



samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

KRISTIAN KUUSINEN

3D-tulostus teollisuusrobotin työkalunvalmistuksessa

KONETEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA
2022

Tekijä(t) Kuusinen, Kristian	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Maaliskuu 2022
	Sivumäärä 30	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi 3D-tulostus teollisuusrobotin työkalunvalmistuksessa		
Tutkinto-ohjelma Konetekniikka		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön aiheena oli kartoittaa tilaajayrityksen tarpeita ja vaatimuksia 3D-tulostimen hankintaa varten. Tarkoituksena on käyttää tulostinta uusien tuotemallien luomiseen sekä teollisuusrobotin työkalujen valmistukseen. Opinnäytetyötä tehdessä yrityksellä oli käytössään kaksi kotikäyttöön soveltuvaa laitetta.</p> <p>Työssä mallinnettiin ja valmistettiin tarttuja teollisuusrobottiin. Työssä tehtiin kustannuslaskelma sekä muovisesta tulosteesta että alumiinista koneistetusta kappaleesta. Sen lisäksi kerrottiin kolmiulotteisen tulostuksen perusteista ja yleisimmistä materiaaleista.</p> <p>Lisäksi tässä työssä vertailtiin kahden eri valmistajan tulostinta, jotka täyttävät tilaajayrityksen kriteerit. Vaatimuksina olivat tulostusalustan koko, mahdollisuus tulostaa teknisiä muoveja sekä mahdollisuus tulostaa erillistä tukimateriaalia.</p>		
Avainsanat 3D-tulostus, 3D-tulostin, teollisuusrobotti		

Author(s) Kuusinen, Kristian	Type of Publication Bachelor's thesis	Date March 2022
	Number of pages 30	Language of publication: Finnish
Title of publication 3D-printing in industrial robot tool manufacturing		
Degree program Mechanical engineering		
Abstract <p>The subject of this thesis was to map out different features and needs of corporation for purchasing 3D-printer. Corporate's meaning is to use 3D-printer for creating new models and to create different kinds of tools for industrial robot. By the time this thesis was made, the company had two homescale-printers to use.</p> <p>3D-printed tool was made and designed, and also cost analysis was made. This thesis contains some information about three-dimensional printing theory and some of the most used materials for printing.</p> <p>This thesis also has comparison between two different printers which meets company's criteria. Criteria's were size of printing platform, able to print engineering plastics and to use separate, water dissolving support material.</p>		
Keywords 3D-printing, 3D-printer, industrial robot		

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	7
2 TYÖN TOIMEKSIANTAJA	8
2.1 Pasi Kuusinen Oy	8
2.2 Meriser Oy	8
3 3D-TULOSTUKSEN TAUSTAA	10
3.1 3D-lankatulostimista yleisesti	10
3.2 Nykyhetki	10
3.3 Tulostettavan kappaleen mallinnus	11
3.4 Kappaleen viipalointi	12
3.5 Kappaleen pinnan jälkikäsittely	13
4 MATERIAALIT	14
4.1 Yleisimmät materiaalit	14
4.1.1 PLA (Polylaktidi).....	16
4.1.2 ABS (Akryylinitriili butadieeni styreeni)	16
4.1.3 PETG (Polyeteenitereftalaatti).....	16
4.1.4 Polyamidit (Nylon)	16
4.1.5 PVA (Polyvinyylialkoholi).....	17
5 TULOSTIMEN KÄYTTÖTARKOITUKSET	18
5.1 Lähtökohdat tulostimen hankintaan	18
5.2 Vaatimukset.....	19
5.3 Vaihtoehdot soveltuviksi laitteiksi	19
5.3.1 Raise3d Pro3	20
5.3.2 Ultimaker S3	21
6 TEOLLISUUSROBOTIN TARTTUJAN MALLINNUS	22
6.1 Tarttujan mallinnus	22
6.2 Mallinnetun pihdin tulostus.....	23
6.3 Alumiinista valmistettu mutteripihti	24
7 KUSTANNUKSET	26
7.1 Tulostettu työkalu.....	26
7.2 Alumiininen työkalu.....	26
7.3 Vertailu.....	27
8 PÄÄTELMÄT	28
LÄHTEET	

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

FFF = fused filament fabrication

SLS = selective laser sintering

SLA = stereolitografia

Filamentti = tulostusnauha, tulostuslanka

Ekstruusio = sulan aineen pursotus muotin läpi

1 JOHDANTO

3D-tulostus on nopeasti kehittyvä ala, jonka käyttötarkoitukset laajenevat jatkuvasti. Yhä useammassa yrityksissä on ajankohtaista miettiä tulostimen hankintaa omien tarpeiden täyttämiseen, sekä uusien mahdollisuuksien luomiseen. Työn tarkoituksena on tutkia toimeksiantajayrityksen tarpeita ja vaatimuksia tulostimen hankinnalle, sekä siitä aiheutuvia kustannuksia. Työssä tutkitaan ainoastaan muovin pursotukseen perustuvia laitteita.

Tilajayrityksen tarve 3D-tulostimen hankintaan liittyvissä kysymyksissä oli pääsyy opinnäytetyön aiheelle. Tarkoituksena on hankkia noin 5000 euron hintainen laitteisto, jolla pystyy tarvittaessa tulostamaan teknisiä muoveja sekä veteen liukenevaa tukimateriaalia. Työssä tutkitaan eri materiaaleja, kahta erilaista tulostinta sekä vertaillaan muovista tarttujaa alumiinista valmistettuun. Lisäksi tästä tehdään kustannuslaskelma.

2 TYÖN TOIMEKSIANTAJA

2.1 Pasi Kuusinen Oy

Pasi Kuusinen Oy on perustettu vuonna 1990 Merikarvialla. Yritys valmistaa ruiskuvalamalla sekä ekstruusiolla muovisia LVI-tuotteita. Konekantaan kuuluu useita ruiskuvalukoneita, teollisuusrobotteja sekä uusimpana hankintana ekstruusiolinjasto, muoviputken valmistusta varten.

Aluksi yritys oli keskittynyt muutamalla koneella pienten muoviosien valmistukseen. Vuosien mittaan tuotantohalleja on tullut lisää ja konekanta kasvanut. Muoviputken valmistukseen tarvittava linjasto hankittiin vuonna 2019. Yrityksellä on myös oman tuotannon hylkytuotteiden uusiointia.

Pasi Kuusinen Oy valmistuttaa alihankintana teollisuusrobottien työkalut ja tarttujat pääosin alumiinista. Alumiinista valmistettujen työkalujen kulutuksenkestävyys on korkealla tasolla, mutta kustannukset ovat korkeahkot sekä materiaalien toimitusajat pitkiä. Yritys myös mallintaa uusia tuotteita 3D-tulostuksella, joka teetetään alihankintana. Nämä kaksi asiaa luovat tarpeen oman 3D-tulostimen hankintaan.

2.2 Meriser Oy

Meriser Oy on vuonna 1965 Merikarvialla perustettu LVI-tarvikkeita valmistava perheyritys. Aluksi yritys toimi Merikarvian Vesi- ja lämpöhuolto-nimen alla, josta se muutettiin Meriser Ky:ksi ja myöhemmin Meriser Oy:ksi. Yrityksen perusti Hannu Kuusinen, ja nyt toimintaa jatkaa hänen poikansa Pasi Kuusinen. Meriser työllistää noin 30 henkilöä sekä mukana toiminnassa on kolmas sukupolvi.

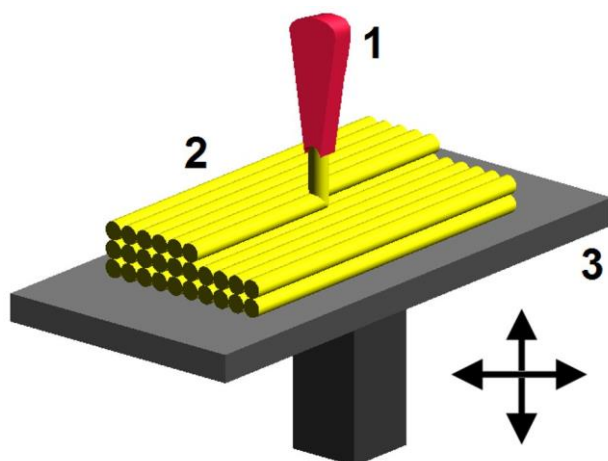
Yrityksen toimenkuvaan kuului alkuaikoina asennus- ja urakointityöt, jolloin huomattiin silloisissa tuotteissa puutteita ja vikoja. Hannu Kuusinen alkoi kehittämään tuotteita, jotka olivat nopeampia ja helpompia käyttää, sekä pitkäikäisempiä kuin vastaavat markkinoilla olevat. HK-tiiviste oli ensimmäisiä kehitettyjä tuotteita, ja sitä

valmistettiin aluksi alihankintana. Repertuaarin kasvaessa ostettiin oma ruiskupuristuskone, ja tuotantoa lisättiin. Nykyään suurin osa tuotteista valmistetaan itse yritysten omilla koneilla ja laitteilla.

3 3D-TULOSTUKSEN TAUSTAA

3.1 3D-lankatulostimista yleisesti

FFF-menetelmä, eli Fused filament fabrication on kolmiulotteisen tulostuksen käytetyin menetelmä. Menetelmä perustuu muovin ekstruusioon sekä sulan muovin tartuntakykyyn. Lämmitetty suutin puristaa ulos sulaa muovia, joka liittyy edelliseen kerrokseen. Tätä kiertoa toistetaan, kunnes haluttu muoto on saavutettu ja tuloste on valmis. (Weiner, 2020)



Kuva 1. FFF-periaate. (all3dp.com)

3.2 Nykyhetki

Materiaalia lisäävän valmistustekniikan käyttö kasvaa jatkuvasti. Vuosina 2019 ja 2020 ala kasvoi keskimäärin 12,5 % vuodessa. Metallia käyttävät laitteistot lisääntyvät jatkuvasti ja hinnat tulevat kilpailukykyisemmiksi. Vuosien 2017 ja 2018 aikana muovin osuus kaikista tulostuslaitteista laski 88 prosentista 65 prosenttiin, ja vastaavasti metallin käyttö lisääntyi 28 prosentista 36 prosenttiin. (Deloitte, 2019)

Sculpteon vuosittain julkaisema ”The state of 3D printing” on tiivistelmä kyseisen vuoden merkittävimmistä muutoksista lisäävän valmistuksen parissa. Kyselyyn vastasi yli 1900 alan osaajaa, joista suurin osa käyttää FFF-laitteita. Eniten laitteita käytetään tutkimukseen sekä prototyyppien luomiseen, mutta mekaanisten osien

valmistaminen loppukäyttäjille on noussut lähes samalle tasolle. Näistä suurin osa luodaan organisaation sisäiseen käyttöön. Myös 3D-tulostuksen käyttö sarjavalmistukseen on kasvanut kuluneen vuoden aikana. (Sculpteo, 2021, s. 4-12)

3.3 Tulostettavan kappaleen mallinnus

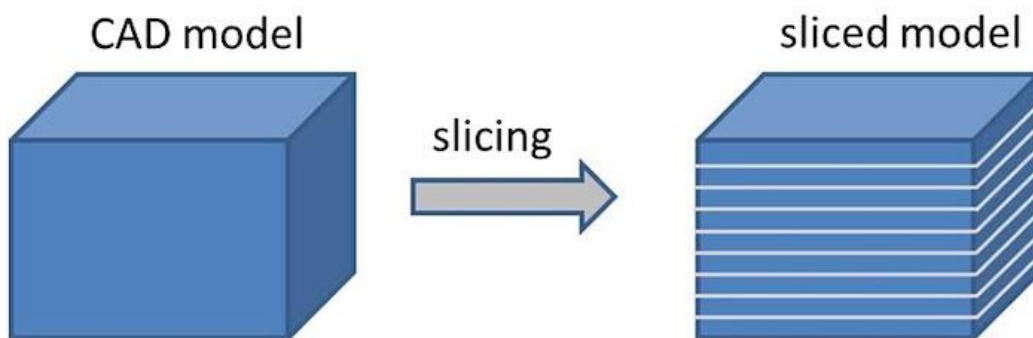
3D-tulostin vaatii toimiakseen mallin, jonka pohjalta se tulostaa kerros kerrokselta halutun tuotteen. Tuotteen mallintamiseksi tarvitaan kolmiulotteinen piirto-ohjelma, esimerkiksi SolidWorks. Piirto-ohjelmalla luodaan malli, joka soveltuu tulostamiseen. Mallintamisessa on otettava huomioon tulostimen asettamat rajat kappaleen muotoilun suhteen. Kappaletta suunniteltaessa on otettava huomioon sen käyttötarkoitus sekä sen vaatimat kestävyysominaisuudet. Esimerkiksi palloa on mahdoton tulostaa, sillä kappaleen on kiinnityttävä jotenkin tulostuspetiin. Myöskään täysin tyhjän päälle ei ole mahdollista tulostaa ilman tarvittavia tukirakenteita. Täten esimerkiksi kaarisillan tulostaminen on hyvin vaikeaa ilman tukimateriaalia. Tukimateriaalin poisto on usein mekaanista työtä, poislukien vesiliukoiset materiaalit kuten PVA. (3dsolved, n.d.)



Kuva 2. Tukimateriaali. (hubs.com, 2021)

3.4 Kappaleen viipalointi

Kun haluttu kappale on mallinnettu 3D-piirto-ohjelmalla, se viipaloidaan osiin siihen tarkoitettulla ohjelmalla. Viipalointi tehdään, jotta 3D-tulostin pystyy hahmottamaan kappaleen eri muodot sekä kerrokset. Kappale jaetaan yhtä moneen osaan kuin on tulostettavia kerroksiakin. Viipaloinnin yhteydessä valitaan haluttu täyttöaste, nopeudet sekä lämpötilat. Kerrospaksuutta sekä nopeutta säätämällä voidaan vaikuttaa tulostettavan kappaleen pinnanlaatuun sekä kulutuksenkestävyyteen. Tiheämpi kerrospaksuus antaa siistimmän lopputuloksen sekä paremman kestävyyden mekaanista rasitusta vastaan, mutta myös hidastaa tulostamista merkittävästi. (Rankred, 2020)

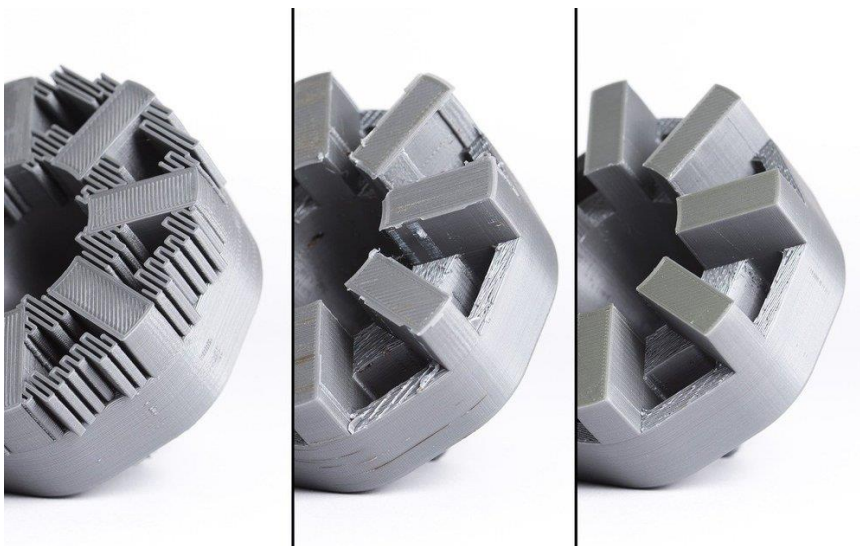


Kuva 3. Kappaleen viipalointi. (rankred.com, 2020)

3.5 Kappaleen pinnan jälkikäsittely

Pursotuksella valmistetun kappaleen pinta vaatii useimmissa tapauksissa jälkikäsittelyä. Tämän tarkoituksena on siistiä pintoja, tarkentaa mittoja sekä valmistella kappaletta mahdollisia seuraavia työvaiheita varten. Kappaleita voidaan maalata sekä niitä voidaan liimata yhteen, tässä tulee ottaa huomioon valmistusmateriaalin liuottimien kestävyys.

Tukirakenteiden poisto on tavallisimpia jälkikäsittelyjä, joita kappaleille tehdään. Usein tukirakenteet ovat samaa materiaalia itse kappaleen kanssa, joten niiden poistaminen edellyttää mekaanista työtä. Sivuleikkureilla katkomalla sekä hiomapaperilla saadaan siistittyä jäljet. PLA-muovisten kappaleiden pintaa voidaan tasoittaa myös asetonihöyryillä. Nämä liuottavat PLA-muovia, joka tasoittaa epätasaisuuksia.



Kuva 4. Pinnan jälkikäsittely. (all3dp.com, 2022)

4 MATERIAALIT

4.1 Yleisimmät materiaalit

Ainetta lisäävässä valmistuksessa käytetään muovia, metallia sekä erilaisia hartseja ja pulvereita. Lisäksi erilaisilla laitteilla voidaan käyttää betonia, hiekkaa sekä lasia. Nämä kolme jälkimmäistä ovat harvinaisia. Tässä työssä keskitytään vain FFF-menetelmää käyttäviin muovitulostimiin.

Pursotusmenetelmää hyödyntävät laitteet käyttävät kappaleen valmistukseen polymeereistä valmistettua lankaa. Lankaa valmistetaan erilaisista muovi- ja kumiseoksista. Raaka-aineena toimii granulaatti, joka on pientä ja säännöllisen muotoista muovi- tai kumiraetta. Tässä vaiheessa raaka-aine on väritöntä, ja siihen on mahdollista lisätä erilaisia lisäaineita, esimerkiksi väriaineita tai ominaisuuksia parantavia lisäaineita. Näitä ovat muun muassa uv-säteilyn vaikutusta heikentävät aineet sekä palonestoaineet. Muovigranulaatti syötetään ekstruusiokoneeseen, joka valmistaa siitä nauhamaista tulostuslankaa. Ekstruusiokoneen sylinterissä granulaatti sulatetaan, sekoitetaan ja työnnetään ulos suuttimesta halutun muotoisena. Tämän jälkeen nauha jäähdytetään, kuivataan ja kerätään rullalle, josta loppukäyttäjä voi tulostaa haluamiaan tuotteita.



Kuva 5. Muovigranulaatti. (Uberplas.com, n.d.)

Tulostusnauhaa on saatavilla eri kokoisissa rullissa sekä eri halkaisijoilla. Avoimen lähdekoodin laitteet sekä suurimmat valmistajat käyttävät koneissa 1,75 mm lankaa. On olemassa myös muutamia valmistajia, jotka käyttävät 3,00 mm lankaa. Paksumman langan käyttö nopeuttaa suurten tulosteiden luomista sekä helpottaa pehmeiden materiaalien tulostusta. Tulosteissa ja malleissa, joissa vaaditaan nopeata valmistusta sekä paljon materiaalia lyhyessä ajassa, on syytä valita kone, joka käyttää 3,00 mm lankaa.

Yleisimmät käytössä olevat tulostusmateriaalit ovat PLA, PETG, sekä ABS. PLA-langan käyttö johtuu pitkälti sen edullisuudesta, helposta tulostettavuudesta sekä hyvästä saatavuudesta. Materiaalina ABS on vaikeampaa tulostaa, vaatii suljetun tilan, jotta tulostus onnistuu, sekä on hieman kalliimpaa, mutta selkeästi kestävämpää kuin PLA. Teollisessa käytössä suositetaan materiaalina nylonia, joka vaatii tulostimelta suorituskykyä, mutta on erittäin kestävä. (Simplify3d, 2021)



Kuva 6. PLA-filamentti. (3d-kauppa.fi, n.d.)

4.1.1 PLA (Polylaktidi)

Polylaktidi on yleisimmin käytetty tulostusmateriaali. Se on ympäristöystävällinen, biohajoava materiaali. Polylaktidi valmistetaan sokeripitoisista kasveista uuttamalla. PLA on helppoa tulostaa, se ei vaadi lämmitettyä tulostusalustaa eikä korkeita lämpötiloja. (Hausman & Horne, 2017, s.56)

4.1.2 ABS (Akryyliniiriili butadieeni styreeni)

ABS-muovia käytetään laajasti ruiskuvalussa sekä ekstruusiossa. ABS-muovilla on hyvät kestävyysominaisuudet mutta se vaatii lämmitetyn tulostusalustan sekä kutistuu jäähtyessään. (Hausman & Horne, 2017, s.57)

4.1.3 PETG (Polyeteenitereftalaatti)

Polyeteenitereftalaatti on muovipulloissa ja pakkauksissa yleisesti käytettyä materiaalia. Sen käyttö 3D-tulostukseen on lisääntynyt hyvien ominaisuuksien vuoksi. Polyeteenitereftalaatilla on hyvä iskun- ja kulutuksenkestävyys sekä se on helppoa tulostaa. Tulostusominaisuuksiltaan lähes samaa kuin PLA, vaatii hieman korkeampi lämpötiloja sekä lämmitetyn tulostusalustan. (Simplify3D, n.d.)

4.1.4 Polyamidit (Nylon)

Nylon on tulostusmateriaalina melko uutta, muussa teollisuudessa laajalti käytettyä. Nylonin ominaisuuksiin kuuluu lujuus sekä joustavuus. Se vaatii korkeita lämpötiloja sekä kestävyttä tulostimen suuttimilta. Teolliseen käyttöön ja kovaan kulutukseen tulevissa tulosteissa nylon on oikea valinta. Se kestää myös liuottimia kuten asetonia, toisin kuin PLA tai ABS. (Hausman & Horne, 2017, s.57)

4.1.5 PVA (Polyvinyylialkoholi)

PVA on vesiliukoinen materiaali, jota käytetään pääsääntöisesti tukiaineena suuremmille ja monimutkaisimmille tulosteille. Polyvinyylialkoholi liukenee veteen, ja se tulee kuivata ennen tulostusta, sillä se imee kosteutta ympäröivästä ilmasta. (Hausman & Horne, 2017, s.57)

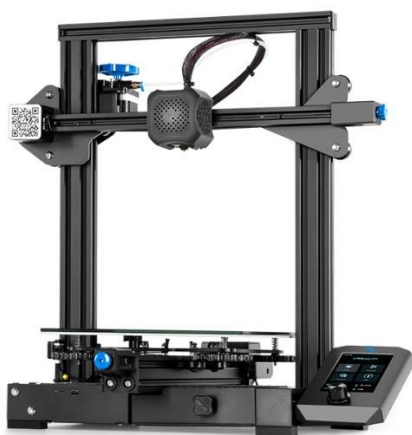
5 TULOSTIMEN KÄYTTÖTARKOITUKSET

5.1 Lähtökohdat tulostimen hankintaan

Toimeksiantajayrityksessä on pohdittu pitkään uuden 3D-tulostimen hankintaa. Yrityksellä on käytössään vuonna 2014 hankittu MiniFactory tulostin, sekä vuonna 2020 hankittu Creality Ender 3 V2. Kyseiset tulostimet ovat soveltuvia satunnaiseen käyttöön sekä ensimmäisiksi tulostimiksi, eikä niitä ole tarkoitettu teolliseen käyttöön. Nämä tulostimet ovat kuitenkin osoittaneet laajat käyttömahdollisuudet sekä monipuolisuuden. Olemassa olevissa tulostimissa rajoittavaksi tekijäksi on muodostunut tulostusalustan koko, sekä tukimateriaalin käytön puute.



Kuva 7. Minifactory mf3-tulostin. (Peda.net, n.d.)



Kuva 8. Creality Ender 3 V2-tulostin. (3dkauppa.fi, n.d.)

5.2 Vaatimukset

Tarkoituksena on hankkia ominaisuuksiltaan sellainen tulostin, jolla onnistuu pienimuotoinen prototyyppien valmistus, sekä tuotannossa käytettävien robottien työkalujen valmistus. Käytännössä tämä edellyttää vähintään 300 mm x 300 mm x 300 mm tulostustilaa, ja tukimateriaalin käyttöä. Lisäksi tulosteiden ollessa suuria ja pitkäkestoisia, tulostuksen valvonta puhelinsovelluksella olisi suotavaa. Näitä ominaisuuksia tarjoaa suurista valmistajista esimerkiksi Stratasys, mutta laitteistojen hinta ylittää halvimmillakaan 30 000 euroa.

Hankittavassa tulostimessa tulee olla tukimateriaalin tulostusmahdollisuus monimuotoisien prototyyppien valmistusta varten. Useassa tuotteessa on tarpeen tulostaa tyhjän päälle, eikä tämä ole mahdollista ilman tukiainetta. Myös työkalunvalmistuksessa on monimutkaisia rakenteita, jolloin ominaisuudesta on hyötyä. Tukimateriaalina voidaan käyttää samaa ainetta kuin itse tuotteessa, mutta tukien poistaminen vaatii paljon mekaanista työtä sekä pintojen viimeistelyä. Tästä johtuen tukimateriaalin tulisi olla vesiliukoista, esimerkiksi PVA:ta. Tällöin tuen poistaminen tapahtuu upottamalla malli veteen, jolloin tukimateriaali liukenee. Liukeneva tukimateriaali tarvitsee aina kaksisuuttimisen laitteen, sekä mahdollisuuden tulostaa pehmeitä materiaaleja, PVA:n ollessa pehmeämpi ja joustavampi verrattuna PLA:han.

5.3 Vaihtoehdot soveltuviksi laitteiksi

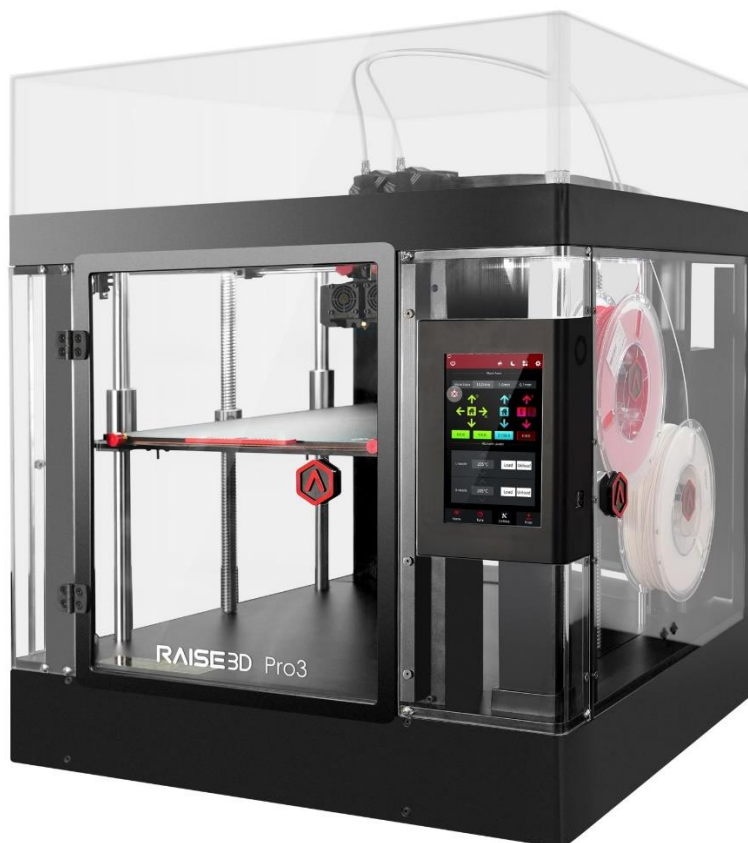
Hankittavan laitteen tulee täyttää edellä mainitut ehdot ja vaatimukset. Kaikkiin kriteereihin sopivia laitteita löytyi tämän työn tekoaikana kaksi kappaletta, Raise3d Pro3 sekä Ultimaker S3.

5.3.1 Raise3d Pro3

Pro3 on Raise3d:n pienimuotoiseen ammattikäyttöön ja oppilaitoksille suunnittelema malli. Sen tulostusala on 300 mm x 300 mm x 300 mm. Tulostin on varustettu kahdella tulostuspäällä, joten erillisen tukimateriaalin käyttö on mahdollista. Se on varustettu HD-tasoisella kameralla, joten tulosteen valmistumisen seuranta on helppoa. Laitteessa on virran katkeamisen varalta valmius jatkaa tulostamista ennen katkoa edeltäneestä kohdasta.

Tulostimella voidaan tulostaa kaikkia tässä opinnäytetyössä mainittuja materiaaleja. Tulostin käyttää 1,75 mm halkaisijalla olevaa tulostuslankaa. Laitteessa on wifi-liitäntä sekä sen mukana tuleva oma viipalointiohjelma, ideaMaker.

Tulostimen hinta suomalaisessa an-cadsolutions.fi verkkokaupassa on 4748,39 eur (alv 0 %) (Raise3d.com, n.d.)

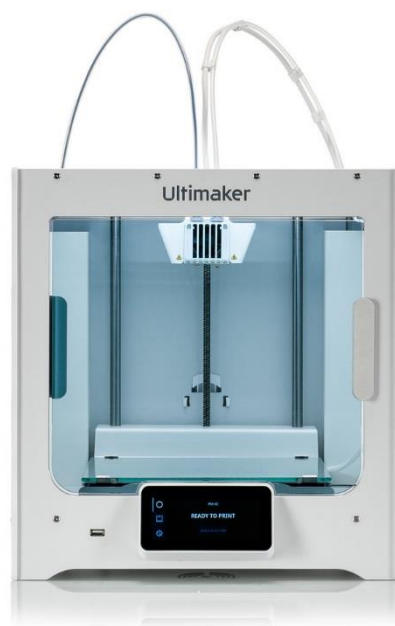


Kuva 9. Raise3d Pro3-tulostin. (raise3d.com, n.d.)

5.3.2 Ultimaker S3

Ultimaker on kahdesta vertailuun valitusta tulostimesta tunnetumpi, sekä suositumpi etenkin oppilaitoskäytössä. Satakunnan Ammattikorkeakoululla on käytössään kaksi kappaletta Ultimaker S3 tulostimia. Ultimakeria mainostetaan helppokäyttöisenä ja ensimmäiseksi tulostimeksi soveltuvana. Laitteen mukana tulee kaikki tarvittava, sekä siinä on oma viipalointiohjelmisto. Lisäksi kaikki tulostimella tulostetut kappaleet jäävät Ultimakerin omaan pilvipalvelimeen, josta ne on mahdollista tulostaa myöhemmin uudestaan.

Tulostuspeti on lämmitetty ja se koko on 230 x 190 x 200 mm. Tulostin käyttää valtavirrasta poiketen 2,85 mm lankaa, joten sille on vaihtoehtoja huomattavasti vähemmän kuin yleisemmälle 1,75 mm. Tulostin on varustettu suljettavalla kammiolla, joka helpottaa esimerkiksi abs-muovin tulostamista. Laitteessa on wi-fi sekä kamera, ja oma sovellus, jolla laitetta voi valvoa etänä. Tulostimessa on kaksi tulostuspäätä erillisen tukirakenteen tulostamista varten. Tulostimen hinta suomalaisessa verkkokaupassa 3d-tulostus-fi/ on 3655 euroa (alv 0 %) (Ultimaker.com, n.d.)



Kuva 10. Ultimaker S3-tulostin. (ultimaker.com, n.d.)

6 TEOLLISUUSROBOTIN TARTTUJAN MALLINNUS

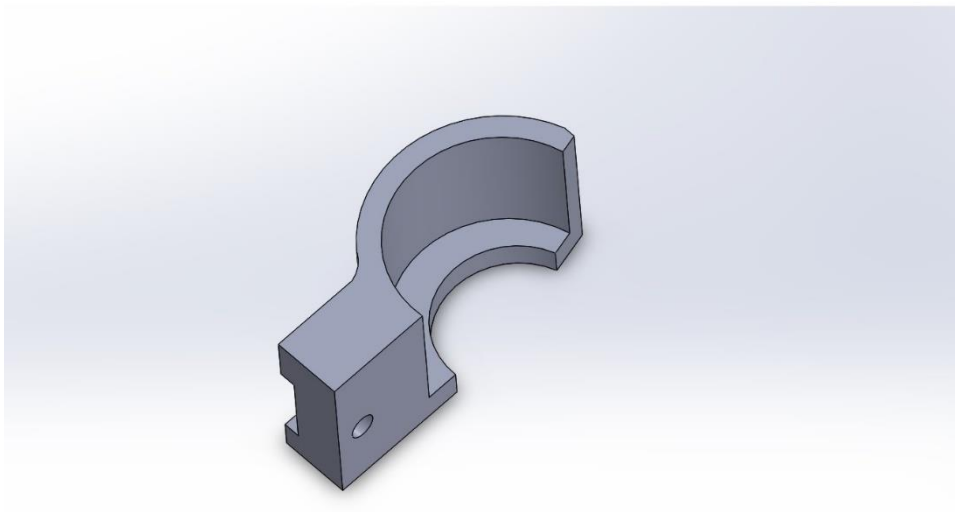
6.1 Tarttujan mallinnus

Osana opinnäytetyötä mallinnettiin tarttuja, joka ottaa kiinni pihtisylinterin avulla hanakulmarasian mutterista. Tarttuja on alun perin valmistettu alumiinista, jonka perusteella mallinnettiin uusi vastaava, joka tulostettiin. Hanakulmarasia on seinään asennettava rasia, jossa on sisällä messinkinen hanakulma. Hanakulmaan liitetään vesijohtoputki ja hanakulma kytketään sekoittajaan. Mutterin tarkoituksena on tiivistää messinkinen hanakulma rasiaan, jotta vesivahingon sattuessa vesi ei pääse seinärakenteisiin. Lisäksi mutteriin kiinnitetään holkki, joka asennetaan laatan pintaan.



Kuva 11. Hanakulmarasian mutteri. (Meriser Oy)

Ruiskupuristuskone valmistaa mutterin, josta robotti siirtää sen toiseen ruiskupuristuskoneeseen, joka valmistaa mutterin kartiotiivisteeseen. Tämän jälkeen robotti ottaa kappaleen ja siirtää sen o-renkaan asennuskoneeseen. Nämä kaikki siirrot vaativat robotilta mahdollisuuden ottaa kiinni kappaleesta. Tähän tarkoitukseen mallinnettiin tarttuja. Tarttuja tarvitaan kaksi kappaletta, peilikuvat toisistaan. Mallinnus suoritettiin käyttämällä SolidWorks ohjelmistoa. Mallinnukseen kului aikaa noin tunnin verran.



Kuva 12. Mallinnettu tarttuja. (Kuusinen, K., 2022)

6.2 Mallinnetun pihdin tulostus

Malli tallennettiin stl-tiedostona ja avattiin Slic3r-ohjelmistolla, jolla viipaloidaan malli jotta 3D-tulostin voi käsitellä tiedostoa. Mallin sisätäytöksi valittiin 75 % ja sisätäytön muodoksi ruudukko. Sisätäyttö on mahdollista valita 1 - 99 % prosentin välillä, ja tällä on suora vaikutus valmiin mallin kestävyys ja painoon. Sisätäytön ollessa 99 %, mallin sisäpinnat ovat kauttaaltaan pursotettu umpeen. Tällöin kappaleesta tulee mahdollisimman kestävä, mutta tulostusaika kasvaa merkittävästi.

Nopeudeksi valittiin 55 mm/s, aiempi kokemus tulosteista on osoittanut sen olevan sopiva nopeus, jolla tuotetaan hyvää laatua suhteellisen nopeasti kerrospaksuuden ollessa 0,16 mm. Lankana käytettiin Devil Designin valmistamaa oranssia PLA-lankaa, halkaisijaltaan 1,75 mm, toleranssin ollessa $\pm 0,05$ mm. Tulostamiseen kului aikaa 3 tuntia 50 minuuttia, ja lankaa kului 38 grammaa, 12.4 metriä. Tulostimena käytettiin toimeksiantajan Creality Ender 3 V2-tulostinta. Tulostetusta kappaleesta täytyy poistaa jälkikäsitteilyllä langan pätkät, jotka ovat päässeet valahtamaan tulostuksen aikana.

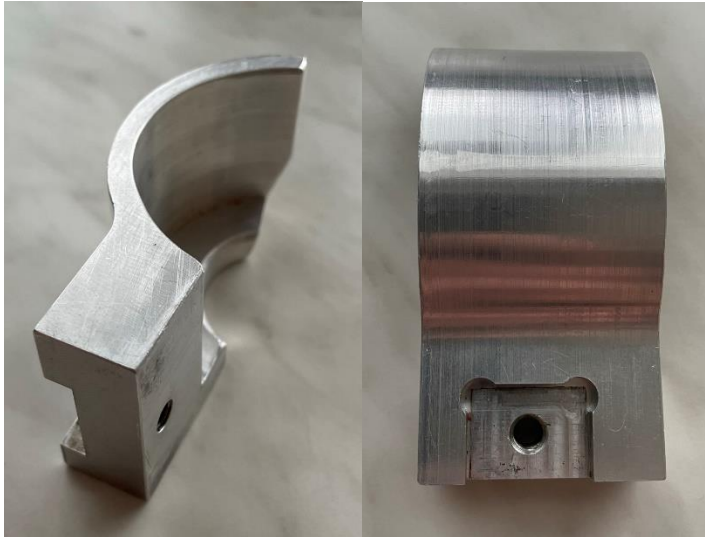


Kuva 13. Tulostettu tarttuja. (Kuusinen, K., 2022)

6.3 Alumiinista valmistettu mutteripihti

Muovisen mallin lähtökohtana oli alkuperäinen alumiinista valmistettu mutteripihti. Tarttuja on valmistettu EN AW-6026 alumiiniseoksesta, jolla on hyvät leikkaus ja porausominaisuudet. Tämän seoksen murtolujuus on 370 MPa ja kovuus Brinell-asteikoilla 95, joka on enemmän kuin riittävästi kyseiseen käyttötarkoitukseen. Vertailun vuoksi nylonin Brinell-kovuus on 10. Hyvän lastuttavuuden ansoista seosta pystytään työstämään melko nopeasti. (Alumeco, n.d.)

Tarttuja on valmistettu 90 mm x 90 mm vedetystä neliötangosta. Tarttuja tehdään samalla mallilla kuin tulostettu versio. Mallintamiseen käytettyä aikaa ei huomioida. Työstön osuus on noin kolme tuntia, sisältäen ohjelman teon sekä oikeanlaisten terien valinnan. Eniten aikaa vie oikeiden työmenetelmien sekä työstösuuntien valinta, jotta vältetään ylimääräisiltä käännoiltä.



Kuva 14. Alumiininen tarttuja. (Kuusinen, K., 2022)

7 KUSTANNUKSET

7.1 Tulostettu työkalu

Tulostettuun työkaluun käytettiin 12,4 metriä 1,75 mm halkaisijaltaan olevaa tulostuslankaa, 35 grammaa. Lankarullan hinta helmikuussa 2022 oli 16,05 euroa per kilogramma ilman arvonlisäveroa. Yhteen tarttujaan käytetyn langan hinnaksi saadaan $16,05 / 1000 * 35 = 0,56$ euroa, jolloin kahteen käytetyn langan hinta on 1,12 euroa. Valmiista kappaleesta ei tarvitse jälkikäsitteilyllä poistaa eikä lisätä mitään, joten tarvittavan materiaalin hinta on yhtä kuin kappaleeseen käytetyn tulostuslangan hinta.

Tulostimen tuntihintaan vaikuttaa monia tekijöitä. Yleisesti kotikäyttöön soveltuvista tulostimista laskutettava tuntihinta on noin 2-4 euroa. Kuitenkin tämän opinnäytetyön tarkoituksen on selvittää ylempään kotikäytön luokkaan soveltuvien laitteiden käyttöä. Näiden laitteiden tuntiveloitus on noin 8 euroa. Tämän lisäksi mukaan tulee aloitusmaksu, noin 10 euroa per aloitettava tuloste. Yhden työkalun tulostamiseen kului noin 3 tuntia 50 minuuttia, jolloin kappaleen hinnaksi saadaan 30,64 euroa. Kahden kappaleen tuntiveloitus yhteensä on 61,28, johon lisätään langan hinta 1,12 euroa, saadaan kokonaiskustannukseksi 62,40 euroa.

7.2 Alumiininen työkalu

Alumiinitankoa tarvitaan kahta kappaletta varten 90 mm x 90 mm neliötankoa 50 mm pala. Alumiiniseoksen hinta helmikuussa 2022 oli 8,50 euroa per kilogramma ilman arvonlisäveroa. EN AW-6026 luokan alumiinin tiheys on 2,72 grammaa per kuutiosentti. Tarvittavan palan tilavuudeksi saadaan $90 \text{ mm} * 90 \text{ mm} * 50 \text{ mm} = 405\,000 \text{ mm}^3$, 405 cm^3 . Tarvittavan aihion painoksi saadaan $2,72 \text{ g} * 405 = 1101,6$ grammaa, jolloin aihion hinnaksi muodostuu $1101,6 \text{ g} * (8,50/1000) = 9,37$ euroa.

(Alumeco, n.d.)

Alumiinisen työkalun paino työstön jälkeen on 79 grammaa, jolloin materiaalia poistettiin kahta tarttujaa valmistettaessa $1101,6 \text{ g} - 158 \text{ g} = 943,6 \text{ g}$. Poistetun materiaalin hinta $943,6 \text{ g} * (8,50/1000) = 8,02 \text{ euroa}$. Yhden tarttujan materiaalin hinnaksi muodostuu näin ollen $(9,37 - 8,02)/2 = 0,675 \text{ euroa}$. Työhön käytetty aika oli kolme tuntia tuntihinnan ollessa 53 euroa ilman arvonlisäveroa. Täten työn hinnaksi muodostuu 159 euroa. Kahden alumiinisen tarttujan hinnaksi muodostuu $159 + 9,37 = 168,37 \text{ euroa}$.

Laskelmasta voidaan havaita, että poistetun materiaalin hinta on moninkertainen itse tarttujaan tarvittavan alumiinin hintaan verrattuna.

7.3 Vertailu

Muovisten tulosteiden kokonaiskustannukset olivat 62,40 euroa, sisältäen materiaalin kustannukset 1,12 euroa. Alumiinisten tarttujen valmistuksen kokonaiskustannukset olivat 168,37 euroa, sisältäen materiaalikustannukset 9,37 euroa. Molemmissa tapauksissa työkustannukset ovat moninkertaiset materiaalikustannuksiin verrattuna.

Valmistusaika tulostetulla tarttujalla on 3 tuntia 50 minuuttia per kappale, joten kahden kappaleen valmistamiseen menee 7 tuntia 40 minuuttia. Kahden alumiinisen tarttujan valmistukseen kuluu aikaa noin kolme tuntia, joten se on huomattavasti nopeampi valmistaa. Kuitenkin kokonaiskustannuksiltaan muovinen tuloste on edullisempi, alhaisemmasta tuntihinnasta johtuen. Lisäksi materiaalikustannukset tulosteella ovat huomattavasti pienemmät. Toimeksiantajan tapauksessa alumiinisen kappaleen koneistus on ostettava alihankintana, joten kokonaisvaltaisesti muovinen tuloste on nopeampi ja tehokkaampi ratkaisu, koska se voidaan valmistaa itse omissa tiloissa.

8 PÄÄTELMÄT

Muovisen tulosteen ja alumiinisen osan kustannusten välillä on selkeä ero. Yleisesti muovi ei kestä yhtä paljon mekaanista rasitusta kuin alumiini, mutta mekaaninen kulutus tarttujakäytössä on kohtuullisella tasolla. Lisäksi tarttujien valmistusta muovista puoltaa mahdollisuus tehdä tarttujat itse, kelloon katsomatta. Uuden muovisen mallin tulostaminen on helpompaa kuin uuden kappaleen koneistaminen, koska tulostin lisää materiaalia. Näinollen tulostimessa ei ole aihiota mikä vaatisi kalibrointia tai asettelua.

Tulostimen hankinta noin 5000 euron hintaluokassa on suhteellisen edullinen investointi verrattuna vastaavan valmistuskapasiteetin omaavaan työstökeskukseen. Lisäksi työstökeskuksen koko asettaa rajoituksia sijoituspaikalle, 3D-tulostimen sijoituspaikkana voi toimia esimerkiksi toimiston nurkkapöytä.

Kahden eri laitteen vertailussa olevista Ultimaker s3:sta sekä Raise3d Pro3:sta löytyy paljon samoja ominaisuuksia. Ultimaker tarjoaa laitteilleen säännöllisiä huoltopaketteja, joita Raise3d:een valikoimassa ei ole. Raise3d Pro3 on kuitenkin huomattavasti suurempi tulostuskapasiteetiltaan kuin S3, joten sen valinta tulevaisuuteen on todennäköisempää. Raise3d:n valintaa puoltaa myös yleisempi tulostuslangan koko, 1,75 millimetriä. Loppuun todettakoon, että molemmat laitteet tarjoavat varmasti vastinetta rahalle.

LÄHTEET

Alumeco. (n.d.) Asiantuntemus ja tekniikka. Haettu 18.2.2022 osoitteesta <https://www.alumeco.fi/asiantuntemus-ja-tekniikka/>

Alumeco. (n.d.) Mekaaniset ominaisuudet - neliö- ja kuusiotangot – vedetyt. Haettu 18.2.2022 osoitteesta <https://www.alumeco.fi/asiantuntemus-ja-tekniikka/mekaaniset-ominaisuudet/nelioe-ja-kuusiotangot-vedetyt?s=0/>

Deloitte. (n.d.) Haettu 6.12.2021 osoitteesta <https://www.deloitte.co.uk/tmtpredictions/predictions/3d-printing>

Hausman, R. & Horne, K. (2017). 3D Printing for dummies (toinen painos). John Wiley & Sons.

Raise3d. (n.d.) Pro3-series. Haettu 12.2.2022 <https://www.raise3d.com/pro3-series/>
Simplify3d. (2021) Materials guide. <https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/>

Rankred. (14.7.2020). What is 3d-printing working principle?
<https://www.rankred.com/what-is-3d-printing-working-principle-types-applications/>

Sculpteo. (2021). The state of 3d printing 2021 Edition
<https://www.sculpteo.com/en/ebooks/state-of-3d-printing-report-2021/>

Simplify3D. (n.d.). Materials Guide. Haettu 13.1.2022
osoitteesta <https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/petg/>

Ultimaker. (n.d.) S3. Haettu 12.2.2022 <https://ultimaker.com/3d-printers/ultimaker-s3/>

Weiner, H. (4.1.2020). Fused Filament Fabrication – Simply Explained.
<https://all3dp.com/2/fused-filament-fabrication-fff-3d-printing-simply-explained/>

3dsolved. (n.d.) Create models for 3d printing. Haettu 3.1.2022 osoitteesta
<https://3dsolved.com/create-models-for-3d-printing/>

Kuva 1. Haettu 12.1.2022. [valokuva] <https://all3dp.com/2/fused-filament-fabrication-fff-3d-printing-simply-explained/>

Kuva 2. Haettu 22.12.2021. [valokuva]
<https://www.hubs.com/knowledge-base/supports-3d-printing-technology-overview/#fdm/>

Kuva 3. 14.7.2020. [valokuva] <https://www.rankred.com/what-is-3d-printing-working-principle-types-applications/>

Kuva 4. 2.1.2022. [valokuva] <https://all3dp.com/2/pla-smoothing-a-beginner-s-guide/>

Kuva 5. Haettu 10.11.2021. [valokuva] <https://uberplas.com/products/recycled-plastic-pellets/>

Kuva 6. Haettu 18.12.2021. [valokuva] <https://www.3d-kauppa.fi/products/copy-of-pla-filamenti-real-filament-3kg/3>

Kuva 7. Haettu 10.11.2021. [valokuva]
<https://peda.net/savitaipale/lukio/oppiaineet/valinnaisaineet/3d-tulostus/tiedostoja2/m>

Kuva 8. Haettu 10.11.2021. [valokuva] <https://3dkauppa.com/13314-creality-ender-3-v2-220-220-250mm.html>

Kuva 9. Haettu 12.2.2022. [valokuva] <https://www.raise3d.com/pro3-series/>

Kuva 10. Haettu 12.2.2022. [valokuva] <https://ultimaker.com/3d-printers/ultimaker-s3/>

Kuva 11. 27.2.2022. [valokuva] (Meriser Oy)

Kuva 12. 15.2.2022. [valokuva] (Kuusinen, Kristian)

Kuva 13. 15.2.2022. [valokuva] (Kuusinen, Kristian)

Kuva 11. 15.2.2022. [valokuva] (Kuusinen, Kristian)