

3D-TULOSTAMISEN JA 3D-MALLIEN OPTIMOINTI

Paksuniemi Hans

Opinnäytetyö

Tieto- ja viestintäteknikka
Insinööri (AMK)

2023

Tieto- ja viestintäteknikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Hans Paksuniemi	Vuosi	2023
Ohjaaja	Anssi Ylinampa		
Toimeksiantaja	Lapin ammattikorkeakoulu		
Työn nimi	3D-tulostamisen ja 3D-mallien optimointi		
Sivumäärä	29		

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan menetelmiä hyödyntää 3D-tulostamista ja perehdytään sen optimointiin sekä siihen vaikuttaviin tekijöihin. Opinnäytetyössä perehdytään tapoihin ratkaista tulostusalan rajoitteita jakamalla tulostettavia esineitä osiin. Työ käsittelee esimerkiksi sitä, mitä erilaisia mahdollisuuksia on tulostaa normaalin tulostamisen rinnalla, kuten valumuotin tulostus ja yhdistelmä tulosteita esimerkiksi puun kanssa. Työssä käydään myös läpi 3D-tulostimen kalibrointia ja erilaisia tulostuslaatuun vaikuttavia tekijöitä.

Työssä on hyödynnetty omaa kokemusta 3D-tulostamisesta ja internetistä löytyvää tietoa aihetta mahdollisimman laajasti käsitellen.

Opinnäytetyön tuloksena on mahdollista hyödyntää 3D-tulostusteknologiaa mahdollisimman tehokkaasti, monipuolisesti ja auttaa paikantamaan mahdollisia syitä 3D-tulosteiden epäonnistuuessa. Opinnäytetyö myös käy läpi asioita, joita 3D-tulostimen käytössä tulisi huomioida.

Avainsanat

3D-tulostin, 3D-tulostus, 3D-mallit, ongelmanratkaisu, optimointi, valumuotti

Degree Programme in Information
and Communication Technology
Bachelor of Engineering

Author	Hans Paksuniemi	Year	2023
Supervisor	Anssi Ylinampa		
Commissioned by	Lapland University of Applied Sciences		
Title	Optimization of 3D-Printing and Models		
Number of pages	29		

The aim of this thesis study was to investigate the methods of utilizing 3D printing and to learn about its optimization and the factors that affect it.

In the study the author's experience with 3D printing was utilized. Information dealing with the subject as broadly as possible, was searched on the Internet. Ways to solve the limitations of the printing industry by dividing printable objects into parts were studied. Also, different possibilities to print alongside normal printing were studied, such as casting mold printing and a combination of prints with, for example, wood.

The results of the thesis show that it is possible to use 3D printing technology as efficiently and versatily as possible and help to locate possible reasons when 3D prints fail. The thesis also goes through a lot of noteworthy issues that should be considered when using a 3D printer, e.g. the calibration of the 3D printer and various factors affecting print quality.

Keywords: 3D-printing, 3D-models, optimization, problem solving

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 LUOVAT RATKAISUT	7
2.1 3D-tulostuksen määrittäminen	7
2.2 Tulostuspinta-alan rajoitteet.....	8
2.3 Tulostetut osat liitoskohtina.....	8
2.4 Tulosteiden jälkikäsittely ja vaihtoehtoiset menetelmät.....	9
3 SUUNNITTELUSSA HUOMIOITAVIA ASIOITA JA OPTIMOINTI	11
3.1 Tukirakenteeton suunnittelu.....	11
3.2 Pyöristetyt kulmat	11
3.3 3D-mallien asettelu	12
3.4 Liikkuvat osat	13
3.5 Tulostusaikaan vaikuttavia tekijöitä.....	14
4 LAITTEISTO	16
4.1 Suuttimet.....	16
4.2 Materiaalit ja niiden kierrätys	17
4.3 Tulostimen kalibrointi	19
4.4 Alustan vaaitus	20
5 OHJELMISTOT JA NIIDEN KÄYTTÖ	25
5.1 3D-mallien luonti	25
5.2 Slicer-ohjelmisto	26
6 POHDINTA.....	27
LÄHTEET.....	28

LYHENTEET JA TERMIT

CNC	Computerized Numerical Control
Infill	tulostusasetuksien täyttö
PLA	polylaktidi
SLA	Stereolithography
TPU	thermoplastinen polyuretaani

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä tutkitaan erilaisia menetelmiä ja keinoja, joilla pyritään tehostamaan 3D-tulostamista. Tarkoituksena on minimoida materiaalin kulutus ja tulostamiseen kuluva aika tilannekohtaisesti. Työssä käsitellään myös erilaisia tapoja hyödyntää 3D-tulostusteknologiaa. 3D-tulostimet eivät varsinaisesti ole uusi keksintö, sillä niiden prototyyppi luotiin jo vuonna 1981 ja ensimmäinen toimiva tulostin valmistettiin vuonna 1983 (Haines 2022).

Tulostimien kotikäyttöön hankkiminen ei ole ollut yleistä niiden korkean hinnan vuoksi. RepRap-projekti vuonna 2005 avasi kaikki ovet 3D-tulostinteknologian kehitykselle avoimenlähdekoodikehityksen myötä, jonka laitto alulle Dr. Adrian Bowyer (Haines 2022). 3D-tulostimien avoimen lähdekoodin kehittäminen ja 3D-tulostimien hintojen putoaminen ovat vauhdittaneet 3D-tulostuksen kehitystä. Mutta siitä huolimatta yleisesti ajatellaan, että se vaatii paljon teknologista osaamista ja on hidasta. Siksi tämä opinnäytetyö pyrkii käsittelemään mahdollisimman laajasti aihetta, kuinka 3D-tulostetuille esineille saavutetaan tarvittavat ominaisuudet erilaisiin käyttötarkoituksiin, mahdollisimman nopeasti ja kustannustehokkaasti.

Tämä opinnäytetyö käsittelee menetelmiä, joita on vaikea ottaa huomioon ilman aiempaa kokemusta 3D-tulostamisesta. Opinnäytetyö käsittelee esimerkiksi laitteistorajoituksiin pohjautuvia ongelmia ja erilaisia menetelmiä niiden ratkaisemiseksi. Myös kierrätys ja materiaalin säästäminen ovat keskeisiä aiheita tässä opinnäytetyössä.

2 LUOVAT RATKAISUT

3D-Tulostusta voidaan hyödyntää monin eri tavoin. On hyvä olla tietoinen, mitä kaikkea 3D-tulostaminen mahdollistaa, ja pyrkiä olemaan rajoittamatta ajatusta pelkästään suoraan esineiden tulostamiseen. On kannattavaa pyrkiä pohtimaan myös, milloin tämän teknologian käyttäminen on hyödyllistä ja milloin sen yhdistäminen voi tuottaa saman lopputuloksen tehokkaammin. Esimerkiksi yhdistämällä 3D-tulostettuja osia puun tai muiden materiaalien kanssa.

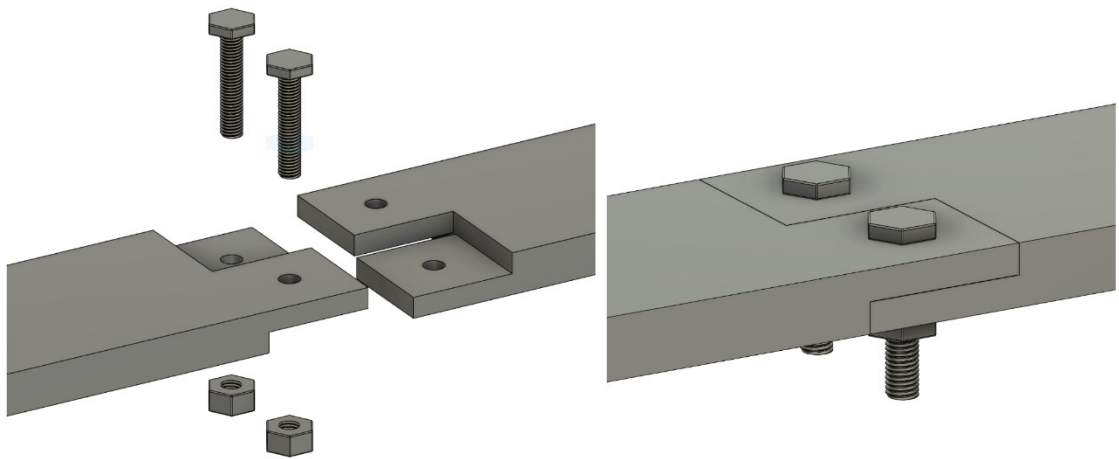
2.1 3D-tulostuksen määrittäminen

3D-tulostimella tarkoitetaan esimerkiksi FDM lankatulostinta, lyhenne FDM tulee sanoista Fused Deposition Modeling (Carolo 2023). Menetelmässä tulostin sulattaa muoviseoksesta valmistettua lankaa, ja pursottaa sen koneohjatusti haluttuihin kohtiin, joissa muovi kovettuu jäähtymisen seurauksena muodostaen kiinteitä kappaleita laitteen tulostusalustalle. Tulostin lukee 3D-malleista käännettyä G-koodia, joka on ohjelmointikieli numeerisesti ohjatuille työstökoneille. G-koodia käyttävät myös metallintyöstökoneet, esimerkiksi CNC-jyrsimet ja -sorvit käyttävät (Hess 2021). G-koodin avulla välitetään koneohjatuille laitteille komentoja, esimerkiksi liikkua koordinaatistossa x-, y- ja z-akseleilla. Tulostaminen tapahtuu kerroksittain, joten 3D-mallit pilkotaan horisontaalisiin kerroksiin käyttämällä tulostimille suunnattua slicer-ohjelmaa, esimerkiksi UltiMaker Curaa, joka luo niistä työstöradaksi kutsutun G-koodin laitteen ohjaamiseksi. (Lohilahti 2018.)

Toinen yleinen tulostus menetelmä on Photopolymeeri menetelmää käyttävä tulostin, eli resiini tulostin. SLA tulostuksessa kappaleen valmistamiseen käytetään metodia, jossa astiassa olevaa nestemäistä resiiniä kovetetaan alustaa vasten hyödyntäen photopolymeerin ominaisuutta kovettua, tietyille valon aallonpituuksille altistaessa. Valo tuotetaan tehokkailla ultravioletteilla tai laserdiodilla. Valo ammutaan nestekidenäytön läpi, joka määrittelee, mistä kohdista valo pääsee läpi kovettaakseen resiinin ainoastaan halutuista kohdista. Laservaloa käyttävän metodin kohdalla, materiaalin kovettaminen tapahtuu koneohjatusti liikuttavan peilin avulla, johon lasersäde on ammuttu. (Lohilahti 2018.)

2.2 Tulostuspinta-alan rajoitteet

Projekteissa voit törmätä ongelmaan, jossa tulostimen tulostuspinta-alaa ei ole riittävästi koko kappaleen tulostamiseen yhtenä kappaleena. Tässä tapauksessa on mahdollista suunnitella kappale jaettavan osiin, jotka mahtuvat tulostimen alustalle. Tämä tietysti lisää suunnittelutyötä kasvattaen siihen kuluvaan aikaan, sillä yhdistettävien osien välille on luotava jonkinlainen tapa kiinnittää osat toisiinsa. Tämä tietenkin vaikuttaa kappaleen fyysisiin ominaisuuksiin, joissakin tapauksissa liitoskohdat jopa lujittavat 3D-tulostettua kappaletta, jakamalla siihen kohdistuvaa rasitusta pienempiin alueisiin. Metallisten pulttien järkevällä sijoittelulla voidaan jopa lujittaa 3D-tulostettua esinettä (kuvio 1).



Kuvio 1. Esimerkki liitoskohdasta

2.3 Tulostetut osat liitoskohtina

Toinen tapa on suunnitella tulostettavat osat ainoastaan liitoskohdiksi. On mahdollista valmistaa esineitä, esimerkiksi puusta, liittämällä puiset osat toisiinsa käyttämällä 3D-tulostettuja liitoskohtia (kuvio 2). Metritavarana hankittavien materiaalien, kuten vesijohtoputkien käyttäminen on yksi helppo tapa rakentaa suurempia kokonaisuuksia tulostimen mittasuhteeseen nähden.



Kuvio 2. Tulostetut osat liitoskohtina (Piper 2023)

2.4 Tulosteiden jälkikäsittely ja vaihtoehtoiset menetelmät

Tulosteiden fyysisiä ominaisuuksia voi parantaa myös jälkikäsittelyllä esimerkiksi suihkuttamalla maalia tai lakkaa kappaleen pinnalle. 3D-tulostetun kappaleen pinnoittamisessa suihkutettavilla tai levitettävillä aineilla, tulee ottaa huomioon tulostuksessa käytetty materiaali ja sen kemialliset ominaisuudet, koska kaikki tulostusmateriaalit eivät kestä maaleissa, lakoissa tai liimoissa käytettyjä kemikaa- leja (Gregurić 2023). Tulostetun kappaleen uloimmasta kerroksesta voidaan myös pyrkiä saamaan sileämpi altistamalla se esimerkiksi asetoonihöyryille. Sul- jetussa tilassa höyrystynyt asetonni alkaa sulattamaan tiettyjen materiaalien pin-

takerrosta saaden kerrokset sulamaan pinnalta täysin yhtenäisiksi ja vahvemmaksi kokonaisuudeksi. On kuitenkin huomioitava, että jälkikäsitteily voi muuttaa kappaleen mittoja.

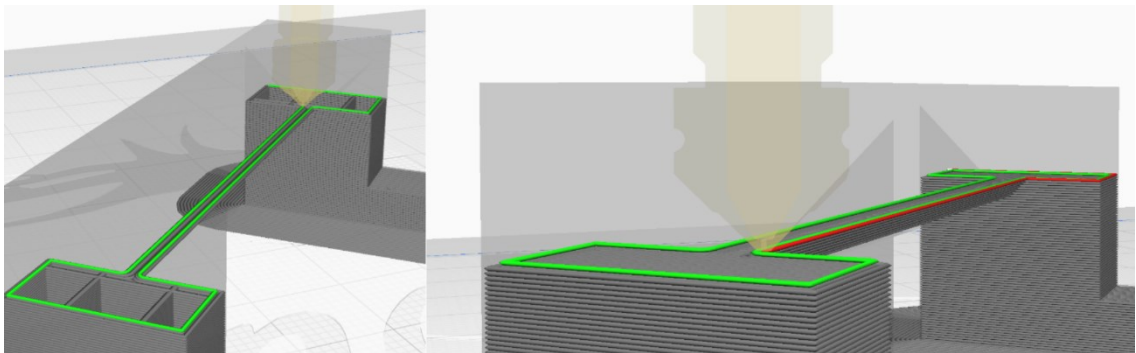
Tulostettavan kappaleen voi myös suunnitella täytettäväksi. Suunnitteluvaiheessa kappaleeseen piirretään täytettäväksi tarkoitettuja onteloita, joille piirretään myös täyttöreiät. Ontelot täytetään halutulla materiaalilla kuten nestemäisellä liimalla ja sen jälkeen reikä suljetaan korkilla tai sulattamalla se umpeen. Tällä tavoin voidaan myös lisätä tulostettuun osaan lisää painoa tai kestävyyttä.

Valumuotin tulostaminen voi myös olla hyvä ratkaisu joissakin tilanteissa. Tällä tarkoitetaan, että suunnitellaan kappale ja sen pohjalta luodaan siitä kaksiosainen valumuotti (Griffin 2019). Tulostetulla muotilla sulan metallin valaminen ei onnistu, sillä se sulattaa muovin liian nopeasti, mutta silikonin kaltaisia aineita on mahdollista kovettaa 3D-tulostetussa muotissa. Metallin valamiseksi voidaan kumminkin tulostaa 3D-malli halutusta esineestä ja valmistaa sen avulla hiekasta valumuotti metallin valamista varten.

3 SUUNNITTELUSSA HUOMIOITAVIA ASIOITA JA OPTIMOINTI

3.1 Tukirakenteeton suunnittelu

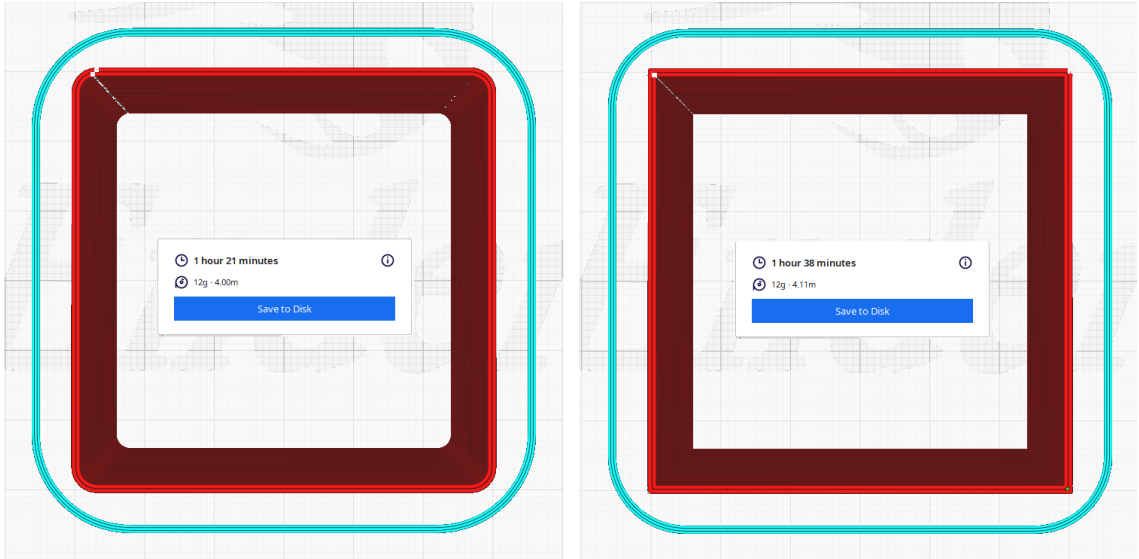
Tukirakenteeton 3D-suunnittelu tarkoittaa sitä, että pyritään luomaan 3D-tulostettavaksi tarkoitettu esine siten, että tulostimen on mahdollista tulostaa se ilman tukirakenteita, tai pyritään pitämään tukirakenteet mahdollisimman vähäisinä. Tulostin suoriutuu 45 asteen kulmasta ongelmitta, jolloin tukirakennetta ei tarvita. Näin pystytään minimoimaan hukkaan menevän materiaalin määrä ja tukirakenteiden irrottamiseen kuluva aika. Pelkkien reikien terävien reunojen pyöristäminen auttaa jo huomattavasti tilanteessa, jossa tulostetaan tyhjän päälle, vaikka lankatulostin selviytyykin tästä melko hyvin ilman tukirakenteita. Yksi menetelmä perustuu siihen, että 3D-mallissa ilmaan tulostettavassa kohdassa luodaan ensin kapea ylityskohta, jonka päälle tulostaminen on jo huomattavasti helpompaa ylityskohdan laajentuessa 45 asteen kulmassa molemmin puolin. Kuviossa kolme näkyy mainittu kapea ylitysmenetelmä. Suuremman pinta-alan tulostaminen ilmaan voi helposti lämmetä liikaa ja alkaa roikkumaan. Näin meneteltynä materiaalin kulutus vähenee ja samalla tulostetun kappaleen laatu paranee.



Kuvio 3. Tukirakenteeton ylitys

3.2 Pyöristetyt kulmat

Kappaleen suunnittelussa pyöristetyt kulmat vähentävät tulostusaikaa huomattavasti ja parantavat yleensä tulostusjälkeä (kuvio 4). Kulmien pyöristämisestä syntyvä etu perustuu siihen, että terävä kulma pakottaa tulostimen hidastamaan moottoreiden liikettä. Teräviä kulmia tulisi siis mallintaa ainoastaan silloin, kun ne ovat ehdottomia vaatimuksia kappaleen muodoissa sen tulevan käyttötarkoituksen kannalta.

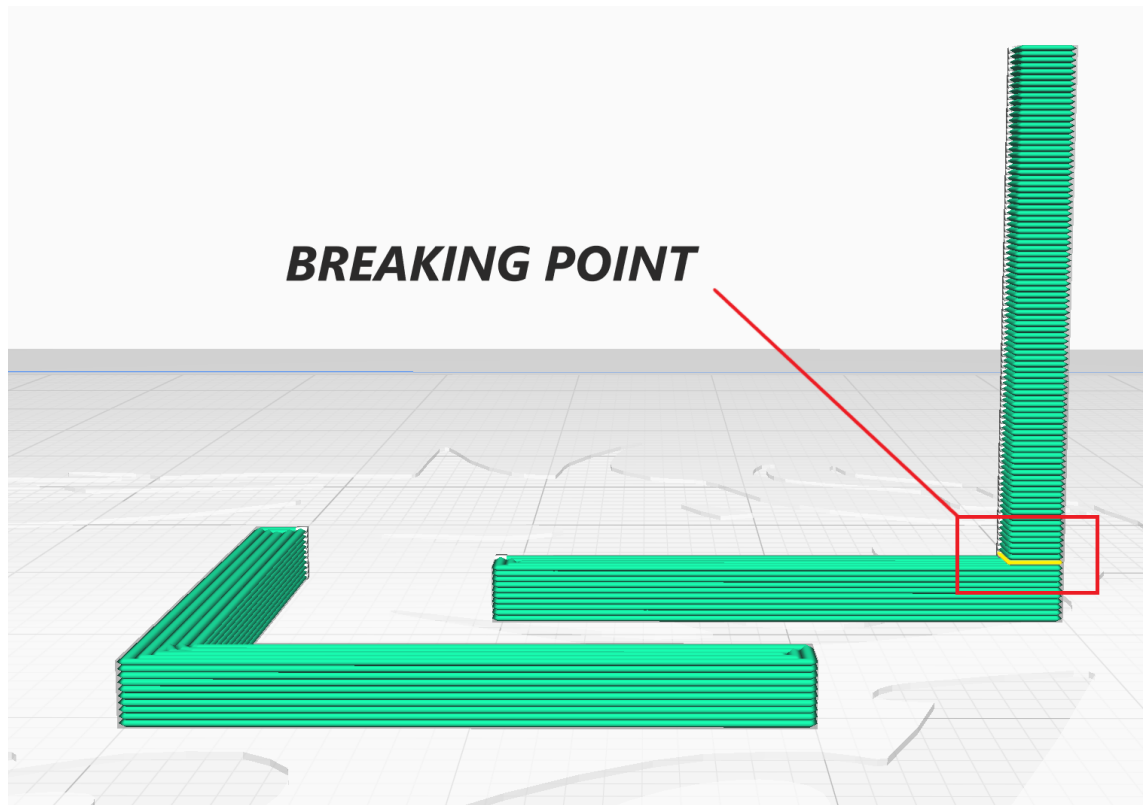


Kuvio 4. pyöristysten vaikutus tulostusaikaan

3.3 3D-mallien asettelu

3D-tulostettujen osien kestävyys lankatulostimella on vahvempi horisontaalisesti sillä tulostin sulattaa muovia kerroksittain. Yksi kerros on mahdollista tulostaa yhtenäisenä, jonka jälkeen tulostimen suutin nousee suorittamaan seuraavaa kerrosta edellisen kerroksen päälle. Aikaisemman kerroksen lämpötila ehtii jäähtyä ja sen rakenne muuttuu kovemmaksi. Kerrosten yhteen sulaminen ei kuitenkaan ole yhtä vahva verrattuna valettuun muoviin, jossa koko kappale on yhtenäinen.

Tulostettavat osat, jotka vaativat fyysistä kestävyyttä tulisi lähtökohtaisesti suunnitella tulostettavaksi kappaleeseen kohdistuvan rasitteen mukaan. Asetettaessa kappale horisontaalisesti tulostusalustalle vältytään heikon kohdan muodostumiselta (kuvio 5).



Kuvio 5. Asettelun määrittämä heikko kohta

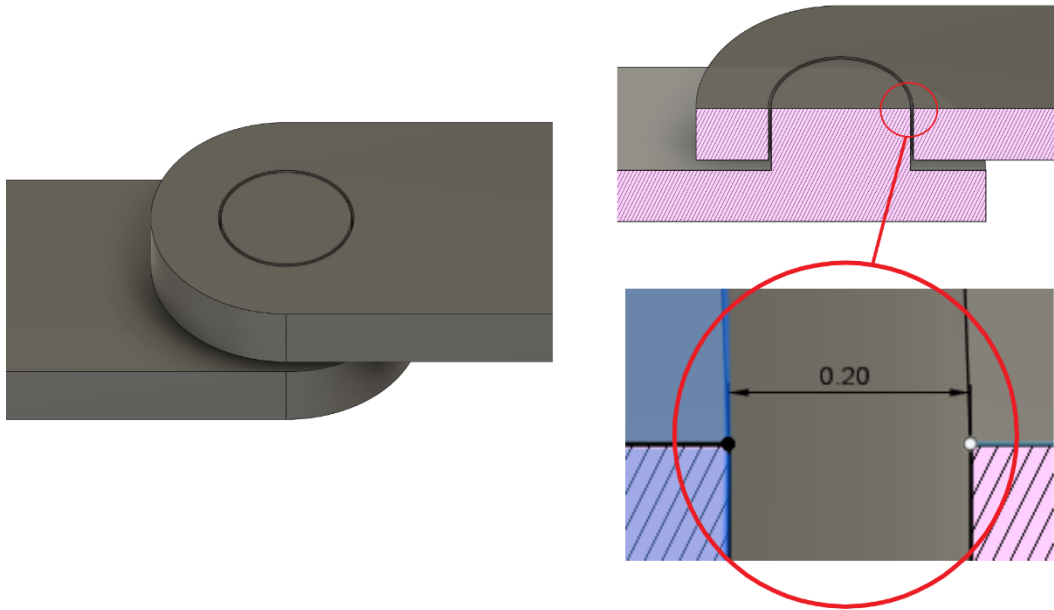
On mahdollista suunnitella kappaleita siten, että kappale koostuu osista, jotka tulostetaan eri asennoissa rasituksen suunnan mukaisesti. Osat kootaan sitten kokonaisuudeksi, jolloin saadaan 3D-tulostetusta osasta mahdollisimman kestävä useammasta suunnasta tulevalle rasitukselle.

Poikkeuksena joskus voidaan tarvita kappale yhtenäisenä, eikä sitä voi tulostaa erillisissä osissa. Yksi mahdollisuus on kääntää kappaletta esimerkiksi 45 asteen kulmaan tulostusalustaan nähden, jolloin kappaleen murtumispiste saadaan siirrettyä. Vaihtoehtoisissa kulmissa tulostaminen edellyttää kuitenkin tukirakenteiden lisäämistä tulosteeseen.

3.4 Liikkuvat osat

Liikkuvien tai toisiinsa kiinnittyvien 3D-tulostettujen osien valmistaminen vaatii enemmän tarkkuutta. Tulostimen täytyy olla kalibroitu hyvin, jotta vältetään osien jälkikäsitteilyä. Toisiinsa kiinnitettävien osien suunnitteluvaiheessa tulee niiden välille jättää vähintään 0,2 millimetrin tila, jotta ne mahtuvat toistensa sisälle (Ooi

2020). Liikkuvien osien kohdalla, kuten tulostetun saranan kohdalla, voidaan tarvita 0,4 millimetriä tilaa kitkan minimoimiseksi, jos kappaleessa ei käytetä laake-reita (kuvio 6).



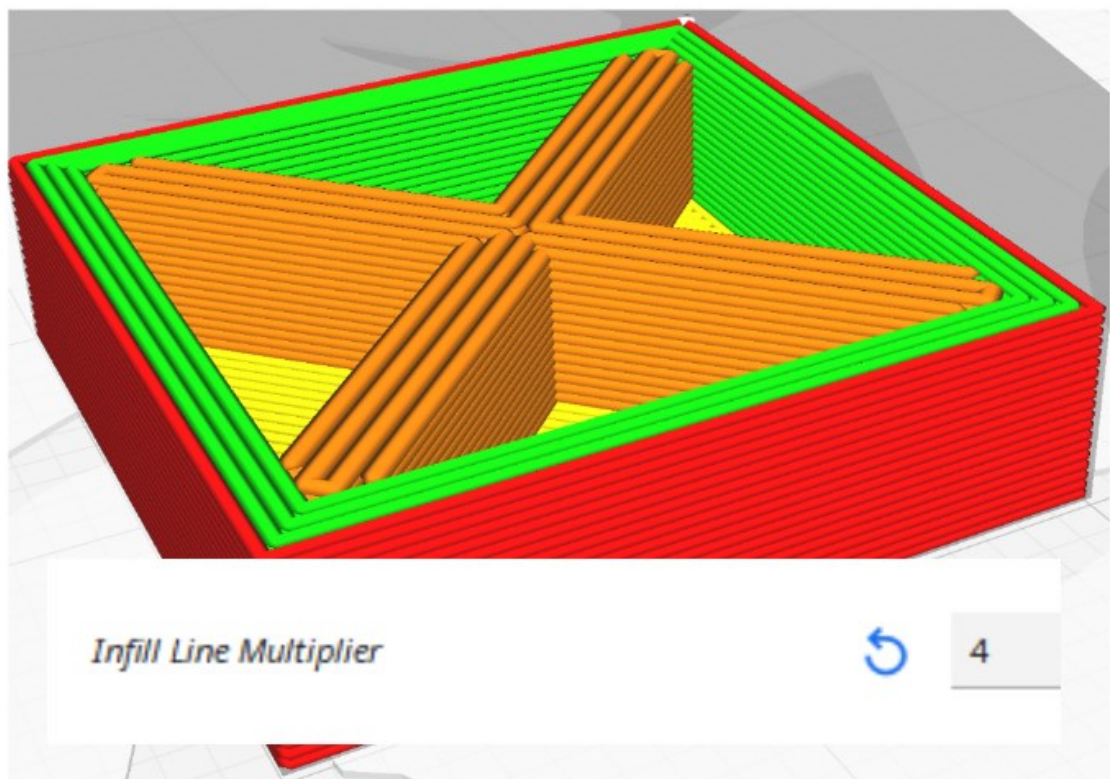
Kuvio 6. Suunnittelulla huomioitu liikkumisvara

3.5 Tulostusaikaan vaikuttavia tekijöitä

3D-tulostaminen on yleensä hidasta, hitauteen vaikuttavia tekijöitä on useita, kuten tulostettavan esineen koko, 3D-mallin geometriset muodot, kappaleen asettelu, seinien paksuus, täyttökuviointi, täyttökuviointin määrä, kerroskorkeus, suuttimen koko, materiaalin ominaisuudet, 3D-tulostimen ominaisuudet, kulmat tai niiden pyöristykset.

Tulostusajan minimoimiseksi on suositeltavaa käyttää mahdollisimman suurta kerroskorkeutta. Kerroskorkeuden määrittää suuttimen koko. Tulostusasetuksissa voi myös säätää pohja- ja pintakerrosten määrää. Perusasetuksilla pohja- ja pintakerrosten tulostaminen vie enemmän aikaa verrattuna seinien tulostamiseen. Suositus PLA-filamentin tulostusnopeudeksi on 40–60 millimetriä sekunnissa (Ditsch & O'connell 2022). Tämän suosituksen ylittäminen voi kuitenkin heikentää tulostuslaatua. Nopeiden prototyyppien kohdalla korkea tulostuslaatu ei välttämättä ole tarpeellista. Korkeamman tulostusnopeuden saavuttamiseksi voidaan myös nostaa suuttimen lämpötilaa, jotta materiaalia ehtii sulaa tarpeeksi ja se virtaisi paremmin suuttimen läpi.

Täyttökuvioinnin vaikutus on myös merkittävä, tulostusasetuksissa voidaan määrittää täyttökuvioinnin määrä välillä 0–100 prosenttia. Kun halutaan tulostaa nopeasti, täyttökuvioinnin osuus tulisi pitää mahdollisimman pienenä. Liian alhainen täyttökuvioinnin osuus kantavien väliseinien kohdalla voi heikentää kappaleen lujuutta. Vähäisen täyttökuvioinnin osuuden kompensoimiseksi voidaan lisätä uloimpien seinien lukumäärää tulostusasetuksissa. Tulostusasetuksissa voidaan myös vaikuttaa täyttökuvioinnin viivojen lukumäärään (kuvio 7). Tämä vahvistaa tulostetta ja samalla lyhentää tulostukseen kuluva-aikaa verrattuna saman vahvuiseen kappaleeseen, joka on tulostettu tiheämmällä täyttökuvioinnilla.



Kuvio 7. Täyttökuvion vahvistaminen tulostusasetuksissa

4 LAITTEISTO

4.1 Suuttimet

Suuttimia on eri kokoisia, joista yleisin suuttimen koko on 0,4 millimetriä halkaisijaltaan, jolla tarkoitetaan suuttimessa olevan reiän halkaisijaa, josta muovi purotetaan läpi. Suuttimen koko vaikuttaa myös siihen, kuinka korkeaa kerroskorkeutta voidaan käyttää tulostettaessa, esimerkiksi 0,4 millimetrin suuttimen kanssa välttävän tulostuslaadun saamiseksi kerroskorkeus on suositeltavaa pitää maksimissaan 0,28 millimetrin korkeudessa (Arceo 2022). Tulostusjälki alkaa pyöristyä sen ylittäessä suositusarvot, eikä enää kykene tarttumaan alempaan tulostettuun kerrokseen.

Suurempia suuttimia käyttämällä saadaan kerroskorkeutta nostettua. Kerroskorkeuden nostaminen vähentää tulostettavien kerroksien lukumäärää ja sitä kautta laskee tulostukseen kuluvaan aikaan. Myös seinien tulostamisessa suuremmalla suuttimella on mahdollista tulostaa ne huomattavasti nopeammin. Pienien yksityiskohtien tulostaminen voi rajoittua, kun suuttimen halkaisija määrittää pienimmän mahdollisen toteutettavan yksityiskohdan. Vaadittavien yksityiskohtien koko määrittää minkä suuruista suutinta tulisi käyttää. Prototyypin valmistuksessa voi monesti olla hyötyä tulostaa isommalla suuttimella ja nopeus priorisoituna laadun sijaan.

Tulostuskärkiä valmistetaan eri materiaaleista (kuvio 8). Halvimmat ovat messingistä valmistetut suuttimet. Suuttimessa käytettävän materiaalin tulee johtaa lämpöä mahdollisimman hyvin ja tasaisesti. Suuttimen tulisi myös pysyä puhtaana ja olla huono tarttumapinta muoville. Joidenkin kovempien tulostusmateriaalien kohdalla, esimerkiksi hiilikuitu filamenttia käytettäessä, suuttimen kuluminen on nopeampaa, käytettävä suutin tulee olla valmistettu esimerkiksi teräksestä. Kalleimpien suuttimien valmistuksessa on käytetty myös rubiinia, jonka kovuuden ansiosta sen kuluminen on erittäin vähäistä (O'Connell 2021a).



Kuvio 8. Erilaisia suuttimia (3DJAKE 2023)

Perinteisen suuttimen lisäksi on keksitty kolmekanavainen suutin, jossa lankaa työnnetään kolmeen reikään, ja se tulee yhdestä ulos. Lämmön jakautuminen saadaan tasaisemmaksi jakamalla se kolmeen. Lämpö suuttimesta siirtyy tuloslankaan sen sivuilta, jolloin langan ydin lämpenee hitaammin verrattuna sen ulkoreunoihin. Ongelma ei kuitenkaan häviä mihinkään, vaan sen mittakaava muuttuu riittävästi saavuttamaan tasaisemman sulamisen tulostimen omassa mittakaavassa.

4.2 Materiaalit ja niiden kierrätys

Lankatulostimella tulostettaessa on käytettävissä paljon erilaisia materiaaleja, osa niistä eroaa fyysisiltä ominaisuuksiltaan ja osa vain väriltään. Yleisimmät tulostusmateriaalit ovat PLA, PET, PETG ja ABS. Nämä muovit ovat perusominaisuuksiltaan kovia jäähtyessä. PLA on yleisin käytetty filamentti. Se on helppo tulostaa, ei vaadi korkeaa lämpötilaa ja on edullista. Toiset yleiset muovit ovat PET ja PETG. Niiden tulostaminen vaatii korkeamman tulostuslämpötilan kuin PLA, mutta on joustavampaa ja kestävämpää. ABS on kestävä tulostusmateriaali, mutta se vaatii myös korkean tulostuslämpötilan ja on jokseenkin vaikeaa tulostaa sen reagoiessa voimakkaasti lämpötilan vaihteluun jäähtyessään, ja sen tulostamisessa syntyy myös myrkyllisiä yhdisteitä, jolloin se vaatii koteloidun tulostimen tasaisen lämpötilan ja myrkyllisten yhdisteiden takia. (Slump 2022.) Tietenkään minkään sulaneen muovin hengittäminen ei ole suositeltavaa.

Joustavat filamentit kuten TPE, TPU ja TPC, ovat esimerkkejä joustavista filamentteista, joita hyödyntämällä voidaan tulostaa joustavia esineitä, suuren

iskunkestävyyden omaavia kappaleita tai vaikka tiivisteitä (ALL3DP 2023a). Joustavien filamenttien tulostaminen täydellisesti vaatii yleensä suorapuristin suulakkeen, jossa filamentin matka työntöpisteestä tulostuspinnalle on mahdollisimman lyhyt tarkkuuden säilyttämiseksi. Joustavia filamentteja on myös hitaampaa tulostaa kuin kovempia filamentteja kuin PLA:ta.

Nylon- ja hiilikuitufilamenttien tulostaminen vaatii paljon kokemusta ja niiden kovuus aiheuttaa suuttimien voimakasta kulumista. Lisähuomiona nylon filamentit myös sitovat itseensä kosteutta erittäin herkästi ja tehokkaasti, joka pahimmassa tapauksessa tekee tulosteesta liian huokoisen ja erittäin helposti murtuvan. Liika kosteus filamentissa voi aiheuttaa kuplia ja muita vääristymiä tulosteessa. Nylonin, ja muiden kosteutta helposti itseensä sitovien filamenttien käytössä on suositeltavaa käyttää filamenttikuivuria, tai poistaa kosteus jollain muulla menetelmällä ennen tulostamista hyvän tulostusjäljen varmistamiseksi. (ALL3DP 2023b.)

Tulostusmateriaalien uusiokäyttö on myös mahdollista pilalle menneistä tulosteista ja tukirakenteista. Sitä varten on rakennettu erilaisia laitteita, jotka on mahdollista rakentaa hyödyntäen 3D-tulostimen osia (kuvio 9). Prosessissa voidaan hyödyntää esimerkiksi tulostuksen aikana tuotettuja tukirakenteita, jotka ensin rikotaan pienempiin osiin ajamalla ne esimerkiksi metallisten terien läpi.

Kun muovi on silputtu pienemmiksi palasiksi, sulaa muovi nopeammin ja tasaisemmin. Sekaan voidaan myös lisätä puhtaasta materiaalista valmistettuja muovipellettejä. Tuotettavan filamentin laatu tulee näin tasaisemmaksi. Seuraavaksi muovi sulatetaan ja puristetaan esimerkiksi 1,75 millimetriä halkaisijaltaan olevan suuttimen läpi, joka on yleisin käytetty ulkohalkaisija lankatulostimissa. Seuraavassa vaiheessa pursotettavaa muovia kelataan sähkömoottorin avulla ensin suoraksi. Suorituksen jälkeen muovia jäähdytetään tuulettimien avulla, jotta kuuma filamentti kerkeää jäähtyä ja säilyttää halutun ulkohalkaisijansa ja muotonsa ennen sen kelaamista kelan ympärille (O'connel 2023).



Kuvio 9. Filamentin valmistusprosessi (O'Connel Jackson 2023)

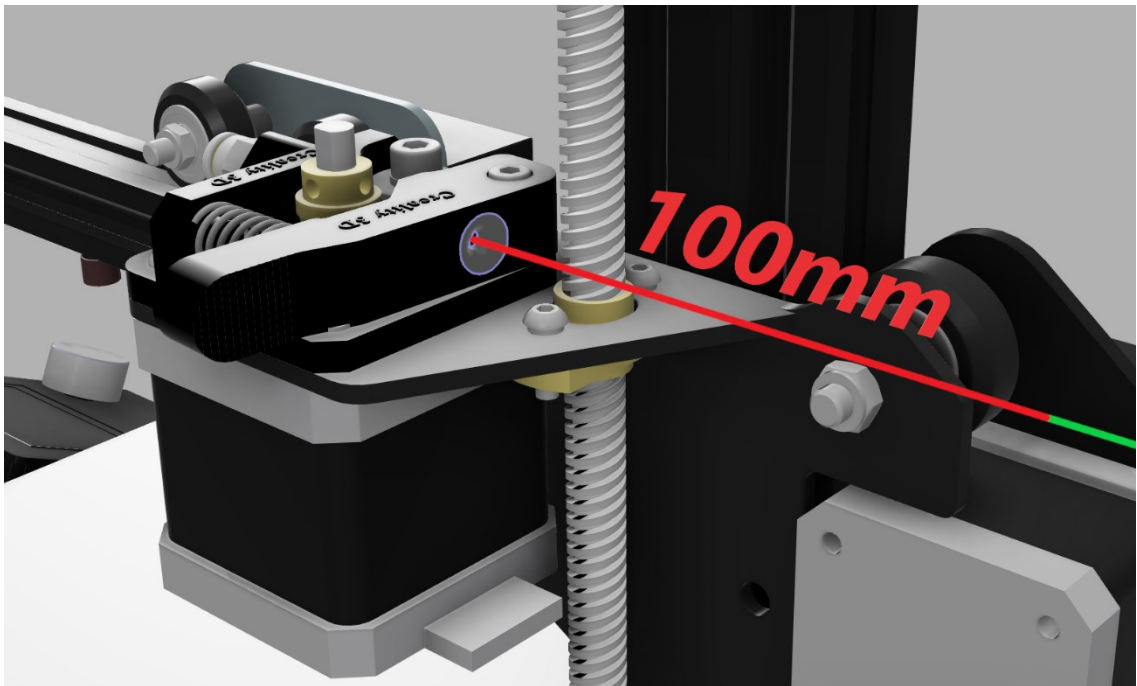
Laitteella voi näin ollen uusiokäyttää tukirakenteita ja pilalle menneitä tulosteita. Tietenkin voit valmistaa tasokasta tulostuslankaa pelkästään korkealaatuisia muovipellettejä käyttämällä. Lanka vastaa oikein tehtynä ostettavia tulostuslankoja. Kierrätetystä materiaalista valmistettuja lankoja ei tule vähäksyä, sillä niitä voidaan käyttää pienemmän toleranssin tulosteissa tai prototyyppivaiheessa. Kierrätetyt materiaalit ovat hyviä varsinkin tilanteissa, jossa lopputuote tulisi valmistaa huomattavasti kalliimmasta materiaalista.

Materiaalia ei voida kumminkaan kierrättää loputtomiin, sillä muoviyhdisteet menettävät ominaisuuksiaan toistuvan lämpötilan vaihtelun seurauksena. Puhdasta materiaalia lisäämällä voidaan kumminkin pidentää materiaalien elinkaarta.

4.3 Tulostimen kalibrointi

Tulostin tulee olla kalibroitu parhaan tuloksen saavuttamiseksi. Lankatulostimessa askelmoottori liikuttaa tulostuslankaa suuttimelle. Sen liikkeitä kontrolloidaan muuttamalla askelnopeutta, joka on ilmoitettu esteps/mm, eli kuinka monta millimetriä yhden askeleen tulisi syöttää lankaa suuttimelle. Tarkoituksena on saada tulostin syöttämään moottorille vastaava määrä lankaa, mitä syöttökäskyssä on määrätty. Tähän vaikuttaa tulostettava materiaali, sekä suuttimen materiaali ja koko.

Kalibrointi tapahtuu siten, että tulostinlangan asennus kohdasta mitataan sadan millimetrin osuus kelaan päin esimerkiksi työntömitalla (kuvio 10). Asennusvaiheen jälkeen merkitään tarkempaa havainnointia varten pienempiä osuuksia lankaan, esimerkiksi yhden millimetrin tarkkuudella molempiin suuntiin aikaisemmasta sadasta millimetrin merkinnästä. Nyt voidaan käskää tulostinta syöttämään sata millimetriä lankaa manuaalikomennolla. Kun askelmoottori pysähtyy, voidaan tarkistaa, onko lanka pysähtynyt sadan millimetrin kohdalle, tai mitata merkintöjen perusteella, kuinka paljon syötetty osuus poikkeaa halutusta sadasta millimetristä. Jos syötetty osuus poikkeaa, voidaan laskukaavalla selvittää askelnopeus, jolla saadaan askelmoottorin syöttökäsky vastaamaan todellista syötettyä matkaa (Halford 2023).

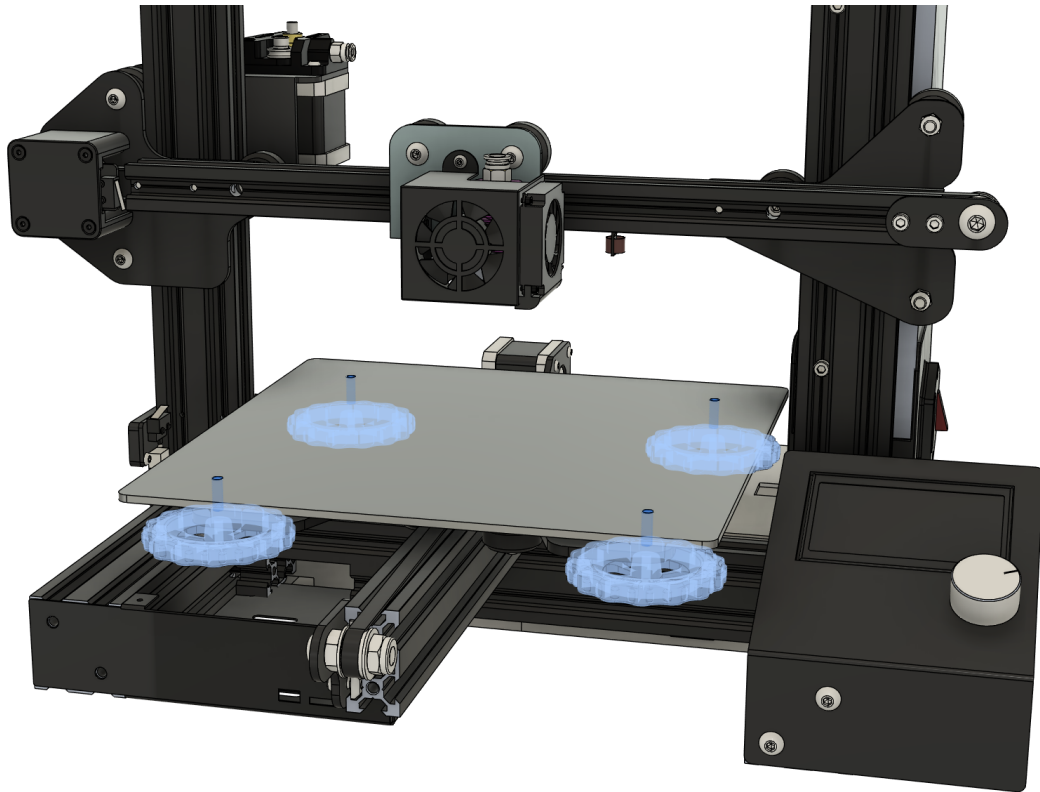


Kuvio 10. Tulostimen kalibrointi

4.4 Alustan vaaitus

3D-tulostimien alusta, johon tulosteet muodostetaan, tulee olla mahdollisimman linjassa tai suorassa tulostimen runkoon ja tulostinpäähän nähden. Parhaan lop-

putuloksen saavuttamiseksi alustassa on yleensä neljä pyöritettävää säätöpyörää (kuvio 11). Säätöpyöriä pyörittämällä saadaan suuttimen ja alustan välistä etäisyyttä säädettyä, ja vaihtelua minimoitua koko alustan pinta-alalla.



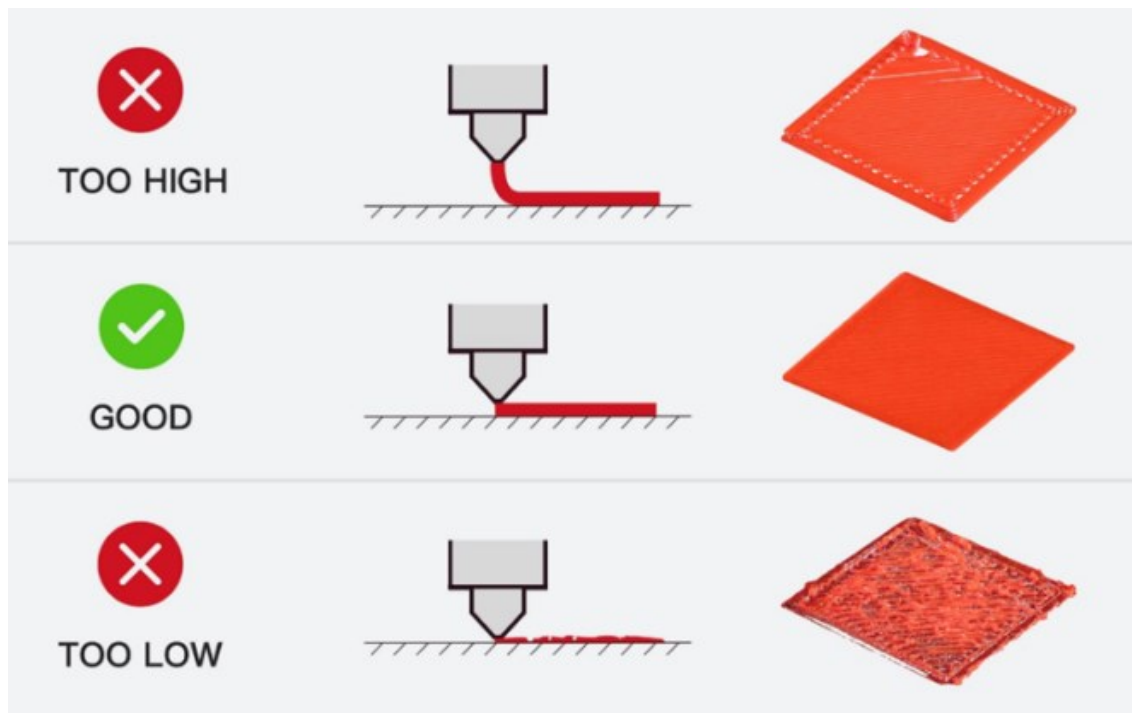
Kuvio 11. Tulostimen alustan säätöpyörät

Monien tulostusohjeiden mukaan tulee suuttimen ja alustan välissä liikutella esimerkiksi paperinpalaa siten, että se pystyy juuri ja juuri liikkumaan vaivatta niiden välissä alustan joka kohdassa, kun tulostinpäätä liikutetaan. Testitulostus voidaan tulostaa kalibrointiin suunnitelluilla 3D-malleilla, jossa tulostin piirtää esimerkiksi ympyröitä alustan joka kulmaan ja keskelle alustaa. Kunkin ympyrän tulostusjäljen perusteella voimme päätellä, jos jokin alustan kulmista ei ole oikealla korkeudella ja alusta on mahdollisesti vinossa (Halford 2023).

Etäisyys on liian pieni, jos tulostimen jälki näyttää litistyneeltä ja näkyy läpi. Alusta on silloin liian korkealla tämän ympyrän osoittaman kulman kohdalla ja suuttimen ja alustan välinen etäisyys on liian pieni, jolloin sula muovi ei pääse ulos suuttimesta kuten sen kuuluisi. Jos väliä ei ole lähes ollenkaan, voi sula muovi tukkia

suuttimen kokonaan. Jos muovi kumminkin pääsee ulos suuttimesta, muodostaa se erittäin epätasaista jälkeä. Tällöin muovi on pakonomaisesti työntynyt pois suuttimen alta ja muovia on kertynyt liikaa joihinkin kohtiin muodostaen korkeampia kohtia, joihin suutin voi törmätä liikkuesssa. Johtaen tulostetun kappaleen irtoamiseen alustasta. Muovia voi myös alkaa kertymään suuttimen ympärille.

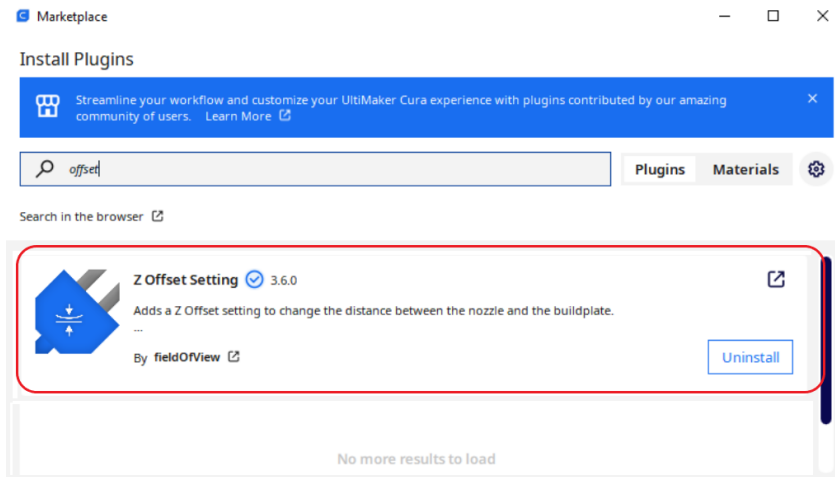
Etäisyys on liian suuri, jos muovi ei ole tarttunut ollenkaan tai tulosteen ulkoreunat nousevat irti alustasta. Silloin alusta on liian matalalla ja suuttimen ja alustan välinen etäisyys on liian suuri (kuvio 12). Tässä tapauksessa sulaa muovi ei pääse kunnolla tarttumaan alustaan. Tämä on helppo havainnoida esimerkiksi terävien kulmien kohdalla, jossa tulostettu seinäviiva oikaisee sisäpuolelta tehden kulmasta pyöreämpiä kuin kuuluisi, tai kulmat ovat irti alustasta.



Kuvio 12. Suuttimen etäisyyden säätäminen (AURARUM 2023)

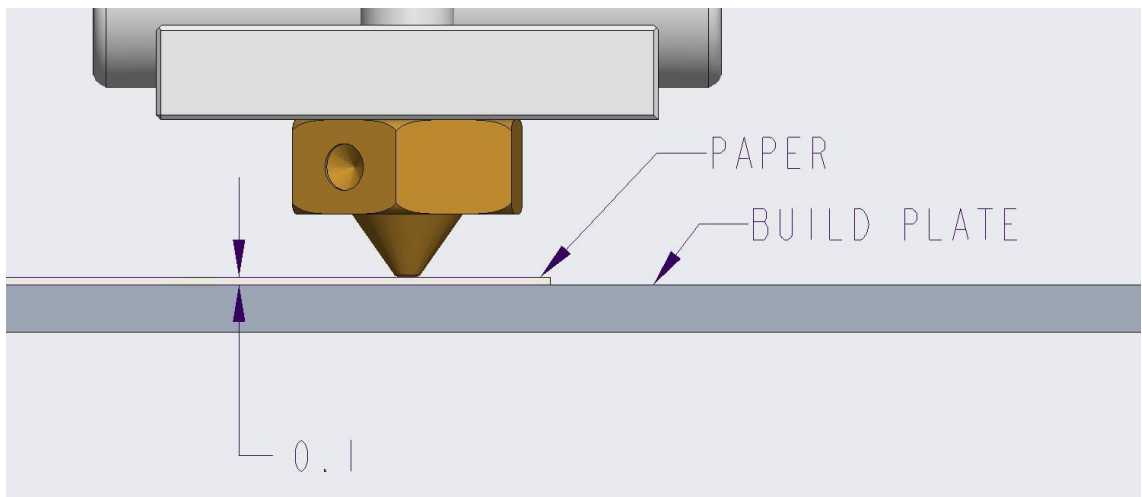
Kopiopaperia käyttäessä tulee kuitenkin ottaa huomioon, että myös ohut paperin pala jättää säätövaiheessa pienen välin suuttimen ja alustan väliin, jota tulostimen koodissa ei oteta huomioon. Tulostin lähtee suorittamaan prosessiaan tältä etäisyydeltä, jonka se tulkitsee nollapisteeksi. Tämä tarkoittaa, että tulostimen nollapiste on siis paperinpalan paksuuden verran ilmassa, vaikka laitteen toiminnan mukaan nollapiste kuuluisi lähteä alustan pinnasta. Tämän ongelman voimme kuitenkin ratkaista tulostusasetuksia säätämällä, esimerkiksi Ultimaker

Cura-ohjelmaa käyttäessä muuttamalla z-offset nimistä arvoa, jolla voidaan korjata nollapisteen sijaintia. Z-offset on lisäosa, joka tulee asentaa Curan kauppa paikalta (kuvio 13).



Kuvio 13. ohjelmiston lisäosa

Normaalin kopiopaperin paksuus vaihtelee keskimäärin 0,05–0,1 millimetrin välillä, joten arvoksi tulisi syöttää ensin -0,05 millimetriä (kuvio 14). Tulostimen tulkitsemassa G-koodissa välitetään tieto nollapisteen korjauksesta. Negatiivista arvoa käyttäessä nollapiste liikkuu alaspäin z-akselilla kohti alustaa pienentäen suuttimen ja alustan välistä etäisyyttä ja positiivinen annettu arvo kasvattaa sitä.



Kuvio 14. Kopiopaperi alustan ja suuttimen välissä (3D Maker Engineering 2023)

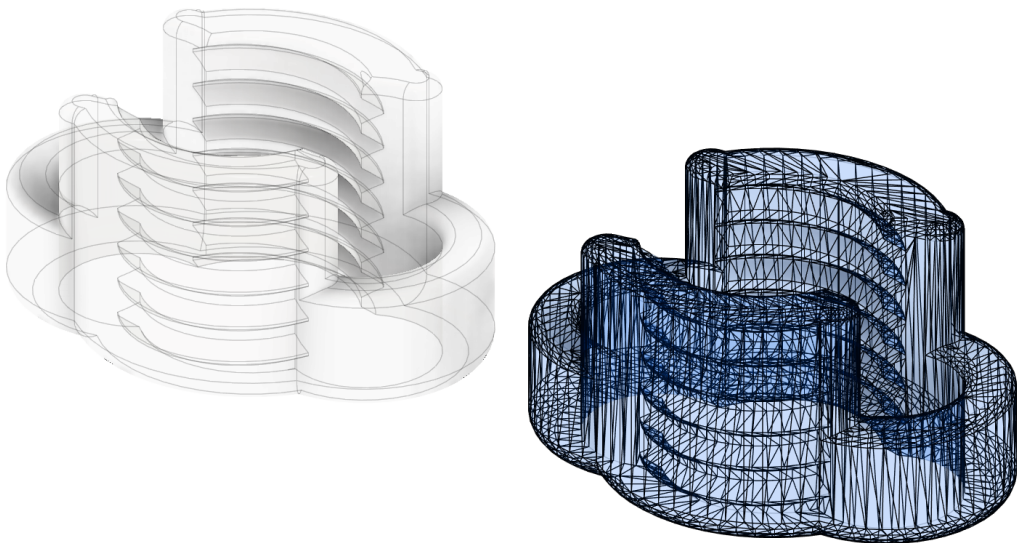
Nollapisteen korjausta voidaan myös hyödyntää tilanteissa, jossa testitulosten ympyröiden jälki näyttää huonolta, vaikka ne ovat keskenään verrattuna samantaisia. Alusta voi siis olla säädetty suoraan, mutta alustan jokaista kulmaa tulisi nostaa tai laskea, jolloin on helpompaa ja nopeampaa siirtää nollapistettä hyödyntämällä aikaisemmin mainittua z-offset arvoa.

Alustan tasaamista varten on saatavilla automaattinen sensori, jolla voidaan alustan kaltevuuden laskeminen tehdä automaattisesti hyödyntäen useita mittauspisteitä muutamissa sekunneissa. Tämä lisälaitte onkin jo vakiovaruste uudemmissä tulostimissa.

5 OHJELMISTOT JA NIIDEN KÄYTTÖ

5.1 3D-mallien luonti

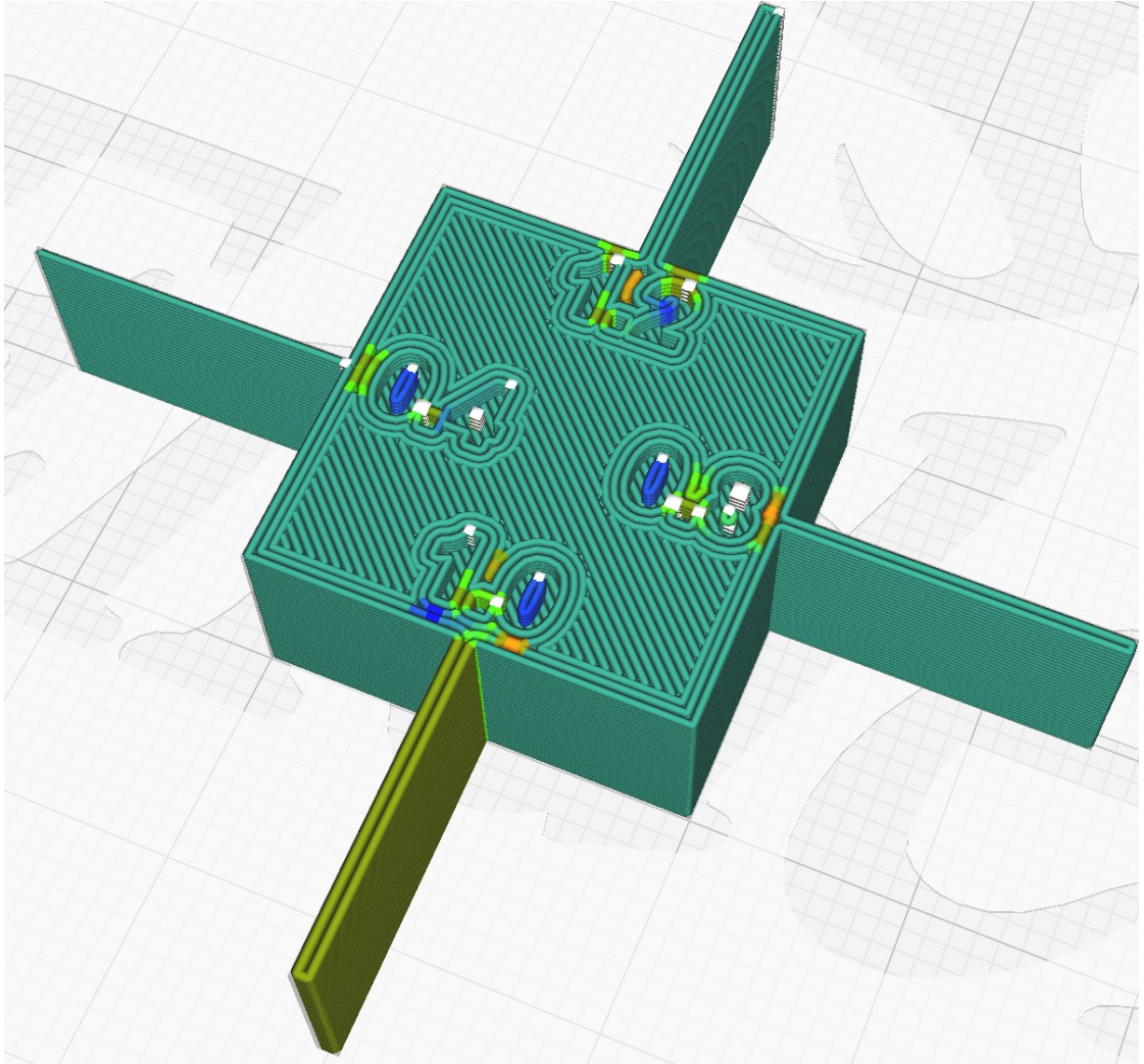
3D-Mallien luomiseen voi esimerkiksi käyttää Autodeskin Fusion 360-ohjelmistoa. Näiden ohjelmistojen avulla on hyvä suunnitella tulostettavia esineitä ja muokata niitä. Ohjelmistot ovat hyviä varsinkin tilanteissa, joissa prototyypin tulostamisen jälkeen huomataan puutteita tai virheitä 3D-mallissa, sillä mittoja on helppo muokata myös jälkikäteen. Ohjelmistolla voidaan tallentaa 3D-malli STL tiedostomuotoon, jota Cura osaa tulkita. STL muotoon tallennettujen 3D-mallien geometria muuttuu kolmioiksi (kuvio 15) ja niiden muokkaaminen on erittäin työlästä ilman alkuperäistä Fusion 360 STEP tiedostoa, jonka geometria on vielä muokattavissa myös parametreilla (O'Connell 2021b).



Kuvio 15. Geometria kolmioituna

3D-mallien suunnitteluvaiheessa tulee ottaa huomioon käytettävän suuttimen halkaisija. Seinien leveys tulee suunnitella jaolliseksi suuttimen halkaisijan mukaan, jotta tulostin suoriutuu seinistä mahdollisimman vähillä liikkeillä ja tulostusjälki pysyy hyvänä. Käytettäessä esimerkiksi 0,4 millimetrin suutinta suoriutuu se 0,8 millimetrin seinästä kahdella vedolla. Yhden millimetrin levyisessä seinässä suuttimesta syötetään enemmän muovia, kun taas 1,2 millimetrin levyisen seinän

kohdalla siirrytään suorittamaan kolmas veto seinän keskikohdassa, joka lisää tulostusaikaa (kuvio 16).



Kuvio 16. Seinien leveyden vaikutus 3D-tulostimen liikkeisiin

5.2 Slicer-ohjelmisto

Slicer-ohjelmiston, kuten UltiMaker Curan, tehtävänä on tulkita 3D-mallin geometriaa ja luoda siitä tulostimelle työstöradat, eli ohjauskomennot, joiden perusteella tulostin toimii. Työstöradat välitetään tulostimelle G-koodin muodossa. Slicer-ohjelmistosta voidaan säätää erilaisia parametrejä, joilla voidaan säätää tulostettavan kappaleen rakennetta ja tulostimen käyttäytymistä.

6 POHDINTA

Opinnäytetyö onnistuu omasta mielestäni hyvin käsittelemään 3D-tulostamista ja sen ympärillä eläviä asioita, joiden ymmärtäminen ei ainakaan omasta mielestäni ole itsestäänselvyys. Kokonaisuuden laatiminen opinnäytetyössä on tuottanut vaikeuksia aiheen ollessa näin abstrakti, myös kohdeyleisön ymmärryksen pohdiminen on vaikeaa tämän kaltaisessa työssä.

Jatkuvasti kehittyvien teknologioiden käsittely on mielestäni aina haastavaa, opinnäytetyö kirjoittaessa aihe alkaa helposti laajenemaan ja täytyy tehdä vaikeita valintoja, kuten mihin aihealueita tulisi rajata. Oman näkemyksen muuttaminen työtä tehdessä sai minut pohtimaan, onko aihevalintani ollut huono opinnäytetyöhön.

Olen itse ollut kiinnostunut 3D-tulostamisesta ja syventynyt siihen myös vapaa-ajallani. Harrastuksena 3D-tulostaminen on ollut erittäin mielenkiintoinen. Koulutukseltani olen koneistaja, minkä takia robotiikka ja asioiden itse tekeminen ovat mielestäni parasta, mitä ihminen voi tehdä. Tämän takia toivon mahdollisimman monen ihmisen miettävän itse, miten laitteet toimivat ja miten ne ovat valmistettu.

Pohdittaessa 3D-tulostusta ja sen kehitystä, uskon sen tekevän mahtavia läpimurtoja tulevaisuudessa, ja olevan keskeisessä osassa monien asioiden ja esineiden valmistusprosessissa. Minusta on myös ollut hienoa pystyä korjaamaan hajonneita esineitä, mitä ilman 3D-tulostinta en olisi ikinä pystynyt korjaamaan itse kotioloissa. Jatkuva uusien tavaroiden ostaminen on myös suuri rasite ympäristön näkökulmasta, kun on mahdollista pidentää monen esineen elinkaarta ja näin säästää meille kaikille elintärkeitä luonnonvaroja.

LÄHTEET

3DJAKE 2023. 3D-tulostinten suuttimet. Viitattu 23.5.2023

<https://www.3djake.fi/varaosat-ja-paeiviykset/3d-tulostinten-suuttimet>.

3D Maker Engineering 2023. Bed Leveling, First Layer Thickness, and Z-Offset.

Viitattu 23.5.2023 <https://www.3dmakerengineering.com/blogs/3d-printing/bed-leveling-first-layer-thickness-and-z-offset>.

ALL3DP. 2023a. The Best TPU & Flexible Filaments of 2023. Viitattu 23.5.2023

<https://all3dp.com/1/flexible-filament-tpu-tpe-tpc-best-brands/>.

ALL3DP. 2023b. Nylon 3D Printing – The Ultimate Guide. Viitattu 23.5.2023

<https://all3dp.com/2/nylon-3d-printing-how-to-get-nylon-3d-printed/>.

Arceo, F. 2022. Best Layer Height for 3D Printing!. Viitattu 23.5.2023

<https://3dsolved.com/best-layer-height-for-3d-printing/>.

AURARUM 2023. Nozzle Z offset. Viitattu 2.5.2023 <https://aurarum.com.au/nozzle-z-offset/>.

Carolo, L. 2023. What Is FDM 3D Printing? – Simply Explained. Viitattu

24.5.2023 <https://all3dp.com/2/fused-deposition-modeling-fdm-3d-printing-simply-explained/>.

Ditsch, K., O'connell, J. 2022. The Best Ender 3 (V2/Pro/S1) Print Speed Set-

tings. Viitattu 23.5.2023 <https://all3dp.com/2/ender-3-print-speed-all-you-need-to-know/>.

Gregurić, L. 2023. 3D Printing Post-Processing: PLA, PETG, ABS & More. Viitattu

24.5.2023 <https://all3dp.com/2/fdm-3d-printing-post-processing-an-overview-for-beginners/>.

Griffin, M. 2019. 3D Printed Molds: How to Get Started. Viitattu 24.5.2023

<https://all3dp.com/2/3d-printed-molds-all-you-need-to-know-to-diy/>

Haines, J. 2022. History of 3D Printing: When Was 3D Printing Invented?. Viitattu

2.5.2023 <https://all3dp.com/2/history-of-3d-printing-when-was-3d-printing-invented/>.

Halford, N. 2023. 3D Printer Calibration: How to Calibrate Your 3D Printer. Viitattu

2.5.2023 <https://all3dp.com/2/how-to-calibrate-a-3d-printer-simply-explained/>.

Hess, B. 2021. What Is CNC Machining? An Overview of the CNC Machining

Process. Viitattu 23.5.2023 <https://astromachineworks.com/what-is-cnc-machining/>.

Lohilahti, J. 2018. Vertailussa FDM-, SLA- ja SLS- teknologiat. Viitattu 2.5.2023

<https://www.3d-tulostus.fi/uutiset/Vertailussa-FDM-SLA-ja-SLS-teknologiat>.

O'Connel, J. 2023. DIY Filament Extruders: The Best Filament Makers in 2023 Viitattu 2.5.2023 <https://all3dp.com/2/best-diy-filament-extruder-kit-maker/>.

O'Connell, J. 2021a. Olsson Ruby Nozzle: Review the Specs. Viitattu 23.5.2023 <https://all3dp.com/2/olsonn-ruby-nozzle-review-specs/>.

O'Connell, J. 2021b. Fusion 360 File Formats/Types: All You Need to Know. Viitattu 24.5.2023 <https://all3dp.com/2/fusion-360-file-formats-types/>.

Ooi, T. 2020. How to 3D Print Joints – Simply Explained. Viitattu 24.5.2023 <https://all3dp.com/2/3d-printed-joints-the-basics/>.

Piper, S. 2018. Stool - 3D Printable Life Size Furniture. Viitattu 23.5.2023 <https://www.myminifactory.com/fr/object/3d-print-stool-3d-printable-life-size-furniture-72593>.

Slump, G. 2022. PLA vs ABS vs PETG: The Main Differences. Viitattu 23.5.2023 <https://all3dp.com/2/pla-vs-abs-vs-petg-differences-compared/>.