinilevyt, lineaarijohteet sekä muut komponentit asennettiin toisiinsa ennen varsinaista kiinnitystä 3D-tulostimen runkoon. Aluksi alumiiniseen alustaan kiinnitettiin lineaarijohteet, jonka päälle asennettiin tulostusalustan tukilevy. Lineaarijohteiden kiinnitys suoritettiin liikuttamalla tulostusalustan tukilevyä ääriasennoissa, jolla varmistettiin lineaarijohteiden yhdensuuntaisuus sekä jouhevat liikkeet. Seuraavaksi isoon alustalevyyn asennettiin askelmoottori, rajakytkin sekä 3D-tulostettu hihnankiristin. Hihna pujotettiin paikalleen, jonka jälkeen hihna kiristettiin samaan kireyteen kuin x-akselilla. Alustan kokoonpano komponentteineen asennettiin runkoprofiilien päälle (Kuva 43). Ennen kiinnitystä runkoprofiilien sekä lineaarijohteiden suorakulmaisuus ja yhdensuuntaisuus tarkistettiin ja korjattiin 90 ° kulmamittaa sekä ristimittoja apuna käyttäen. Asennuksen jälkeen varmistettiin komponenttien jouhevat ja esteettömät liikkeet sekä testattiin rajakytkimen toiminta.

Kuva 43. Y-akselin kokoonpano.



Lopuksi asennettiin tulostusalusta komponentteineen takaisin paikalleen. Lämmitysalustan ja tukilevyn väliin vaihdettiin alkuperäistä jäykemmät jouset sekä lämmitysalustan päälle liimattiin magneettitarra, jonka päälle asennettiin uusi tulostusalusta (Kuva 44). Viimeiseksi tulostusalusta säädettiin säätöruuveista oikeaan korkoonsa tulostuspäätä liikuttamalla tulostusalustan jokaisessa kulmassa.

Kuva 44. Uusi tulostusalusta, magneettitarra ja jouset.



5.3 Kotelo

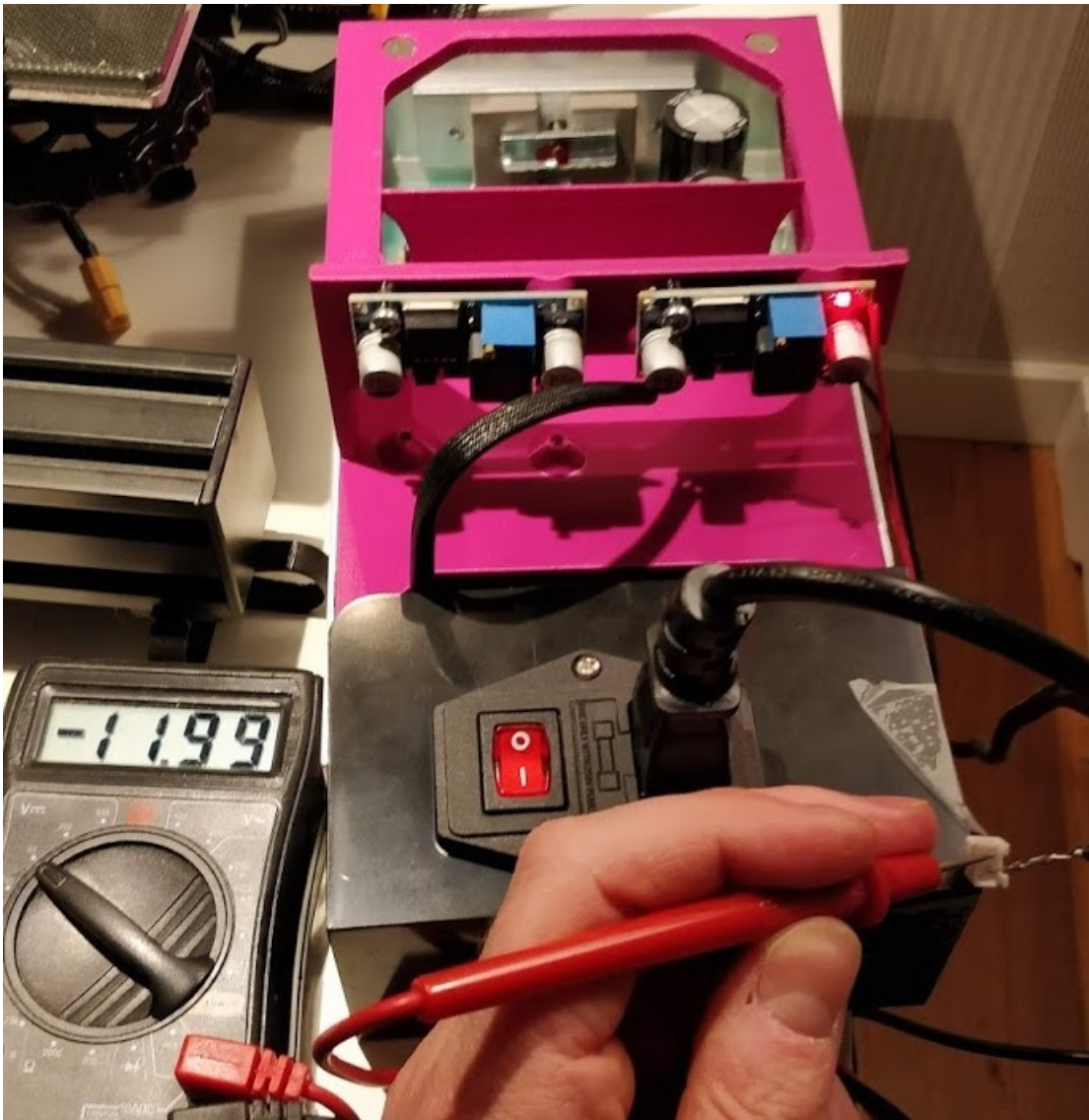
3D-tulostimen koteloon suunniteltiin käytettäväksi ikeasta hankittuja pöytiä, joiden jalkojen jatkoksi lisättiin tulostettuja osia. Kotelon kylkiin lisättiin polykarbonaatista valmistetut peitelevyt pitämään tulostimen tuottama lämpö kotelon sisäpuolella. Kokoonpano aloitettiin ruuvaamalla alemmat tulostetut korokepalat pöydän nurkkiin, jonka päälle asennettiin pöydän jalat. Toisen pöytälevyn alapuolelle ruuvattiin toiset tulostetut korokepalat, jonka jälkeen pöytälevy korokepaloineen nostettiin jalkojen päälle. Peitelevyihin sekä jatkopaloihin kiinnitettiin pienet magneetit, joilla peitelevyt saatiin kiinnitettyä kotelon kylkiin. Ovena toimiva peitelevy liimattiin saranoiden hahloihin pikaliimalla, jonka jälkeen 3D-tulostimen kotelon kokoonpano oli valmis (Kuva 45).

Kuva 45. Valmis 3D-tulostimen kotelon kokoonpano.



Siirrettyjen sähkökomponenttien kotelon kokoonpano aloitettiin purkamalla virtalähteestä kansi sekä tuuletin. Purkaminen suoritettiin erittäin varovaisesti, koska avonaisissa virtalähteissä voi olla sähköiskun vaara. Virtalähteeseen kiinnitettiin sähköisille komponenteille suunniteltu teline, johon asennettiin uusi ohjainkortti ja jännitteenmuunnin kotelon tuuletinta varten. Jännitteenmuuntimelle juotettiin sähköjohdot uutta kotelon 12-voltin tuuletinta varten, jonka jälkeen jännitteenmuuntimen potentiometristä säädettiin tarvittava jännite yleismittaria apuna käyttäen (Kuva 46).

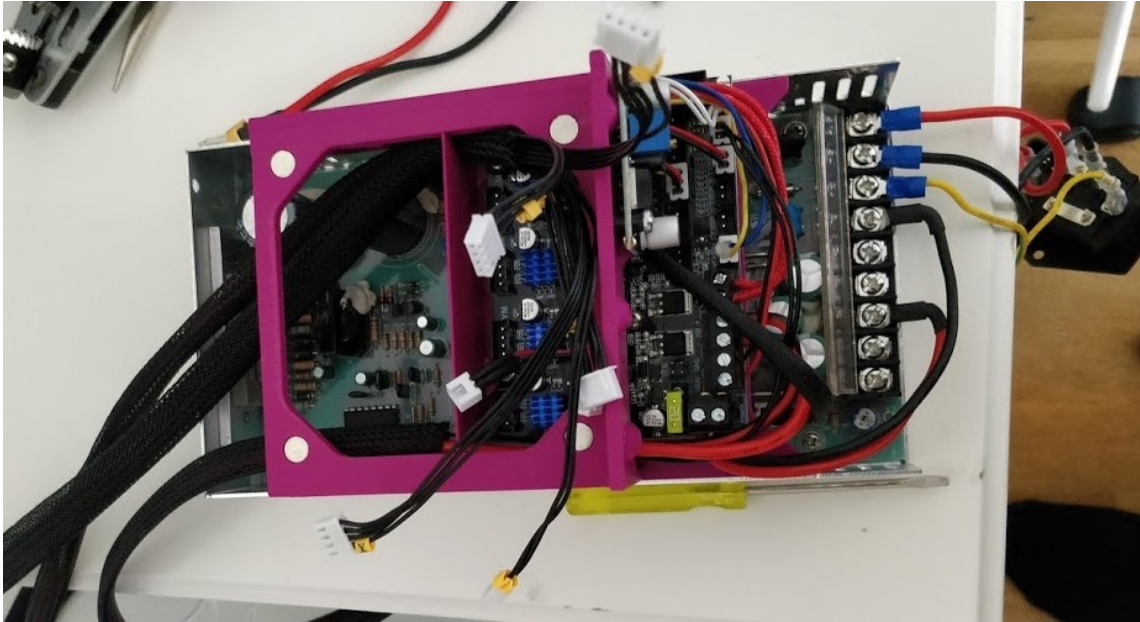
Kuva 46. Jännitteenmuuntimen asennus ja säätäminen.



Pidennetyt sähköjohdot tuotiin virtalähteen takaosasta telineen läpi ja kytkettiin huolellisesti ohjainkortille (Kuva 47) valmistajan ohjeiden mukaisesti.

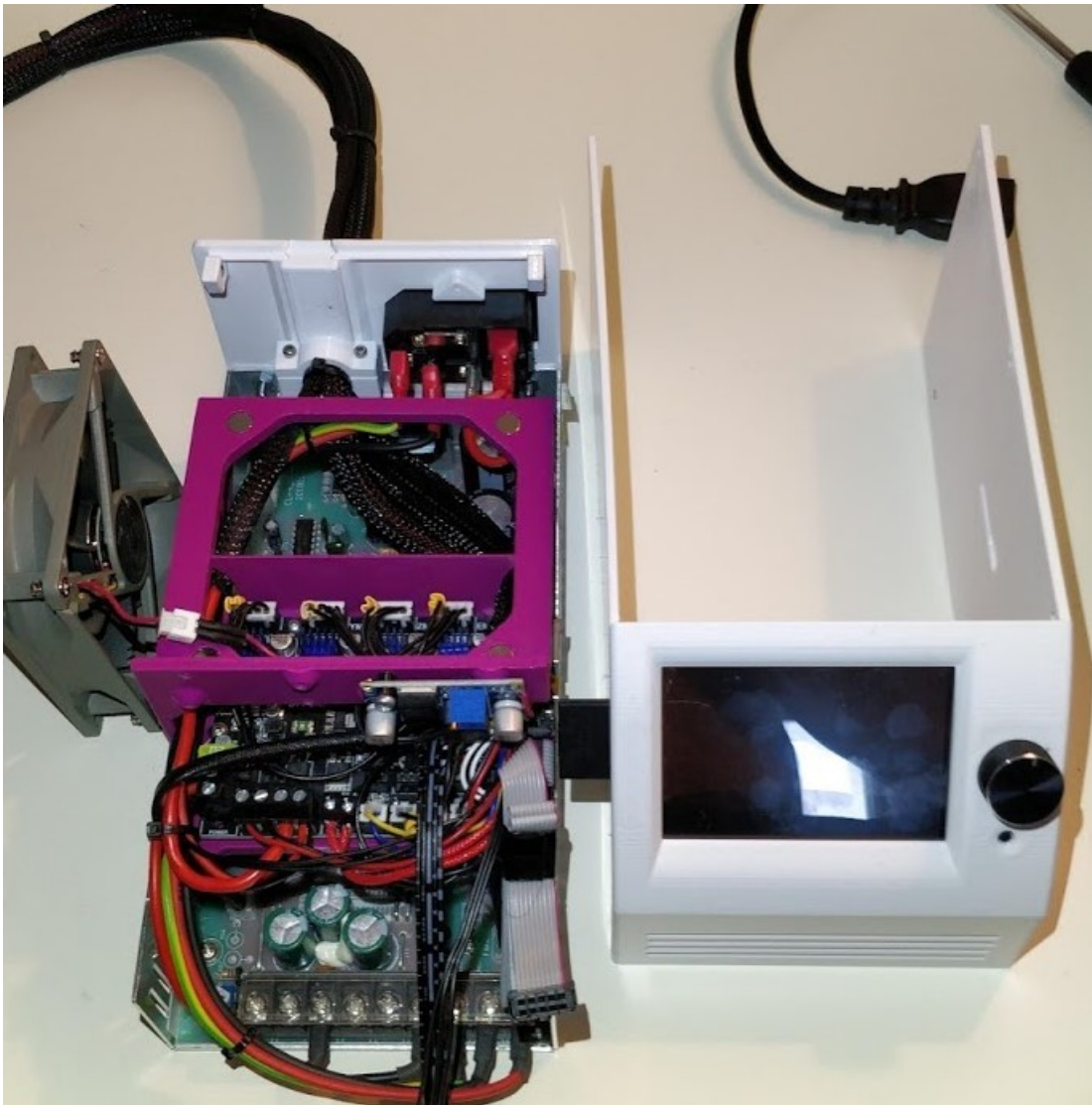
3D-tulostimen liitännät testattiin onnistuneiden kytkentöjen varmistamiseksi ensin yleismittaria apuna käyttäen ja tämän jälkeen kokeilemalla 3D-tulostimen eri toimintoja.

Kuva 47. Ohjainkortin kytkentä.



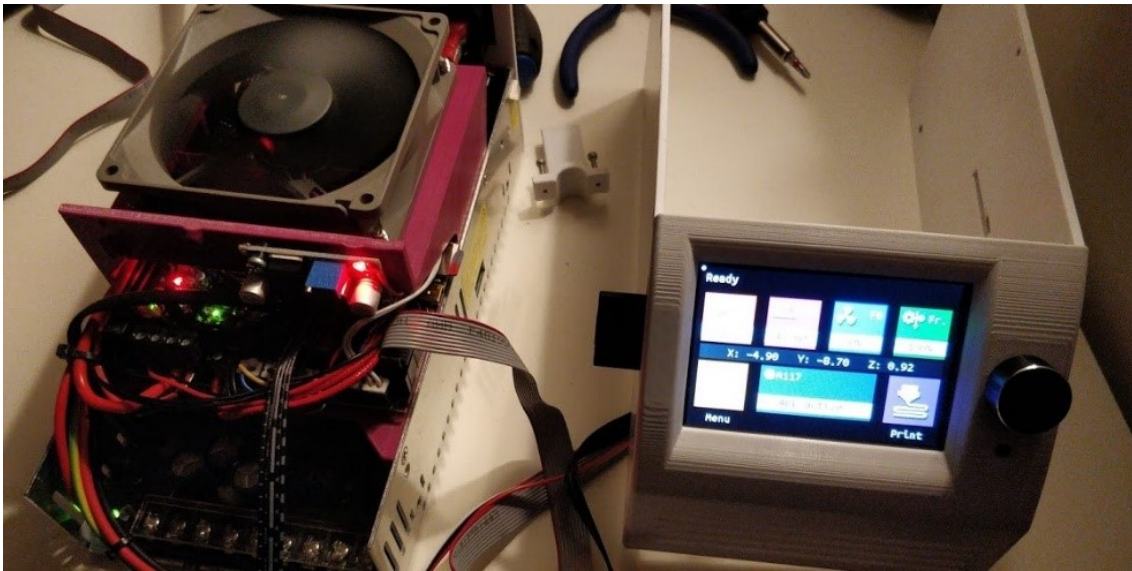
Seuraavassa kokoonpanovaiheessa asennettiin kotelon kuoriin uusi ohjainpaneeli, tuuletin sekä alkuperäinen virtakytkin (Kuva 48). Ohjainpaneeli kiinnitettiin etu- ja sivukuorien kanssa samanaikaisesti pöytää vasten asennuksen suoruuden varmistamiseksi. Kotelon takakuori kiinnitettiin suoraan virtalähteeseen, jonka jälkeen takakuoreen asennettiin virtakytkin. Virtakytkimen sähköjohdot kytkettiin alkuperäiseen järjestykseen. Kytkenän jälkeen kaikki sähkökomponenttien kotelolta lähtevät sähköjohdot siistittiin ja kiristettiin vedonpoistolla.

Kuva 48. Komponenttikotelon kokoonpanovaihe.

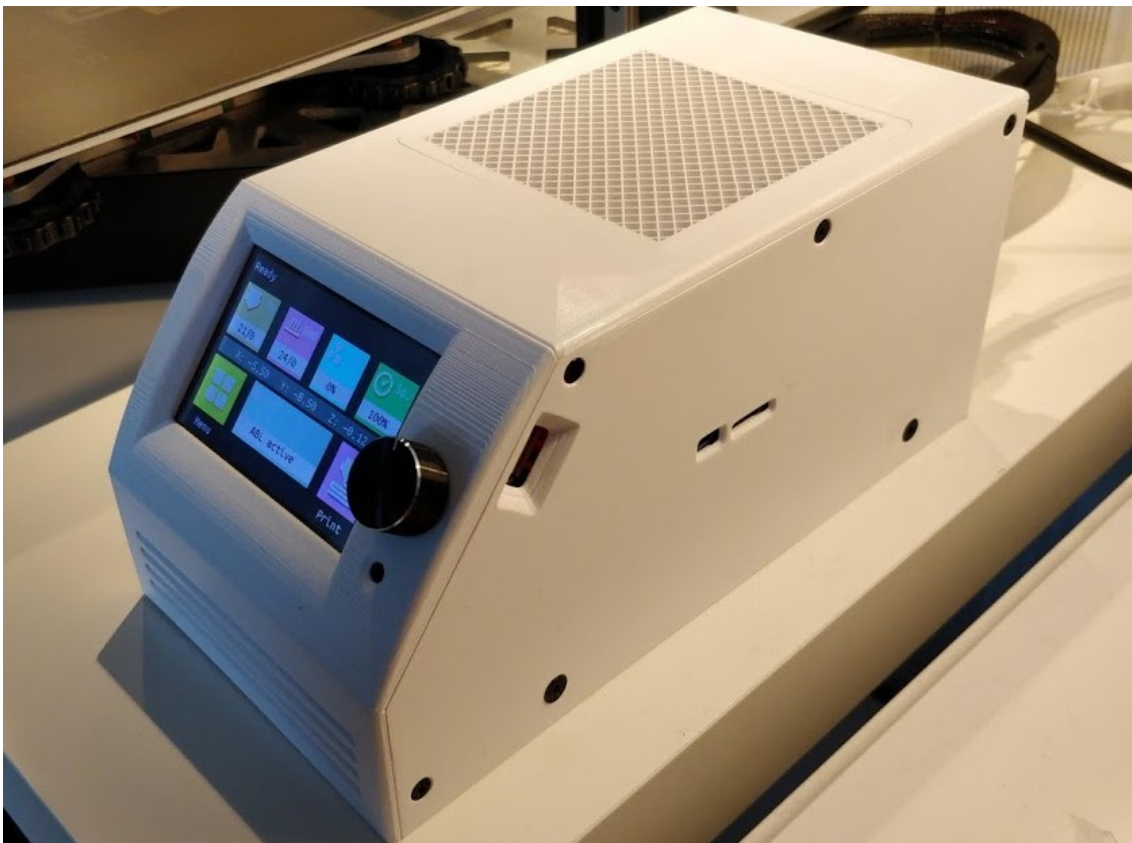


Ennen loppukokoonpanoa testattiin vielä kertaalleen 3D-tulostimen eri toimintoja (Kuva 49), jotta välttyttäisiin mahdollisilta ongelmilta kokoonpanon jälkeen. Lopuksi komponenttikoteloon asennettiin kansi sekä tuulettimen ritilä paikalleen, jonka jälkeen kokoonpano oli valmis (Kuva 50).

Kuva 49. Komponenttikotelon toimintojen testaus.



Kuva 50. Valmis komponenttikotelo.

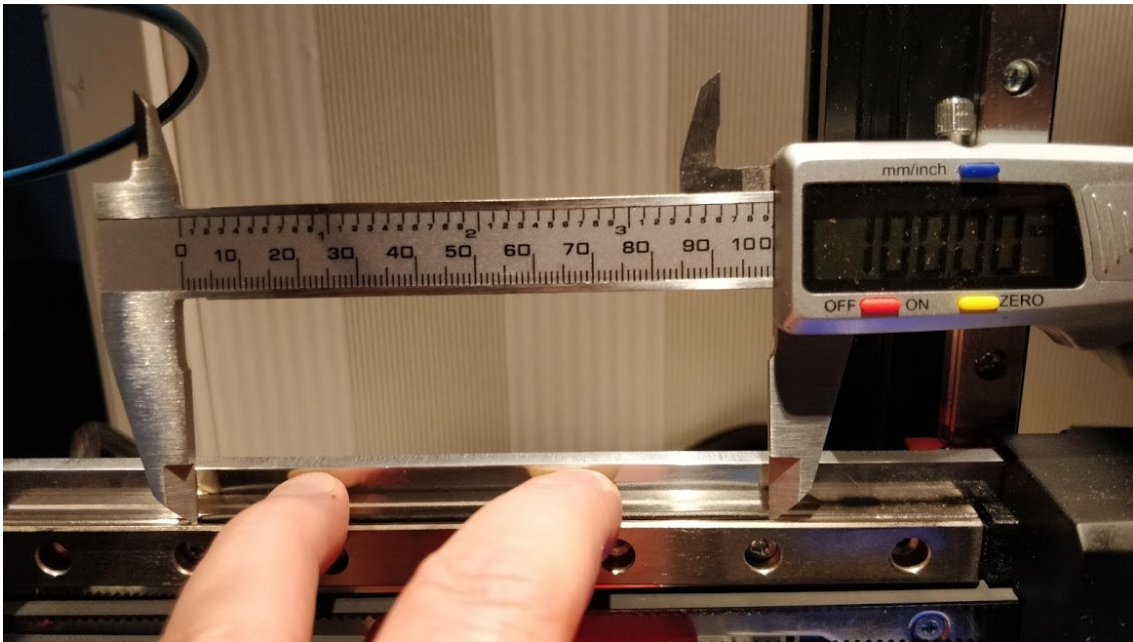


6 Laiteohjelmiston muutokset

Uusi ohjainkortti sekä ohjainpaneeli tarvitsi toimiakseen laiteohjelmiston koodit, jotka ladattiin Github verkkosivustolta. Ohjainpaneelin laiteohjelmisto ei tarvinnut muokkauksia, mutta ohjainkorttiin tulevalle laiteohjelmiston koodille täytyi tehdä muutoksia tulostusalustan mittaus sensorin käyttöönottamiseksi. Laiteohjelmiston muokkaamista varten ladattiin Visual Studio Code -ohjelma, joka on laiteohjelmistojen muokkaamiseen tarkoitettu lähdekoodieditori. Muokkauksen jälkeen uusi laiteohjelmiston koodi siirrettiin muistikortilla ohjainkorttiin, joka tallentaa koodin automaattisesti. Alustavien 3D-tulostimen käyttötestien perusteella myös huomattiin, että uuden ohjainpaneelin päivityksen myötä tuli mahdollisuus muokata laiteohjelmiston koodia suoraan ohjainpaneelistä, jolloin vältytään tietokoneen ohjelmistolla tehtäviltä muutoksilta sekä laiteohjelmiston koodin siirtämiseltä. Laiteohjelmiston koodia voitiin ohjainpaneelin asetuksista muuttaa tässä tapauksessa askelmoottorien askelten määrittämiseen, tulostuslangan tunnistimen käyttöönottoon sekä suulakepuristimen askelmoottorin vaiheiden kääntämiseen.

Uuden suulakepuristimen osalta laiteohjelmiston koodissa säädetään askelmoottorin askelten lukumäärää. Kokemuksen mukaan tarkka askelten lukumäärän määrittäminen on tärkeää, koska laiteohjelmisto ei automaattisesti tiedä, kuinka paljon 100 millimetriä on askelten lukumäärissä. Ohjainpaneelilta annettaessa 100 millimetrin pursotuskäskyn, täytyy materiaalia pursottaa suulakepuristimesta sama 100 millimetriä tulostuksien onnistumiseksi. Uusi suulakepuristin toimii 3:1 välityssuhteella alkuperäiseen verrattuna, joten alkuperäistä askelten lukumäärää nostettiin ensin kolminkertaiseksi. Tämän jälkeen testiksi annettiin ohjainpaneelilta 100 millimetrin pursotuskäsky, jonka seurauksena pursotuksen määrä ylitti 100 millimetriä. Tarkan askelten lukumäärän selvittämiseksi testejä ja muutoksia jouduttiin tekemään useampia, jotta päästiin tarkkaan 100 millimetrin pursotus määrään (Kuva 51). Alkuperäisen suulakepuristimen kanssa askelten lukumäärä oli 140,7 ja uuden suulakepuristimen askelten lukumääräksi saatiin 417,9 (Kuva 52).

Kuva 51. Tarkasti säädetty pursotusmäärä.



Kuva 52. Uuden suulakepuristimen askelten määrittäminen.



Tulostuslangan tunnistimen käyttöönotto sekä suulakepuristimen askelmoottorin vaihe käännettiin uuden ohjainpaneelin asetuksista, mikä helpotti laiteohjelmiston muokkaamista. Muokkaamisen jälkeen testattiin, että molemmat komponentit toimivat halutulla tavalla.

Tulostusalustan mittaus sensorin käyttöönottoon täytyy laiteohjelmiston koodia muokata lähdekoodieditorissa configuration.h välilehdellä. Tulostusalustan mittaus sensorin käyttöönotto tapahtuu poistamalla kaksi kautta viivaa ”define” kommenttiosiota (Kuva 53). (Bhavnagarwala, 2020)

Kuva 53. Tulostusalustan mittaus sensorin käyttöönotto.

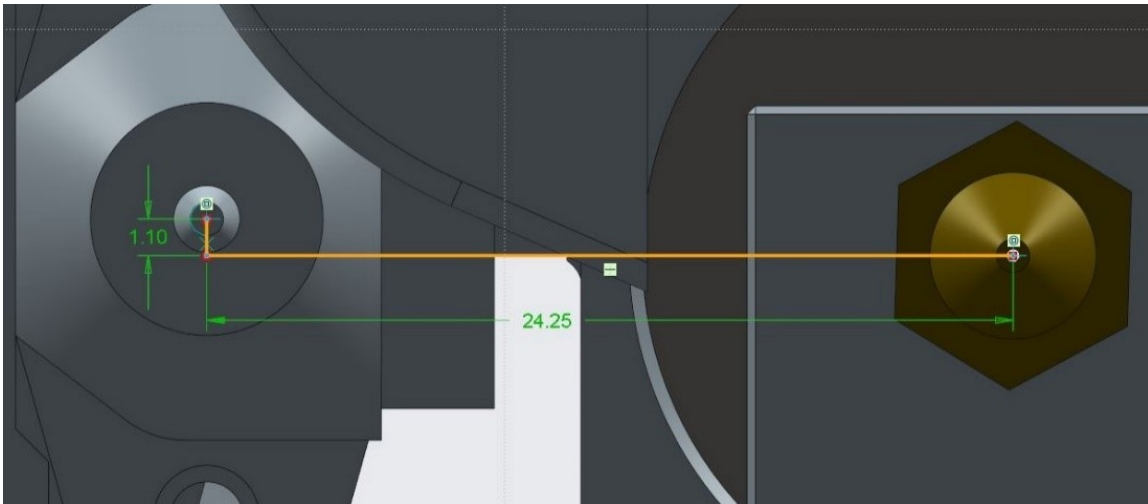
```
894  /**
895   * The BLTouch probe uses a Hall effect sensor and emulates a servo.
896   */
897  #define BLTOUCH
898
```

Tämän jälkeen lähdekoodieditorissa määritellään sensorin sekä suuttimen välinen etäisyys x- ja y-akselin suunnassa, joka tulee mitata sensoria asennettaessa. Z-akselin suunnassa sensorin paikoituksen määrittäminen on hankalampaa, koska aktiivisena olevan sensorin liikkuva tunnistin ylettyy suuttimen alapuolelle. Koska liikkuva tunnistin ylettyy suuttimen alapuolelle, suositellaan siirtymä asettamaan aluksi arvoon -2,5 turvallisuuden vuoksi. (Bhavnagarwala, 2020)

Tulostusalustan mittaus sensorin paikoitusta varten tarkat mitat x -ja y-akselilla otettiin virtuaalisesta mallista (Kuva 54), jotta välttyttiin mahdollisilta mittavirheiltä.

Lähdekoodieditorissa olevien ohjeiden mukaisesti x -ja y akselien arvot asetettiin negatiiviseksi sensorin sijainnin vuoksi ja z-akselin arvo asetettiin suositeltuun arvoon (Kuva 55).

Kuva 54. Tulostusalustan mittaus sensorin paikoituksen mitat.



Kuva 55. Kaikkien akselien arvot määriteltynä lähdekoodieditorissa.

```

974 *   +-- BACK ---+
975 *   |   [+]   |
976 *   L |       1 | R <-- Example "1" (right+, back+)
977 *   E |   2   | I <-- Example "2" ( left-, back+)
978 *   F | [-] N [+] | G <-- Nozzle
979 *   T |       3 | H <-- Example "3" (right+, front-)
980 *   |   4   | T <-- Example "4" ( left-, front-)
981 *   |   [-]   |
982 *   O-- FRONT --+
983 */
984 #define NOZZLE_TO_PROBE_OFFSET { -24.3, -1.1, -2.5 }
985

```

Seuraavaksi määritellään tulostusalustan mittaustapa, joita on viisi erilaista. Tulostusalustan viidestä erilaisesta mittaustavasta helpoin on bilineaarinen, jossa mittauspisteet ovat ruudukon muodossa. Viidestä eri vaihtoehdosta voi valita vain yhden poistamalla kaksi kautta viivaa. Oletusasetuksena on yhdeksän mittauspisteen ruudukko, mitä voidaan muuttaa tarkemman mittaustuloksen aikaansaamiseksi, mutta tällöin tulostusalustan mittaukseen kuluva aika kasvaa. (Bhavnagarwala, 2020)

Tulostusalustan mittaustavaksi määriteltiin bilineaarinen tapa (Kuva 56), jossa mittauspisteiden lukumäärä jätettiin oletusarvoon.

Kuva 56. Tulostusalustan mittaustavan valinta.

```

1223 * - MESH_BED_LEVELING
1224 *   Probe a grid manually
1225 *   The result is a mesh, suitable for large or uneven beds. (See BILINEAR.)
1226 *   For machines without a probe, Mesh Bed Leveling provides a method to perform
1227 *   leveling in steps so you can manually adjust the Z height at each grid-point.
1228 *   With an LCD controller the process is guided step-by-step.
1229 */
1230 //#define AUTO_BED_LEVELING_3POINT
1231 //#define AUTO_BED_LEVELING_LINEAR
1232 #define AUTO_BED_LEVELING_BILINEAR
1233 //#define AUTO_BED_LEVELING_UBL
1234 //#define MESH_BED_LEVELING
1235

```

7 Tulokset

Ohjainkortin päivitys oli erittäin tarpeellinen hankinta massiivisten muutostöiden vuoksi.

Uuden ohjainpaneelin sekä tulostuslangan mittaus sensorin lisääminen ohjainkortille sujui helposti ylimääräisten liitännöiden vuoksi. Desibelimittaria ei ollut käytettävissä äänekkyyttä mitattaessa, mutta uuden ohjainkortin erona alkuperäisen ohjainkortin askelmoottoreiden ohjaimiin on valtava. Alkuperäiset askelmoottorit olivat häiritsevän äänekkäät, mutta uusien askelmoottorien ohjaimien myötä askelmoottorien ääniä ei havaitse juuri lainkaan.

Ohjainkortin laiteohjelmiston mukana tuli myös paljon ominaisuuksia muokattavaksi suoraan ohjainpaneelista, joka helpottaa ja nopeuttaa 3D-tulostimeen tehtäviä muutoksia.

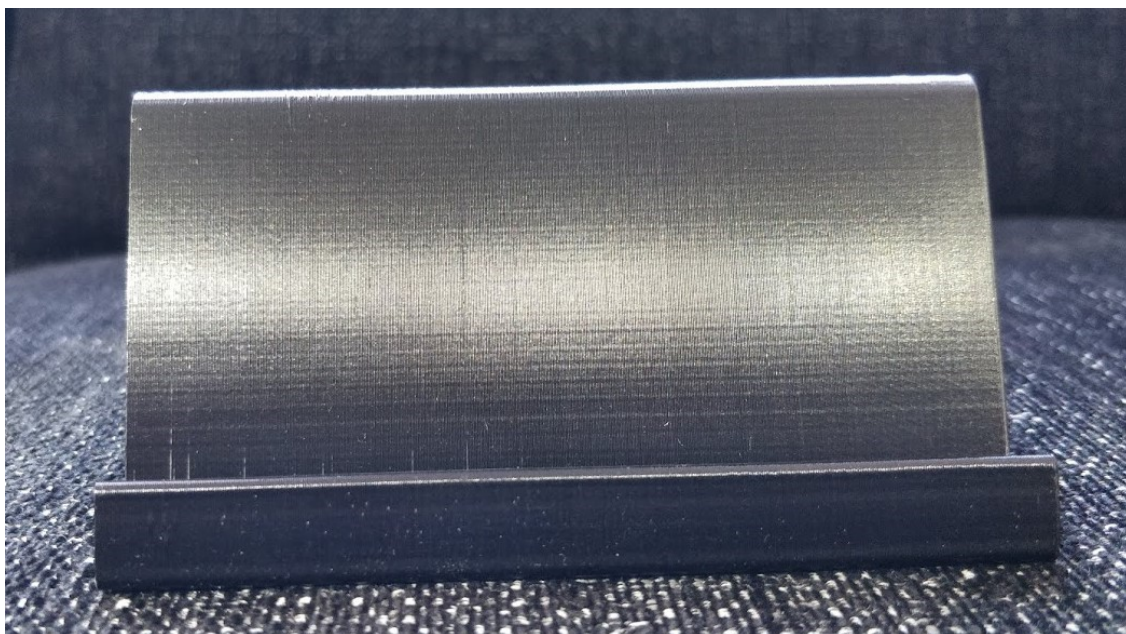
3D-tulostimen käytettävyys helpottui huomattavasti vaihdetun ohjauspaneelin ansiosta. 3D-tulostinta on käytetty pääosin enää vain kosketusnäytön kautta, koska käyttö on huomattavasti nopeampaa alkuperäiseen verrattuna. Ohjainpaneelin laiteohjelmiston myötä tuli myös ominaisuuksia, joita voidaan muokata suoraan ohjainpaneelista, kuten G-koodin käskyjen kirjoitus. Tällä voidaan vaikuttaa 3D-tulostimen toimintoihin ennen tai jälkeen varsinaisen pursotuksen, mikä ei ollut mahdollista vanhalla ohjainpaneelilla.

Uuden kuumapään päivityksen myötä huoltojen sekä korjausten määrä on vähentynyt huomattavasti. Päivitettyä kuumapäätä on käytetty noin sadan tunnin edestä ilman tukoksia tai vuotoja, joka luo huomattavasti luotettavamman kuvan alkuperäiseen kuumapäähän verrattuna. Riittävä tuuletus sekä huolellisesti suunniteltu tuulettimen teline poistivat kokonaan metallisen kuumapään tukkeutumisongelman. Kuumapään lämpötilan ylärajaksi

jätettiin 255 °C, koska se riittää suurimmalle osalle tulostusmateriaaleista. Ongelman tuotti kovassa lämpötilassa tulostuslangan ohjainputken rikkoutuminen tai kuumapään vuotaminen, joka korjaantui kokonaan metallisen kuumapään vaihtamisella.

Lineaarijohteiden vaihdolla haluttiin vähentää aikaa kuluttavaa alkuperäisten liikekomponenttien säätämistä sekä huoltamista. Lineaariset johteet ovat suunniteltu tarkkoihin lineaarisiin liikkeisiin, joissa säätämistä ei tarvitse toteuttaa. Kulumisen vähentämiseksi sekä mittatarkkuuden säilymiseksi lineaarijohteita huolletaan ajoittain putsamalla ja öljyämällä. Lineaaristen johteiden toivottiin tuovan myös tulostuslaatuun vaikuttavia tekijöitä, mutta niitä ei silminnähdessä tulostuksissa ole havaittu. Tulostusnopeutta on sen sijaan pystytty nostamaan noin 25 % alkuperäisestä, tulostuslaadun pysyessä silminnähdessä samanlaisena. Kuva 57 huomataan erään tulostetun testikappaleen tasainen pursotuksen kerrostuma sekä laadukas jälki.

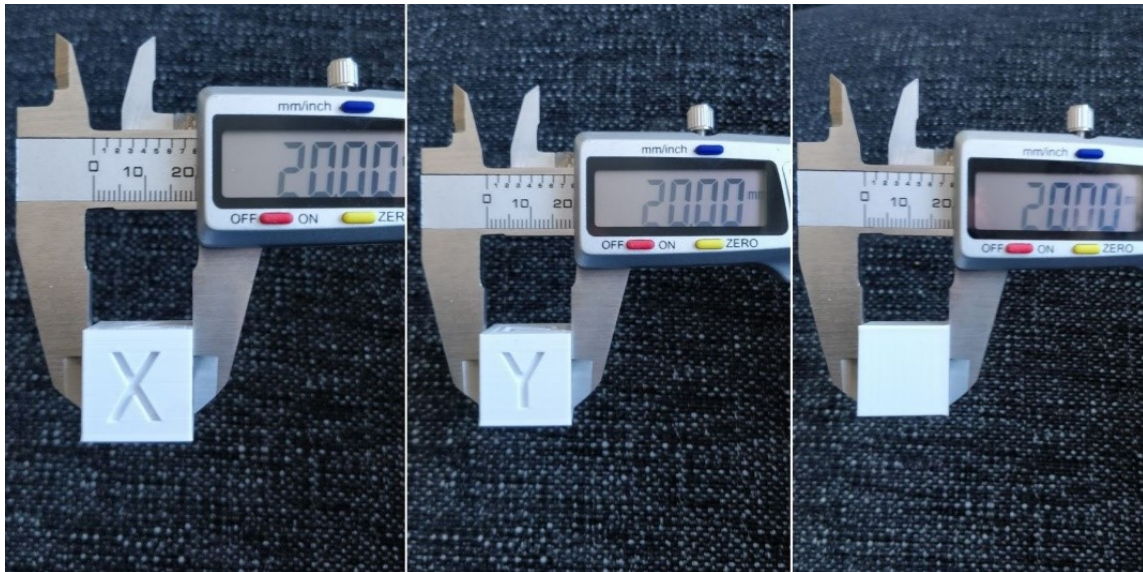
Kuva 57. Testikappaleen tasainen ja laadukas tulostusjälki.



Tulostuksien mittatarkkuus on hieman parantunut valmistajan ilmoittamasta, mutta yksinään tämä ei ole liikekomponenttien ansiota. Mittatarkkuuden parantumiseen vaikuttavat lisäksi monien muutoksien sekä tarkasti säädetyin 3D-tulostimen yhtenäisen tulos. Testikappaleeksi valittiin Thingiversen verkkosivustolta testikuutio, jonka kaikki sivut ovat 20 millimetriä. Testikuutio tulostettiin PETG tulostuslangalla, nopeuden ollessa 70 mm/s

ja kerroskorkeuden ollessa 0,2 millimetriä. Kuvassa nähdään onnistuneen testikappaleen mittatarkkuus jokaiselta akselilta työntömitalla mitattuna (Kuva 58).

Kuva 58. Mittatarkka testikappale.



Tulostusalustan automaattista säätöä, tulostusalustan ensimmäisen pursotuskerroksen tarttuvuutta sekä lisätyn trapetsikierretangon toimivuutta testattiin luomalla koko tulostusalustan kokoinen 3D-malli, jota pursotettiin vain yksi kerros. Testi suoritettiin PLA tulostuslankaa käyttäen, tulostusnopeuden ollessa 62 mm/s ja pursotuskerroksen paksuuden ollessa 0,2 millimetriä. Testituloksia tutkittiin taustavalon avulla, jolla nähdään testikappaleen yhtenäinen paksuus sekä yhtenäinen pursotustulos. Testikappaleen reunojen tummemmissa kohdissa on huomattavissa tulostusalustan reunojen kohouma, jossa tulostusmateriaalia pursottuu hieman liian lähelle tulostusalustaa. Testikappale leikattiin vielä osiin, jonka jälkeen mitattiin työntömitalla tulostusalustan mittaussensorin määrittelemät kerrospaksuudet testikappaleesta. Mittauskohtia oli määritetty tulostusalustalle 9 kappaletta ja testikappaleen kerrospaksuus vaihteli vain 0,01 millimetriä työntömitalla mitattuna. Tulostusmateriaalin tarttuvuus oli erittäin hyvä sekä trapetsikierretangon lisääminen x-akselin vapaaseen päähän tuotti tulostusalustan mittaussensorille luotettavia tietoja. Trapetsikierretangon lisääminen vaikutti silminnähden positiivisesti aiempaan z-akselin epätasaiseen liikkeeseen. Tulostusalustan mittaussensorin tehtävänä oli mitata tulostusalustan epätasaisuuksia, jota kompensoidaan z-akselin vertikaalisilla korjausliikkeillä pursotuksen aikana. Tulostusalustan mittausskohtia lisäämällä

voidaan saavuttaa tarkempi lopputulos ensimmäiselle tulostuskerrokselle, mutta mittaukseen ja 3D-tulostukseen kuluva aika kasvaa. Testi onnistui korkeahkosta (62 mm/s) tulostusnopeudesta huolimatta erittäin hyvin (Kuva 59).

Kuva 59. 3D-tulostettu testikappale sekä mittauskohdat.



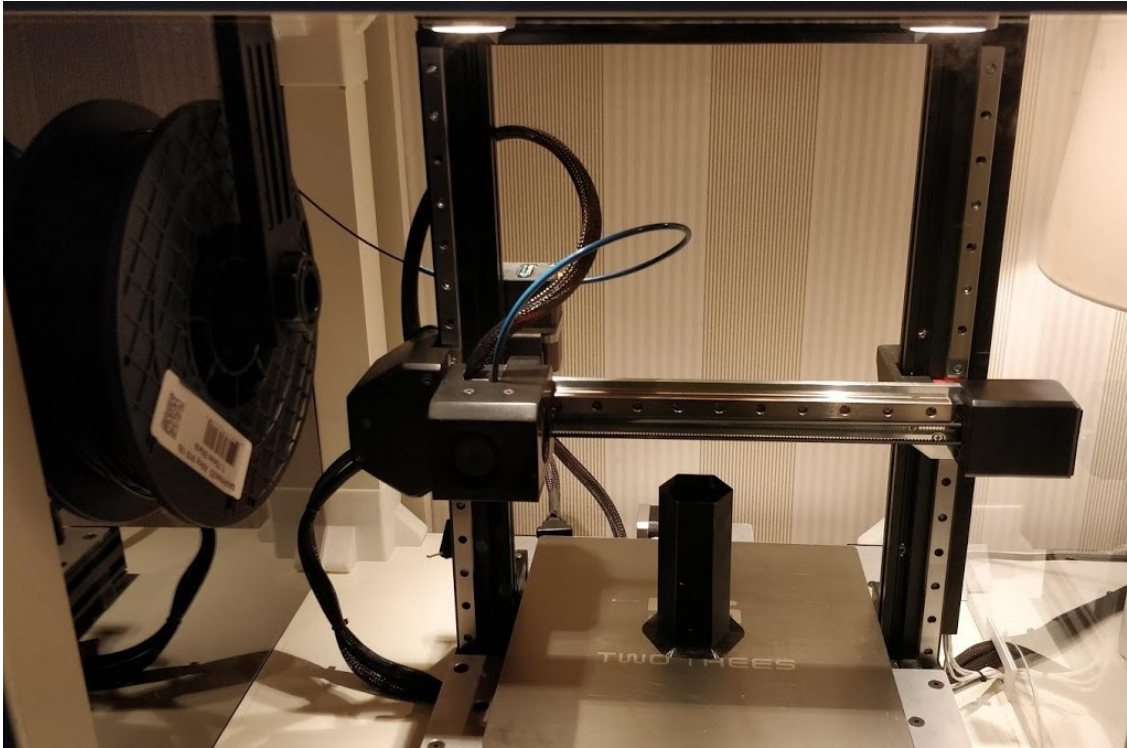
Päivitettyä suulakepuristinta testattiin tulostamalla joustavaa TPU tulostusmateriaalia, joka aiheutti aikaisemmin tukoksia vanhaan suulakepuristimeen. Testi suoritettiin luomalla puhelimen suojakuoresta 3D-malli, joka pursotettiin 0,2 millimetrin kerroskorkeudella ja 45 mm/s tulostusnopeudella. Testin jälkeen mallia väänneltiin, millä huomattiin tulostuskerroksien tarttuvuuden olleen hyvä. Tulostuksen laadusta voidaan nähdä, että uusi suulakepuristin suoriutui testistä onnistuneesti ja odotusten mukaisesti (Kuva 60).

Kuva 60. Onnistunut joustavan tulostusmateriaalin testitulos.



3D-tulostimelle valmistetun kotelon toivottiin parantavan tiettyjen materiaalien tulostettavuutta, jotka kokemuksen mukaan kärsivät huonosta tarttuvuudesta tulostusalustaan sekä tulostuskerroksien halkeilusta. Tällaisia tulostusmateriaaleja ovat muun muassa ABS sekä PE (nylon), joissa liian nopea jäähtyminen ilman kotelon tuomaa suojaa aiheuttaa pursotuskerroksien irtoamista toisistaan. Testikappaleeksi mallinnettiin korkeahko kappale, joka pursotettiin yhden seinämän vahvuisena. 3D-tulostimen kotelon vaikutuksia testattiin Taulman nylon tulostuslangalla, jota ei aikaisemmin ole voitu alkuperäiskuntoisella 3D-tulostimella tulostamaan. Tulostusasetuksien löytyessä onnistuttiin testikappale tulostamaan nopeuden ollessa 40 mm/s, tulostusalustan lämpötilan ollessa 110 °C, kuumapään lämpötilan ollessa 255 °C (Kuva 61). Pursotuksen jäähdyttävä tuuletin säädettiin pois päältä, jotta tulostusmateriaali ei jäähtyisi liian nopeasti.

Kuva 61. Onnistunut testikappale nylon tulostusmateriaalista.



Testikappaleen tarttuvuus tulostusalustaan oli riittävä eikä halkeilua tapahtunut korkeahkosta mallista huolimatta. Testikappaleen pursotuskerrosten tarttuvuutta testattiin puristamalla mallia keskeltä, jossa tarttuvuuden huomattiin olleen hyvä (Kuva 62).

Kuva 62. Testikappaleen pursotuskerroksien testaus.



3D-tulostimen kotelo vaimensi äänekkyyttä entisestään. Haittapuolena havaittiin askelmoottoreiden kuumenemista, suurempaa kappaletta tulostettaessa. Ylikuumeneminen voi johtaa askelmoottorien rikkoutumiseen.

8 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteina oli parantaa edullisen 3D-tulostimen käytettävyyttä, luotettavuutta, tulostuslaatua, tulostusnopeutta, äänekkyyttä sekä monipuolistaa tulostusmateriaalien valikoimaa.

Alkuperäisen Ender 3 3D-tulostimen toistuva korjaaminen, säätäminen ja huoltaminen aiheutti kustannuksia, ajanhukkaa sekä turhautumista. Päivityksien jälkeen 3D-tulostimen luotettavuus on kasvanut huomattavasti. Muutoksien ja päivityksien jälkeen 3D-tulostinta on käytetty noin kolmen kuukauden aikana lähes päivittäin, eikä korjauksia tai säätämistä ole

tänä aikana jouduttu suorittamaan lainkaan. Alkuperäisellä 3D-tulostimella voitiin huolettomasti tulostaa vain PLA sekä PETG tulostusmateriaaleja, mutta muutosten jälkeen onnistuttiin kasvattamaan tulostusmateriaalien valikoimaa huomattavasti. Myös muihin tavoitteisiin päästiin hyvin yhtä osa-aluetta lukuun ottamatta. Tulostuslaadussa ei alkuperäiseen verrattuna ole silminnähtävää eroa, mutta tulostusnopeus on parantunut tulostusmateriaalista riippuen noin 25 %. Myös tulostuksien mittatarkkuus on parantunut huomattavasti. Opinnäytetyössä syvennyttään tarkemmin komponenttien sekä muutoksien tuomiin tuloksiin.

Opinnäytetyön työläin vaihe oli suunnittelu sekä 3D-mallinnus, koska alkuperäisen 3D-tulostimen rakenteellisista osista käytettiin vain runko ja komponenteista virtalähde. Päivitetty 3D-tulostin on suunniteltu lähestulkoon kokonaisuudessaan uusiksi, eikä periaatteessa voida puhua enää Ender 3 3D-tulostimesta. Hyvin onnistuneen suunnittelun sekä mallinnuksen vuoksi 3D-tulostimen kokoonpano oli helppo sekä suoraviivainen. Kokoonpanossa ei ilmennyt muutoksia vaativia korjaustoimenpiteitä suunnitteluun tai 3D-mallinnukseen. Pieniä ongelmia kokoonpanossa tuotti y-akselin suuri alumiinilevy, joka oli vääntynyt vesileikkausprosessin aikana. Levyn suoristaminen sekä lineaarijohteiden vapaa liikkuvuus saavutettiin helposti. Komponenttien saatavuuteen ongelmia tuotti korona pandemian aiheuttamat viivästykset, jotka vaikuttivat työn kulkuun. 3D-tulostimen kotelo on jälkeinpäin poistettu käytöstä toistaiseksi, koska pidemmän tulostuksen aikana huomattiin askelmoottoreiden kuumenemista, eikä vaikeammin tulostettavia ja matalan sulamispisteen omaavia tulostusmateriaaleja käytetä usein.

Kaikkien muutosten sekä päivitettyjen komponenttien hinnaksi kertyi noin 300 euroa, jota voidaan pitää alhaisena hintana 3D-tulostimen suorituskykyyn ja ominaisuuksiin nähden. Kokonaishinnaksi alkuperäisen 3D-tulostimen kanssa kertyi noin 480 euroa. Muihin markkinoilla oleviin karteesisiin 3D-tulostimiin vertaaminen on hankalaa, koska samoilla ominaisuuksilla, tulostusalalla sekä lineaarijohteilla varustettua mallia ei löydy. 3D-tulostimen kokonaishinnan arviointia olisi helpottanut Hämeen ammattikorkeakoulun tarjoaman vesileikkattujen levyosien materiaalin sekä työn hinta. Alkuperäisestä 3D-tulostimesta jääneitä komponentteja voidaan hyödyntää tulevaisuudessa toisiin projekteihin.

3D-tulostimesta luotu virtuaalinen 3D-malli helpottaa tulevaisuudessa tapahtuvia muokkauksia. Tulevaisuuden suunnitelmissa on muokata ohjainputkella varustettu pursotustapa suorapursotukseen. Toistaiseksi suorapursotuksen ongelmana on tulostuspäälle kertyvä ylimääräinen paino, joka johtuu lisätystä askelmoottorista sekä suulakepuristimesta.

Kuva 63 nähdään kokonaisuudessaan valmis 3D-tulostin muutoksineen sekä päivityksineen.

Kuva 63. Valmis 3D-tulostimen päivitys.



Lähteet

Alex, M. (2017). *The 4 types of FDM 3D printer explained*. Haettu 1. 12. 2020 osoitteesta 3dnatives: <https://www.3dnatives.com/en/four-types-fdm-3d-printers140620174/#!>

AN-Cadsolutions. (n.d.). *Creality Ender-3 3D-tulostin*. Haettu 3. 12. 2020 osoitteesta <https://www.an-cadsolutions.fi/tuote/creality-ender-3-3d-tulostin/>

Bhavnagarwala, H. (2020). *BLTouch Sensor Guide: All You Need to Know*. Haettu 7. 1. 2021 osoitteesta All3DP: <https://all3dp.com/2/bltouch-sensors-guide/>

Gharge, P. (10. 9. 2019). *Ender 3 All-Metal Hot End Upgrade: What to Consider*. Haettu 11. 12. 2020 osoitteesta All3DP: <https://all3dp.com/2/ender-3-all-metal-hot-end-upgrade-what-to-consider-2/>

Hoarder, H. (19. 1. 2018). *Hobby Hoarder: Hotend explained*. Haettu 8. 12. 2020 osoitteesta https://www.youtube.com/watch?v=OzRAVkJw3I&feature=emb_title

Hullette, T. (10. 2. 2020). *Ender 3 Hot End: What to Consider & Which to Buy*. Haettu 11. 12. 2020 osoitteesta All3DP: <https://all3dp.com/2/ender-3-hot-end-what-to-consider-which-to-buy/>

Kondo, H. (24. 5. 2019). *Linear Rail 3D Printer: Really Better or Just a Hype?* Haettu 13. 1. 2021 osoitteesta All3DP: <https://all3dp.com/2/linear-rail-3d-printer-really-better-or-just-a-hype/>

Landry, T. (15. 3. 2016). *Extruders 101: A crash course on an essential component of your 3D printer*. Haettu 14. 12. 2020 osoitteesta MatterHackers: <https://www.matterhackers.com/articles/extruders-101:-a-crash-course-on-an-essential-component-of-your-3d-printer>

Laws, M. (27. 1. 2020). *Michael Laws: BTT TFT35 dual mode touch screen guide*. Haettu 7. 12. 2020 osoitteesta Teaching tech: https://www.youtube.com/watch?v=l1Putn10_Ek&t=530s

Matterhackers. (n.d.). *Bondtech BMG Extruder - 1.75mm*. Haettu 15. 12. 2020 osoitteesta Matterhackers: <https://www.matterhackers.com/store/l/bondtech-bmg-extruder/sk/M88WAUL2>

Pickavance, M. (18. 9. 2018). *Creality Ender 3 review*. Haettu 12. 12. 2020 osoitteesta Techradar: <https://www.techradar.com/reviews/creality-ender-3>

Pires, R. (16. 3. 2020). *DIY 3D Printer Enclosure: 6 Cheap & Easy Solutions*. Haettu 16. 12. 2020 osoitteesta All3DP: <https://all3dp.com/2/3d-printer-enclosure-5-cheap-diy-options/>

Richter, A. (27. 9. 2018). *The Anatomy of a 3D Printer: Controller Boards*. Haettu 17. 12. 2020 osoitteesta Matterhackers: <https://www.matterhackers.com/articles/3d-printer-anatomy-controller-boards>

Simplify3D. (n.d.). *Beginner's Guide to Auto Bed Leveling*. Haettu 7. 1. 2021 osoitteesta Simplify3D: <https://www.simplify3d.com/support/articles/beginners-guide-to-auto-bed-leveling/>

Varotsis, A. B. (n.d.). *Introduction to FDM 3D printing*. Haettu 10. 2. 2021 osoitteesta 3dhubs: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-fdm-3d-printing/#what>