

3D-TULOSTUKSEN OHJELMAT

Avoimen lähdekoodin ohjelmat 3D-tulostuksessa

Mustaniemi Mira

Opinnäytetyö

Tieto- ja viestintäteknikka
Insinööri (AMK)

2022

Tieto- ja viestintäteknikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Mira Mustaniemi	Vuosi	2022
Ohjaaja	Kenneth Karlsson		
Toimeksiantaja	FrostBit Software Lab		
Työn nimi	3D-tulostuksen ohjelmat		
Sivumäärä	34		

Opinnäytetyössä tarkastellaan 3D-tulostuksen eri vaiheita. Työssä painotetaan avoimen lähdekoodin ohjelmia, jotka ovat ilmaisia ja helposti hyödynnettävissä. Työssä kuvataan 3D-tulostuksen prosessi alusta loppuun ja arvioidaan tulostettuja kappaleita.

3D-tulostamisen ennustetaan tuovan Suomeen uudenlaisia työpaikkoja ja työtehtäviä. Tulostuspalvelut ja kotitulostimet yleistyvät kulutuskäytössä tasaiseen tahtiin. Koulut ja kirjastot voivat tehdä 3D-tulostuksesta helposti lähestyttävää tarjoamalla ohjattua tulostamista.

Tulostuksissa esiin nousivat ongelmat tulostustasoon kiinnittymisessä sekä pienemmät kosmeettiset virheet. Lopputuloksena työssä on helposti ymmärrettävä kuvaus 3D-tulostuksesta, jonka vasta-alkaja voi toistaa helposti saatavilla olevilla työkaluilla.

Avainsanat

Blender, kolmiulotteinen tulostus, mallinnus, slicer-ohjelma

Study Programme in Information and
Communication Technology
Bachelor of Engineering

Author	Mira Mustaniemi	Year	2022
Supervisor	Kenneth Karlsson		
Commissioned by	FrostBit Software Lab		
Subject of thesis	Software in 3D printing		
Number of pages	34		

The aim of this thesis was to inspect the software used in different phases of 3D-printing process. Thesis concentrates on open-source software that is free and easily accessible. Thesis pictures the process of 3D printing from start to finish and inspects the results of the print.

In Finland 3D printing is predicted to bring new kinds of jobs and work roles. Printing services and home printers become more common at a steady pace. Schools and libraries can make 3D-printing accessible by offering a guided printing experience.

The results of the study showed problems with the models staying attached to the printing plate and some prints had small cosmetic errors. This thesis comprises an easily understandable description of 3D printing that even a newcomer can easily replicate with easily accessible tools.

Key words

3D printing, Blender, modeling, slicer

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	3D-TULOSTUKSEN SAAVUTETTAVUUS	7
2.1	3D-tulostus kouluissa ja yrityksissä	7
2.2	Tulostamiseen tutustuminen	7
3	MALLIN KÄSITTELY	9
3.1	Mallin hankkiminen	9
3.2	Blenderin käyttö mallien muokkauksessa	9
3.3	Mallin tuominen Slicer-ohjelmaan	10
3.4	Kappaleen koko ja täyttöaste	11
3.5	Mallin tukirakenteet	13
3.6	Käsittelyn mallin vieminen tulostimeen	14
4	ONGELMANRATKAISU JA JÄLKIKÄSITTELY	16
4.1	Irtoaminen tulostuksen aikana	16
4.2	Tulostustarkkuuden valinta	17
4.3	Tulostettujen kappaleiden jälkikäsitteily	18
5	ESIMERKKITYÖNÄ SÄILYTYSLAATIKKO	21
5.1	Tavoitteet säilytyslaatikon tulostamisessa	21
5.2	Laatikon mallintaminen ja tulostaminen	21
5.3	Valmiin säilytyslaatikon arviointi	22
6	ESIMERKKITYÖNÄ SIVELLINTELINE	24
6.1	Tavoitteet telineen tulostamisessa	24
6.2	Telineen mallintaminen Blenderissä	24
6.3	Tulostus ja lopputuloksen arviointi	25
7	ESIMERKKITYÖNÄ KORISTE-ESINE	27
7.1	Tavoitteet koriste-esineen tulostamisessa	27
7.2	Mallin käsittely, tulostus ja jälkikäsitteily	27
7.3	Jälkikäsitteily ja lopputuloksen arviointi	28
8	POHDINTA	31
	LÄHTEET	32

KÄYTETYT LYHENTEET JA TERMIT

3D-malli	tietokoneella esitetty kolmiulotteinen kappale
3D-tulostus	kolmiulotteinen tulostus
PLA	Polylactic acid, polylaktidi

1 JOHDANTO

3D-tulostus on yleistynyt vauhdilla harrastus- ja yrityskäytössä niin Suomessa kuin maailmallakin. Mahdollisuudet kokeilla 3D-tulostusta paranevat jatkuvasti, kun tulostimia tulee julkisiin tiloihin, kouluihin ja koteihin. Tulostusprosessiin liittyy monenlaisia vaiheita ja ohjelmia, joista monet eivät ole käyttäjälle ennalta tuttuja.

Tässä työssä käsitellään 3D-tulostamisen koko prosessi vasta-alkajallekin sopivalla tavalla. Työssä on hyödynnetty helposti saatavia, ilmaisia ja avoimen lähdekoodin ohjelmia. Tämä varmistaa, että työn vaiheet ovat helposti toistettavissa. Tavoitteena on helposti lähestyttävä selonteko prosessista, josta on apua erityisesti aloittelevalle tulostajalle.

Opinnäytetyö kertoo aluksi lyhyesti 3D-tulostimien saatavuudesta. Työn tärkein osa käy prosessin läpi vaihe vaiheelta mallin valinnasta jälkikäsitteilyyn. Työssä kerrotaan käytetyistä työkaluista ja esitellään kuvin työn eri vaiheita ja ongelmatilanteita.

Työn lopussa käydään läpi kolme esimerkkityötä. Näissä töissä suunnitellaan ja tulostetaan kaksi käyttöesinettä sekä yksi koriste-esine. Vastaavanlaiset työt ovat hyviä lähtöpisteitä 3D-tulostuksen opettelussa.

2 3D-TULOSTUKSEN SAAVUTETTAVUUS

2.1 3D-tulostus kouluissa ja yrityksissä

Kolmiulotteinen tulostus on työkalujen hintojen laskun ja julkisten palveluiden ansiosta helpommin saatavilla kuin koskaan (Rintala 2021, 1). Ammatilliset oppilaitokset sekä yliopistot ovat Suomessa ottaneet aihepiirin osaksi kursseja ja projekteja (Piili ym. 2019, 10). Koulut ovat tuoneet yleiseen käyttöön perustulostimia, joiden avulla kuka tahansa voi tulostaa itse tehdyn tai internetistä ladatun 3D-mallin (Pikkarainen 2017, 48). Julkisissa tiloissa tulostimia on yleisimmin kirjastoissa (Valtakunnallinen kehittämissyysikkö & Helsingin kaupunginkirjasto 2022).

Lisääntynyt kysyntä antaa mahdollisuuden pienten paikallisten tulostuspalveluiden perustamiseen. Tulostuspalvelua voidaan harjoittaa esimerkiksi myymällä tulostimen käyttöaikaa tai lähettämällä tulostettu kappale asiakkaalle postitse (Viljamaa 2019, 41). Pienten hyötyesineiden, varaosien ja lelujen tulostus todellisen kysynnän mukaan voi parhaimmillaan olla kuluttajalle monia kertoja halvempi vaihtoehto kuin toiselta mantereelta tuotu tehdastuote. (Laaksonen 2019.)

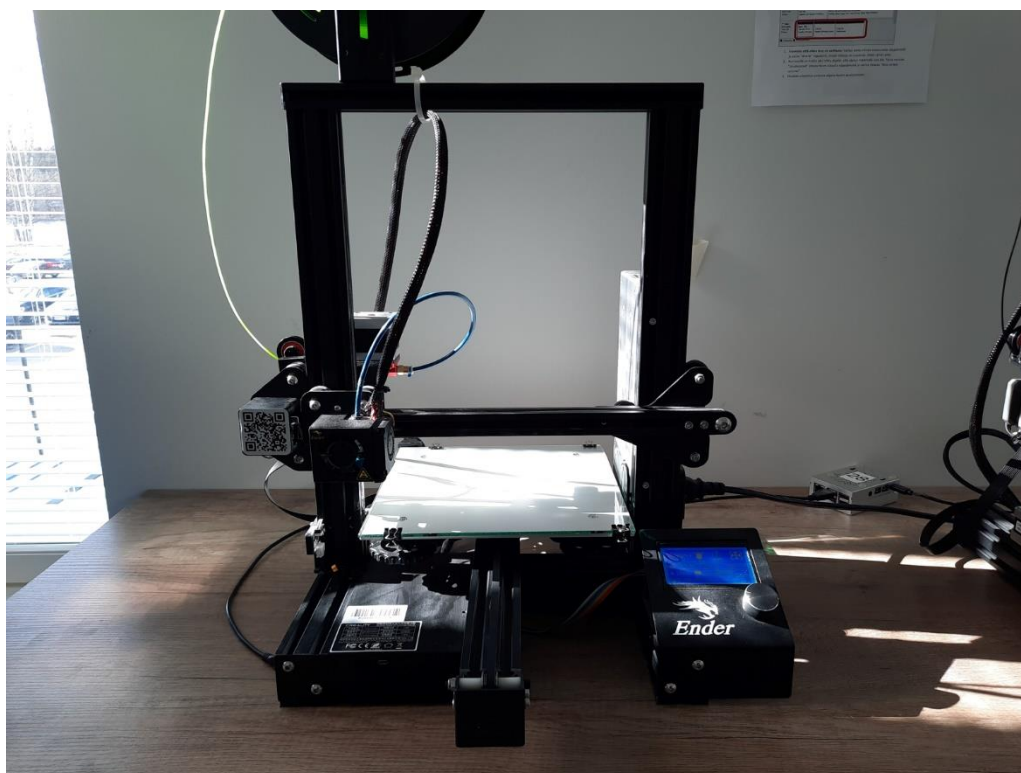
Edullisuuden ja uusien työpaikkojen lisäksi esineiden paikallinen tuottaminen tulostamalla vähentää kuljetuksesta johtuvia päästöjä ja kannustaa siirtymään uusiutuvasta materiaalista valmistettujen muovituotteiden käyttöön, kuten kuluttajatulostimissa suosittuun kasvipohjaiseen PLA-muoviin (Nokela 2017, 19, 24). PLA-esineitä ei kuitenkaan kierrätetä biojätteen mukana tai muovijätteessä, vaan se lajitellaan polttokelpoiseen sekajätteeseen (Napapiirin Residuum 2022). Tässä työssä tulostukseen käytetään PLA-muovia.

2.2 Tulostamiseen tutustuminen

Kun 3D-tulostimien kuluttajakäyttö kasvaa, taloudellisin tapa tutustua tulostamiseen on käyttää oman läheisen tulostinta. Tulostimen omistajat voivat pyytää tulostajaa korvaamaan materiaalikulut. Koska kaikki tarvittavat laitteet ja ohjelmat löytyvät tulostuspaikalta, on lainaajan vastuulla vain tulostettavan mallin hankinta.

Kirjastojen 3D-tulostimet ovat ilmainen tapa kokeilla tulostamista itse. Parhaassa tilanteessa tulostimia on samassa kirjastossa useita. Kirjaston henkilökunta opastaa aloittelijan laitteen käyttöön ja avustaa tarvittaessa. Kirjastojen tulostuksissa saattaa olla aikarajoitus, jotta mahdollisimman moni voi käyttää tulostinta päivän aikana. (Jylhä-Ollila 2020, 7.) Kaikissa kirjastoissa 3D-tulostinta ei ole koska hankinta on kirjastojen oman harkinnan varassa. Jos omasta kirjastosta ei löydy tulostinta, voi aiheesta kysyä työntekijöiltä ja jättää ehdotuksen asiakaspalautteena.

Oman tulostimen saa halvimmillaan alle 300 eurolla (Hakala 2018, 35). Halvimmat tulostimet saapuvat osissa ja vaativat jonkin verran opettelua rakennusvaiheessa. Kuvassa 1 näkyy Lapin ammattikorkeakoulun Ender-3 Pro -tulostin, joka on rakennettu tilatuista osista. Myös tulostimen asetusten säätäminen ja testitulostukset pitää tehdä itse. Yksi vaihtoehto on ostaa itse rakennettava tulostin ja palkata alan harrastaja rakentamaan laite.



Kuva 1. Ender-3 Pro -tulostin

3 MALLIN KÄSITTELY

3.1 Mallin hankkiminen

Tulostettavan mallin voi tehdä itse käyttämällä mallinnusohjelmaa tai 3D-skannaamalla. Mallintamiseen käytettäviä mallinnusohjelmia on saatavilla useita, osa käytetyimmistä ohjelmista on maksullisia. Ilmaisia avoimen lähdekoodin vaihtoehtoja ovat esimerkiksi Blender ja FreeCAD (Blender Foundation 2022, The FreeCAD Team 2022). Tässä työssä mallien muokkaamiseen käytetään Blenderiä.

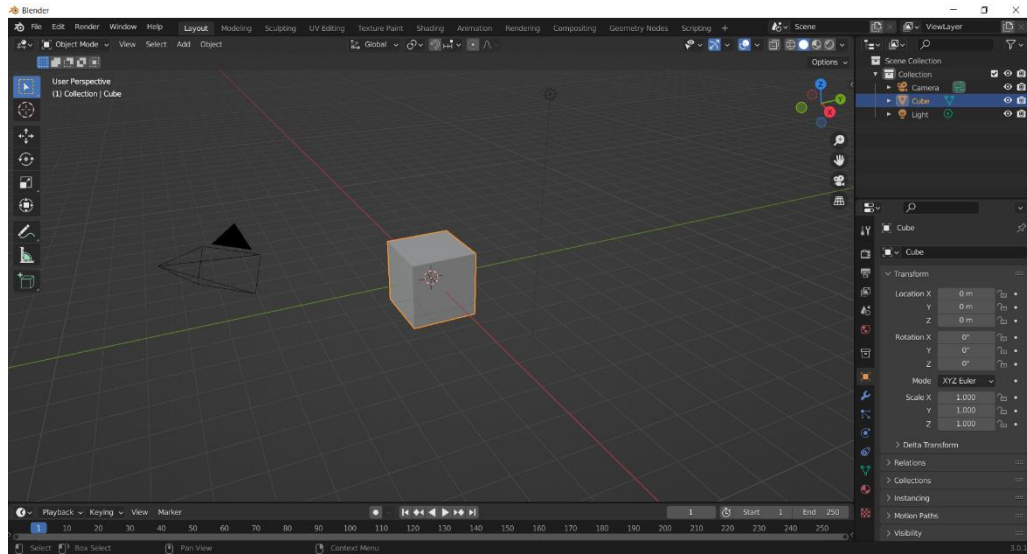
3D-skannaus on menetelmä, jossa kuvattava kohde muutetaan 3D-malliksi (Sepälä 2016, 10). Skannattava esine asetetaan puhtaalle ja tasaiselle alustalle. Esineestä otetaan useita kuvia kaikilta puolilta ja ohjelma muodostaa valokuvien perusteella 3D-mallin. Ohjelma toimii joko käytettävällä kuvauslaitteella, tietokoneella tai verkkosivun kautta. (Pikkarainen 2017, 25, 28.)

Malleja voi ladata myös internetistä. Mallien jakamiseen ja myymiseen on perustettu omia sivustojaan, jolloin mallien hakeminen ja vertailu on helpompaa. Ilmaisia malleja on tarjolla runsaasti. Thingiverse ja Printables ovat esimerkkejä tulostettavien 3D-mallien jakamiseen tarkoitetuista sivustoista (Rintala 2021, 6). Myös muista lähteistä voi löytää 3D-malleja, mutta malli saattaa vaatia muokkaamista, jos sitä ei ole suunniteltu tulostettavaksi.

3.2 Blenderin käyttö mallien muokkauksessa

Valittua mallia voidaan käsitellä Blenderillä, joka sopii kaikentyyppisten mallien korjailuun ja muokkaamiseen. Kuviossa 1 näkyy Blenderin näkymä uutta mallia aloittaessa. Mallin virheet korjataan ja siihen lisätään tarvittaessa yksityiskohtia tarkemman lopputuloksen saavuttamiseksi. Blenderin käyttö vaatii opettelua, mutta jo perustyökaluilla aloittelijakin pääsee tekemään tarvittavia muokkauksia (Nokela 2017, 20).

Blender tukee yleisimpiä 3D-mallien tiedostomuotoja, joten se on hyvä työkalu valmiiden mallien muokkaamiseen. Blenderiin on myös saatavilla käyttäjien tekemiä lisäosia, jotka yksinkertaistavat usein käytettyjä toimintoja.



Kuvio 1. Kuvakaappaus Blenderin 3.0.1-versiosta

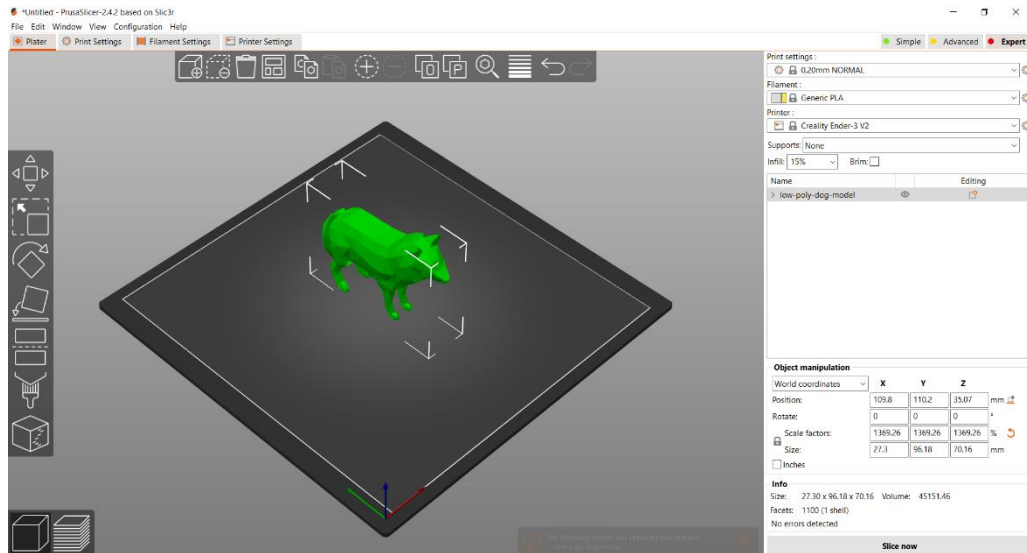
Tämän työn aikana hyödynnettiin Blenderin tahkomallinnustyökaluja (*poly modeling*), mutta tarkempaan muokkaamiseen on myös tarjolla veistotyökaluja (*sculpting*) (Joensuu 2016, 76). Veistämistekniikassa mallia muotoillaan saven tapaan kursorilla materiaalia painelemalla ja lisäämällä (Vähämäki 2018, 4). On suositeltavaa piirtää mallikuvat mallinnettavasta esineestä, joissa kuvataan objekti ainakin edestä ja sivusta, tarvittaessa myös ylhäältä ja takaa kuvattuna. Mallin siluetti luodaan näiden kuvien päälle, jolloin malli pysyy tarkalleen suunnitelman ja mittasuhteiden mukaisena. (Lehtonen 2018, 2.) Jos tavoitteena on esimerkiksi koriste-esine, veistotyökaluilla pintaa voidaan tahkomallinnuksen jälkeen muokata yksityiskohtaisemmaksi (Viljamaa 2019, 6).

3.3 Mallin tuominen Slicer-ohjelmaan

3D-malli muutetaan tulostimelle sopivaan tiedostomuotoon slicer-ohjelmalla. Tulostinvalmistajien omien ohjelmien lisäksi tarjolla on myös kolmannen osapuolen vaihtoehtoja. Esimerkkejä ilmaisista, useimmille tulostimille sopivista ohjelmista ovat Prusa Slicer ja Cura Slicer. Tässä työssä mallien käsittelyyn käytettiin Prusa Sliceria. Kuviossa 2 näkyy mallin käsittelyä Prusa Slicerissa.

3D-malli voidaan tuoda ohjelmaan erilaisissa tiedostomuodoissa. 3D-tulostuksessa yleisimmin käytetyt ovat stl- ja obj-tiedostot (Mustonen 2019, 15). Malleja voi olla projektissa niin monta kuin tulostinalustalle saadaan mahtumaan, mutta

suositeltavaa on tulostaa isot kappaleet yksittäin ja pienemmät enintään muutamassa ryhmässä. Näin ehkäistään liiallista jäähtymistä kerrosten pursottamisen välillä. Yhden kappaleen epäonnistuminen voi pilata myös muut kappaleet ja tulostus joudutaan aloittamaan alusta.



Kuvio 2. Kuvakaappaus Prusa Slicerin 2.4.2-versiosta

Oman tulostimen asetukset on helppo asentaa ohjelmaan oletuksiksi, mutta ne kannattaa tarkastaa ennen viimeistelyä. Lisäksi tulostustason lämpötilaa voi nostaa, jos tulostettava esine on laaja ja on riski, että sen kulmat jäähtyvät liikaa odottaessaan uutta kerrosta. Lämpötilat riippuvat tulostimen mallista, tulostusalustan pinta-alasta ja käytettävästä materiaalista.

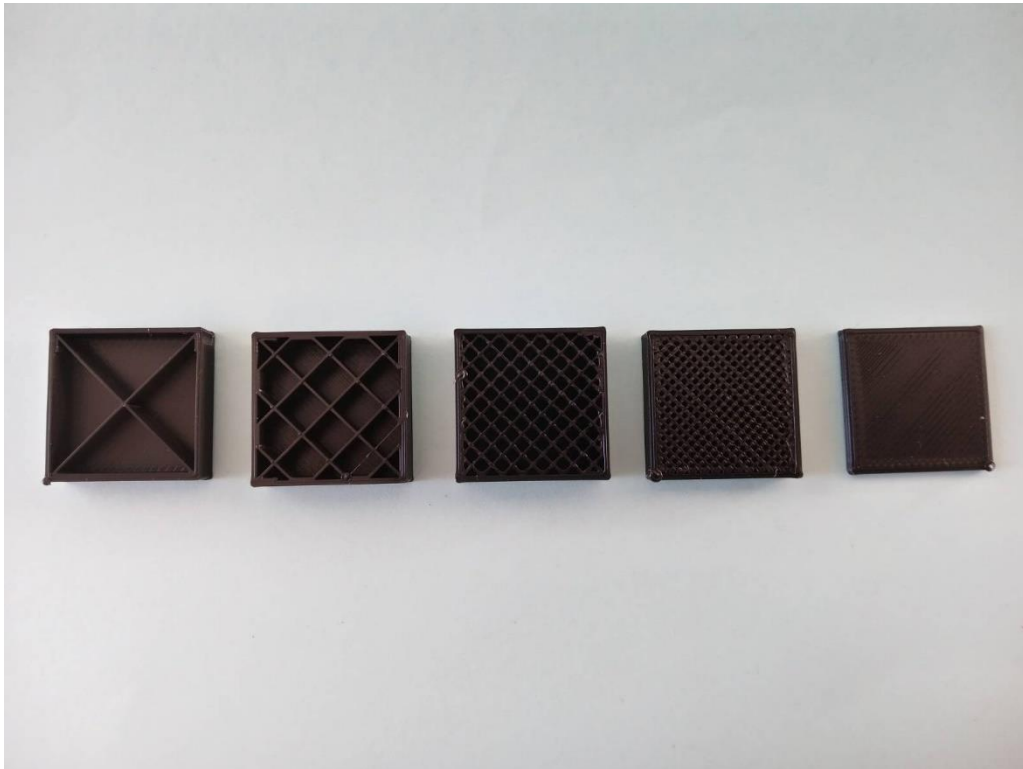
Molemmat ohjelmat antavat varoituksen, jos mallissa on virheitä, jotka saattavat vaikuttaa tulostukseen. Tällaisia virheitä ovat esimerkiksi avoimeksi jääneet saumat tai väärinpäin asetetut tahkot. Prusa Slicer näyttää huutomerkkikuvakkeen oikealla, mallin nimen kohdalla. Prusa Slicer korjaa suurimman osan virheistä automaattisesti ja tiedot korjauksista näkee huutomerkkikuvaketta osoittamalla.

3.4 Kappaleen koko ja täyttöaste

Ensimmäisenä asetetaan esineen koko skaalaustyökalulla tai syöttämällä mitat oikealla oleviin kenttiin. Mittojen lisäksi esineen tarkkuuteen vaikuttaa suuresti kerrosten korkeus, jota voi muuttaa ylimpänä oikealla olevasta vetovalikosta. Yk-

sityiskohtaisiin koriste-esineisiin sopivat 0,16 millimetrin ja 0,12 millimetrin kerroskorkeudet, yksinkertaisiin käyttöesineisiin riittää 0,20 millimetriä. Pienempi kerroskorkeus tuottaa sileämmän pinnan ja tuo yksityiskohtia esiin paremmin kuin suuri kerroskorkeus. (Kolomainen 2021, 22).

Kestävyyteen ja materiaalin käyttömäärään vaikuttaa *infill* eli sisäosan täyttöaste, joka ilmaistaan prosentteina (Saini, Garg & Choudhury 2018, 3). Esimerkiksi 40 prosentin täyttöaste luo esineen, jonka sisällä on yli puolet ilmaa materiaaliin verrattuna. Sadan prosentin täyttöaste luo täysin kiinteän kappaleen. Kuvassa 2 on viisi keskeytettyä tulostusta, joista näkyy kuinka paljon ilmaa eri täyttöasteet jättävät malliin. Kappaleiden täyttöasteet vasemmalta oikealle ovat 5 %, 15 %, 40 %, 70 % ja 100 %. Kappaleiden halkaisija on 22 millimetriä. Tavallisissa käyttöesineissä 20 prosentin täyttöaste antaa riittävän kestävän rakenteen ja samalla säästää materiaalia, mutta täyttöastetta voi nostaa tai laskea tarpeen mukaan (Saini ym. 2018, 7).



Kuva 2. Kappaleita erilaisilla *infill*-määrillä

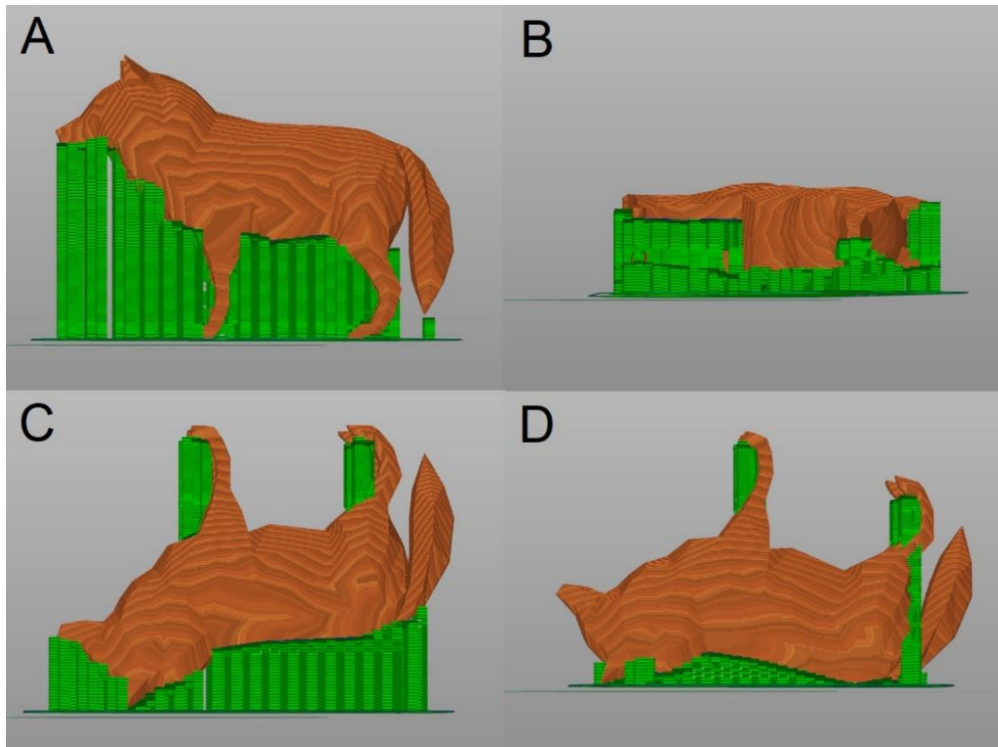
3.5 Mallin tukirakenteet

Jos mallissa on kaaria tai jyrkästi erkanevia osia, näiden kohtien alle voidaan tarvita poistettavia tukirakenteita (Fazzini ym. 2019, 2). Tuet voi lisätä itse mallin-
nusohjelmassa, erillistä ohjelmaa käyttämällä tai käyttää slicer-ohjelman auto-
maattituet luovaa työkalua. Automaattisesti lisätyt tuet ovat helpoin, mutta myös
eniten hukkamateriaalia tuottava vaihtoehto. Slicer-ohjelmassa mallin asentoa
voi muuttaa siten, että tukimateriaalia muodostuu mahdollisimman vähän sekä
merkitä alueita, joihin tukimateriaalia ei muodostu. Tukien sijoittelu voi vaikuttaa
kappaleeseen kosmeettisesti, joten koriste-esine tulee tulostaa siten, että sen
tärkeimmät ja näkyvimvät osat eivät olisi tulostusalustaa kohden (Saini ym.
2018, 2).

Prusa Slicerissa on monta vaihtoehtoa ja työkalua automaattitukien hallintaan.
"Everywhere" ("kaikkialla") rakentaa tuet tarvittaessa malliin tukemalla. "Support
on build plate only" ("vain tulostustasolla") ei luo tukia mallin osien päälle, vaan
ainoastaan tulostustasosta ylöspäin. Jälkimmäinen voi jättää alueita ilman tukia
ja aiheuttaa tulostuksen epäonnistumisen.

Kuviossa 3 näkyy vertailu useissa eri asennoissa olevasta koiran muotoisesta
kappaleesta. Malli näkyy kuvassa oranssina, tukirakenteet vihreänä. Kaikkien
kappaleiden korkeus tassuista korviin on 7,1 senttimetriä. Kappale A on tulostettu
neutraalissa asennossa, B kyljellään, C täysin ylösalaisin ja D ylösalaisin, mutta
hiukan taaksepäin kallistettuna. Automaattitukien asetuksena on "everywhere".

Tässä vertailussa käytetään Prusa Slicerin arvioita materiaalin kulutuksesta. Käy-
tettävän materiaalin määrän ja tulostukseen kuluvan ajan näkee Slice now -napin
painamisen jälkeen. Kuvion 3 esimerkeissä PLA-lankaa kului kappaleeseen A
3,21 metriä, kappaleeseen B 2,21 metriä, kappaleeseen C 1,99 metriä ja kappaleeseen D 0,84 metriä. Suuri ero C ja D kappaleiden välillä osoitti, että jo pieni
muutos säästää materiaalia runsaasti.



Kuvio 3. Tulostusasentojen vertailua Prusa Slicerissa

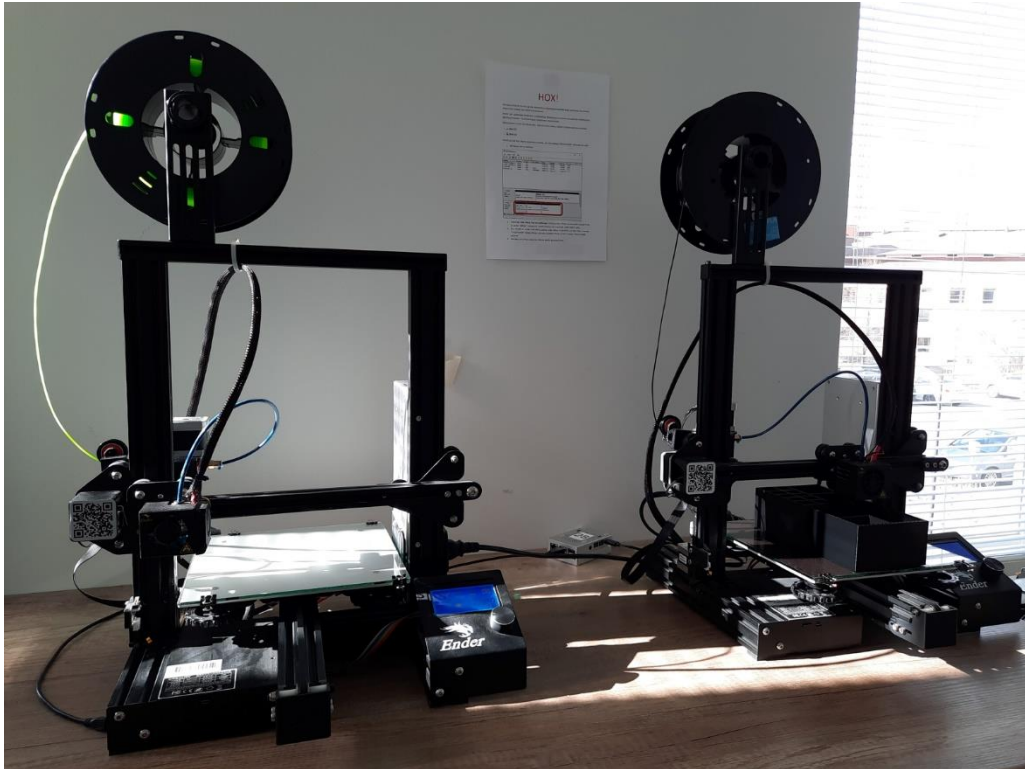
3.6 Käsitellyn mallin vieminen tulostimeen

Projekti kannattaa tallentaa ennen viimeistelyä. Slicer-ohjelma ei kaatunut kertaakaan töiden aikana, mutta mallin ja tulostimen asetuksia jouduttiin muuttamaan useita kertoja epäonnistuneen tulostuksen jälkeen. Valmis projekti viimeistellään muuttamalla malli G-code-tiedostomuotoon painamalla oikeassa alakulmassa Slice now -nappia. Käsitellyn jälkeen tiedoston voi ladata samassa kohtaa olevasta Export G-code -napista. G-code-tiedosto siirretään tulostimelle mallista riippuvalla tavalla, tässä tapauksessa siirtämiseen käytetään microSD-korttia.

Tässä vaiheessa ohjelma näyttää myös arvioitun tulostuksen keston, mutta varsinaisen tulostusajan lisäksi aikaa kuluu tulostimen lämpenemiseen, tulostetun esineen jäähtymiseen, irrottamiseen ja jälkikäsitelyyn. Tulostusaikaan vaikuttavat kappaleen koko, tukirakenteiden määrä, täyttöaste ja kerroskorkeus.

Ennen tulostuksen käynnistämistä tulostustaso kannattaa pestä ja varmistaa ettei mikään esine estä tulostustason tai suuttimen liikkumista. SD-kortin syöttämisen jälkeen valitaan tulostimen valikon alin vaihtoehto *"print from media"* ja valitaan haluttu tiedosto.

Tässä työssä tulostamiseen käytettiin Lapin ammattikorkeakoulun Ender-3 Pro -tulostimia. Molemmissa suuttimen koko oli 0,4 millimetriä. Kuvassa 3 näkyy työssä käytettyjä tulostimia. Vasemmanpuoleinen on valmis uuden tulostuksen aloittamiseen ja oikeanpuoleinen on säilytyslaatikon tulostamisen loppuvaiheessa.

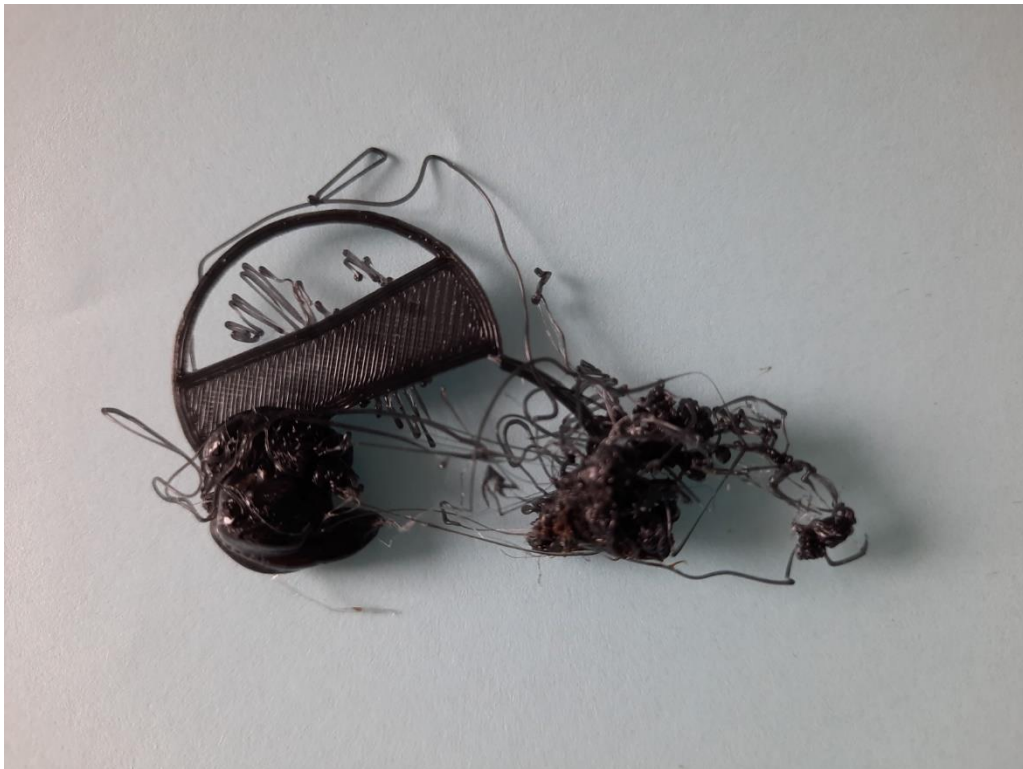


Kuva 3. Työssä käytettyjä tulostimia

4 ONGELMANRATKAISU JA JÄLKIKÄSITTELY

4.1 Irtoaminen tulostuksen aikana

Pienten mallien yleisin ongelma oli huono tarttuvuus tulostuslasiin, mikä johti siihen, että alin taso ei pysynyt kiinni alustassa, vaan suutin veti sen mukaansa. Tällaisessa tilanteessa mallia ei muodostu, vaan suutin kerää epämääräisen muovikasan ympärilleen. Samanlainen ilmiö voi tapahtua myös hyvin alkaneessa tulostuksessa, jos materiaali ei tartu kunnolla aiempaan kerrokseen. Tällaisessa tilanteessa tulostus keskeytetään ja yritetään uudestaan. Kuvassa 4 näkyy esimerkki irtoamisen takia epäonnistuneesta tulostuksesta.



Kuva 4. Irronnut tulostus

Pohjaltaan laajoissa malleissa ongelmana oli kulmien liika jäähtyminen prosessin aikana. Koska suutin etenee hitaasti, eikä tee uusia kerroksia edellisten päälle kovin nopeasti, jäähtyneet kulmat alkavat kipristyä ja irrota tulostuspohjasta jo tulostuksen aikana (Löfgren 2015, 15). Ongelmaan auttoi tulostuslasin pesu en-

nen tulostusta, kiinnityssprayn käyttö ja lämpötilan nosto. Useiden epäonnistuneiden tulostusten jälkeen kaikkien myöhempien tulostusten ensimmäisen kerroksen lämpötilaksi asetettiin 70 °C.

Pienten tulostuksien välillä alustaa ei ole tarvetta pestä, mutta isojen ja pitkään kestävien tulostusten kohdalla näin kannattaa toimia, jotta suuria määriä materiaalia ja aikaa ei menisi hukkaan. Myös pitkän käyttötaun jälkeen taso tulee pestä, jotta pöly ja muu lika eivät vaikeuta kappaleen tarttumista tulostustasoon. Irrotettava lasinen tulostustaso pestään lämpimällä vedellä ja saippualla. Apuna voi käyttää ei-naarmuttavia siivousvälineitä. Kuvassa 5 näkyy esimerkkejä pesemiseen sopivista pesusienistä.



Kuva 5. Pesusieniä

4.2 Tulostustarkkuuden valinta

Hienollakin tarkkuudella alle 3 senttimetrin malleista voi tulla hyvin epätarkkoja, mutta tämä on tavallinen rajoite kuluttajille myytävissä tulostimissa. Pienissä kappaleissa yksityiskohdat sulautuvat helposti toisiinsa ja kerrokset erottuvat selkeästi. Hyvin pienille kappaleille voi harkita tulostusta ohuemmillä kerroksilla, mutta

tämä pidentää tulostusaikaa (Viljamaa 2019, 45). Myös suuttimen koko vaikuttaa lopputulokseen, sillä pienemmällä suuttimella lopputulos on tarkempi.

Kuvassa 6 näkyy kahdella eri suuttimella ja kerroskorkeudella tehdyt kappaleet. Vasemmalla puolella tehty tulostus on tehty 0,4 millimetrin suuttimella ja 0,16 millimetrin kerroskorkeudella, oikealla oleva on tehty 0,8 millimetrin suuttimella ja 0,4 millimetrin kerroskorkeudella. Ero kappaleiden välillä on suuri: vasemmalla oleva kappale on sileä ja tarkkarajainen, oikealla olevan pinta on epätasainen.



Kuva 6. Tulostustarkkuuden vertailua

4.3 Tulostettujen kappaleiden jälkikäsittely

Jälkikäsittelyyn tarvittavat työkalut riippuvat mallista ja tukirakenteiden määrästä. Jos malli ja tukirakenteet ovat yksinkertaiset, ei työkaluja tarvita. Monimutkaisten tukirakenteiden poistamiseen tarvitaan kuitenkin apuvälineitä. Esimerkkejä työssä käytetyistä apuvälineistä on kuvassa 7. Apuvälineenä voi käyttää myös muita työkaluja tarpeen mukaan, esimerkiksi pienillä askartelusaksilla tukirakenteita voi leikata tarkkuutta vaativissa kohdista.



Kuva 7. Jälkikäsitteilyyn käytettyjä työkaluja

Kun tulostustaso ja malli ovat jäähtyneet, voidaan malli irrottaa tasolta käsin. Jäähtymiseen kuluu 15–30 minuuttia riippuen mallin koosta. Täysin jäähtynyt malli irtoaa tulostustasosta vaivattomasti. Jos malli ei ole täysin jäähtynyt ja se poistetaan voimaa käyttämällä, voi malli vahingoittua. Jos mallin kiinnittymistä on haluttu tehostaa liimalla, voidaan irrottamiseen käyttää lastaa. (Kiiskinen 2020, 28.)

Tukien poistaminen käy helpoiten pihdeillä ja pienillä leikkureilla, osa saattaa irrota käsin varovasti vetämällä (Prusa Research 2020). Tasaisista pinnoista epätasaisuudet ja tukirakenteiden jämät voi poistaa terävällä taiteilijan veitsellä tai hiekkapaperilla hiomalla. Yksityiskohtaisissa ja pienissä malleissa on vaurioitumisvaara, jos irrotuksessa ja hiomisessa käytetään liiaksi voimaa. (Prusa Research 2020.) Kuvassa 8 näkyy poistettuja tukirakenteita.

Sekä yksinkertaisiin että yksityiskohtaisiin malleihin voi syntyä lankamaisia säikeitä eri osien välille eli tapahtuu *stringing*-ilmiö. Nämä säikeet syntyvät, kun suuttimen päähän jää pieni määrä muovia sen siirtyessä eteenpäin ja se vetää ohuen

venyvän muovivanan mukanaan alkupisteestä seuraavaan tulostuskohtaan. Säikeet voi harjata rikki hammasharjalla ja jämmät leikata irti taitelijan veitsellä. (Prusa Research 2022b.)

Jälkikäsittelyn aikana irronneet osat voi liimata takaisin käyttämällä askarteluun tarkoitettua, muoville sopivaa pikaliimaa (Kolomainen 2021, 29). Hyvän tarttumisen varmistamiseksi molempia tarttumapintoja voi hioa karkealla hiekkapaperilla, sillä tasainen liukas pinta ei liimattuna pidä yhtä hyvin kuin epätasainen pinta.



Kuva 8. Irrotettuja tukirakenteita

5 ESIMERKKITYÖNÄ SÄILYTYSLAATIKKO

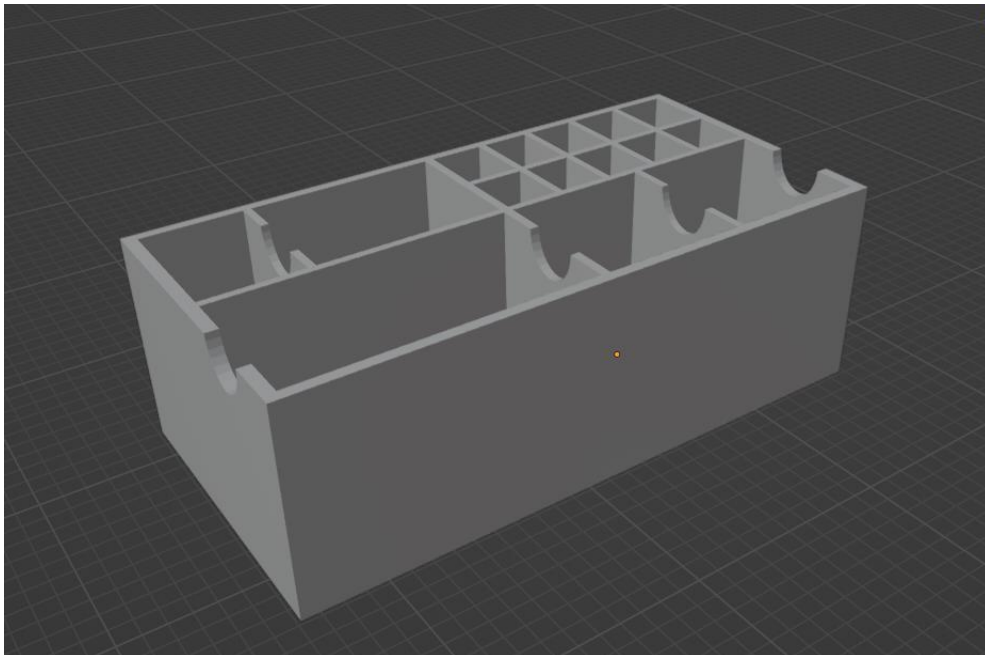
5.1 Tavoitteet säilytyslaatikon tulostamisessa

Esimerkkityön tavoitteena oli säilytyslaatikon luominen Blenderillä ja mallin tulostaminen 3D-tulostimella. Laatikko suunniteltiin ja mitoitettiin askarteluvälineiden säilytykseen.

Kuviossa 4 näkyy, kuinka eri tavaroille tarkoitetut tilat on erotettu toisistaan. Yksi neljäsosa laatikosta on rajattu kynien säilytykseen. Liimaa ja muita nesteitä sisältäville pulloille on varattu omat osiot, jotta ne eivät kallistu tai kaadu.

5.2 Laatikon mallintaminen ja tulostaminen

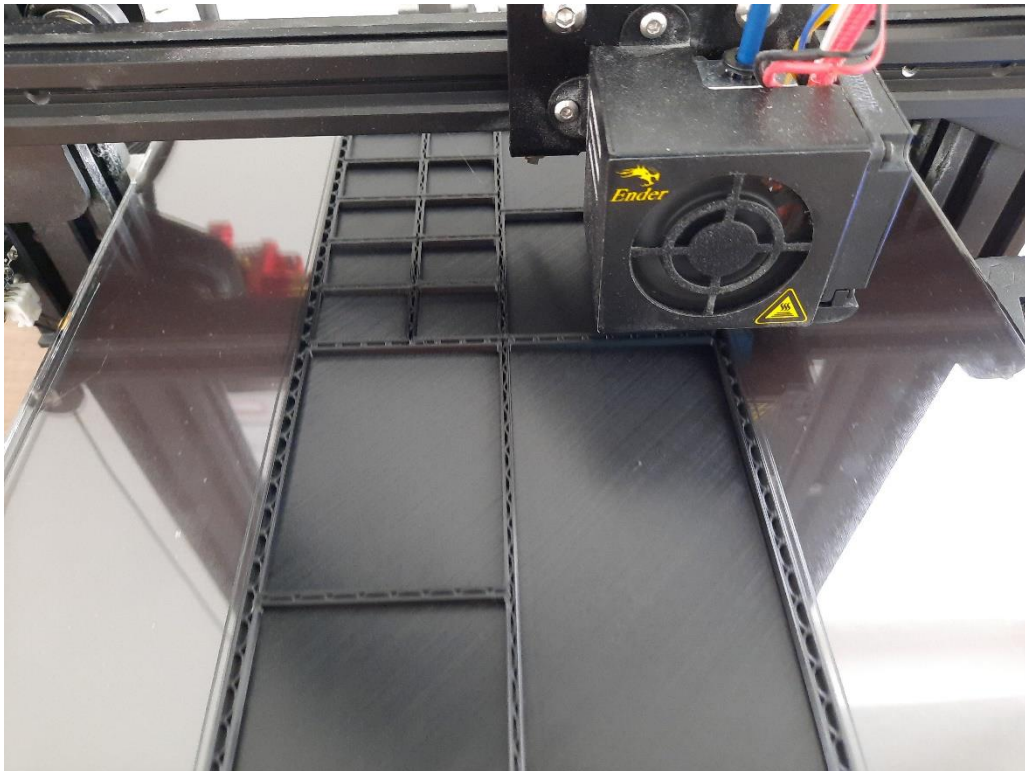
Laatikko mallinnettiin Blenderissä käyttämällä suorakulmion muotoisia kappaleita. Kappaleet aseteltiin mittojen mukaan ja yhdistettiin käyttämällä *boolean*-työkalun yhdistämistoimintoa. Sylinterin muotoista kappaletta ja *boolean*-työkalun erotustoimintoa käytettiin luomaan kourut seinien yläosaan käsittelyn helpottamiseksi. Kuviossa 4 näkyy valmis 3D-malli ennen tulostukseen siirtämistä.



Kuvio 4. Säilytyslaatikon malli Blenderissä

Tulostustason pesemisen tärkeys nousi erityisesti tässä tulostuksessa esiin, sillä tulostusajan pituuden vuoksi hyvä tarttuvuus piti varmistaa tarkkailemalla tulostusta ensimmäisten tuntien aikana. Kun tulostus pääsi hyvin käyntiin ja tarttui kunnolla tulostustasoon, sujui prosessi ongelmitta. Kappale tulostettiin 0,20 millimetrin kerroskorkeudella. Täyttöaste oli 20 prosenttia.

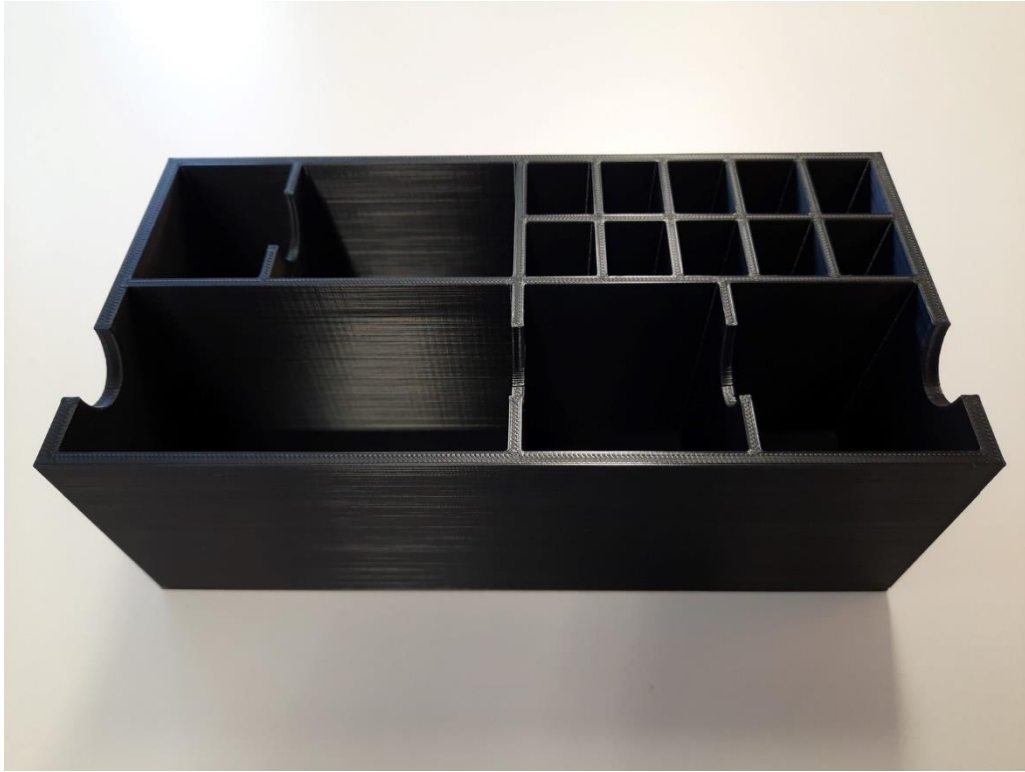
Kuvassa 9 näkyy säilytyslaatikko tulostuksen alkuvaiheessa. Säilytyslaatikko oli pisin opinnäytetyön aikana tehty tulostus: tulostus kesti yhteensä 28 tuntia ja 36 minuuttia. Tulostus oli laadultaan hyvä eikä jälkikäsittelyä tarvittu. Kulmat olivat kääntyneet muutamalla millimetrillä ylöspäin liiallisen jäähtymisen vuoksi, mutta tämä ei vaikuta laatikon käyttöön.



Kuva 9. Säilytyslaatikko tulostuksen alkuvaiheessa

5.3 Valmiin säilytyslaatikon arviointi

Kappaleesta tuli kestävä, tarkoituksenmukainen ja se otettiin käyttöön heti. Pinta tuntuu hieman karhealta suuren kerroskorkeuden vuoksi. Matala täyttöaste tekee laatikosta kevyen ja on kappaleen kestävyys kannalta riittävä, koska siihen ei kohdistu kovaa rasitusta. Kuvassa 10 näkyy valmis laatikko.



Kuva 10. Valmis säilytyslaatikko

Säilytyslaatikko on hyvä esimerkki, kuinka 3D-tulostamalla saa juuri omiin tarpeisiin sopivan esineen ja lisäksi itse tekemisen ilon. Vastaavanlainen projekti on kenen tahansa toteutettavissa jo lyhyellä Blenderiin tutustumisella.

6 ESIMERKKITYÖNÄ SIVELLINTELINE

6.1 Tavoitteet telineen tulostamisessa

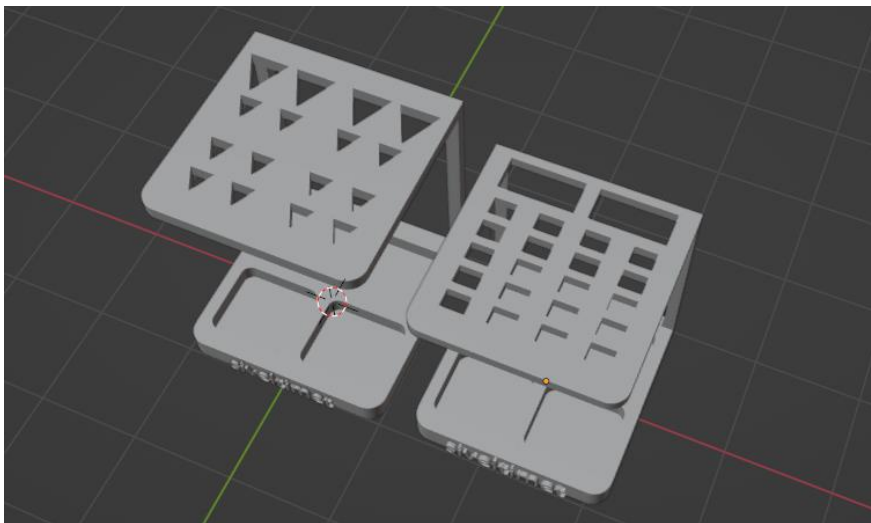
Esimerkkityön tavoitteena oli sivellintelineen mallintaminen Blenderissä ja mallin tulostaminen 3D-tulostimella. Teline suunniteltiin tulostettavaksi ilman tukirakenteita. Telineestä tehtiin työn aikana kaksi versiota.

Teline on suunniteltu ja mitoitettu pienten taidemaalauuspensselien säilytykseen. Alaosaan tehtiin kuopat, jotta siveltimet eivät liu'u pois telineestä. Telineen etuosaan lisätään koristeeksi tekstiä.

6.2 Telineen mallintaminen Blenderissä

Teline muokattiin useasta laatikon mallisesta kappaleesta, jotka pilkottiin *knife*-työkalulla. Alaosaan tehtiin neljä kuoppaa, joiden kulmat pyöristettiin *bevel*-työkalulla. Koristeeksi telineen alaosaan tehtiin ”siveltimet”-teksti kohokuviona. Teksti luotiin Blenderin *text*-toiminnolla ja yhdistettiin malliin *boolean*-työkalulla.

Tein kaksi versiota telineen yläosasta. Ensimmäisessä kolot olivat kolmion muotoiset, jotta teline voitaisiin tulostaa ilman tukia. Ennen tulostamista päätin kuitenkin tehdä testattavaksi version, jossa siveltimien kolot ovat ristikon mallissa ja suorakulmion muotoisia. Lopulta suorakulmioita käyttävä versio valittiin tulostettavaksi. Kuviossa 5 näkyy vertailu malleista.



Kuvio 5. Telineet Blenderissä

6.3 Tulostus ja lopputuloksen arviointi

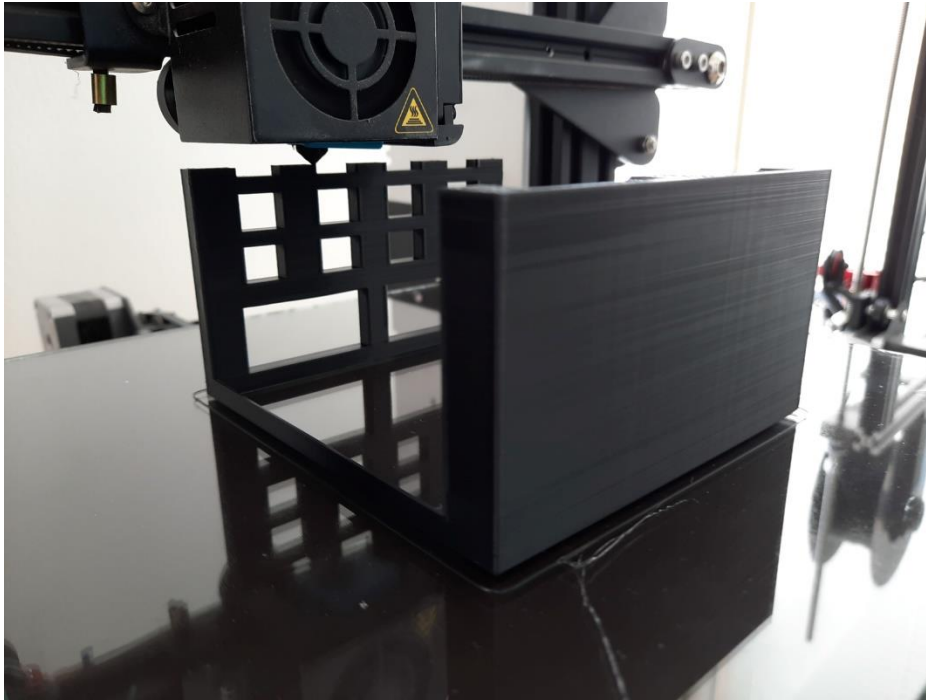
Telineestä tehtiin yksi testitulostus pienemmässä koossa. Testitulostus näkyy kuvassa 11. Testillä halusin varmistaa, että suorakulmioita käyttävät kolot tulostuvat oikein ilman tukia. Pienoisversiossa kolojen yläosat kaareutuivat hieman, mutta muutos ei ollut merkittävän suuri. Kun yksi rivi ristikköä oli tulostunut, testitulostus keskeytettiin ja ison version tulostus aloitettiin.



Kuva 11. Telineen testitulostus

Isossa koossa tulostettu versio tulostui ongelmitta. Tässä kappaleessa ristikon kaareutumista tapahtui vähän, mutta vähemmän kuin odotin. Alaosan kuopissa oli myös pientä kaareutumista. Ennen tulostusta arvelin, että ristikon pidemmät tulostusmatkat aiheuttaisivat vielä syvemmät kaaret ja vähentäisivät huomattavasti siveltimille tehtyjen kolojen tilavuutta. "Siveltimet"-teksti tulostui hyvin selkeänä.

Isompi versio tulostettiin 0,20 millimetrin kerroskorkeudella ja ilman tukirakenteita. Täyttöaste oli 70 prosenttia. Täyttöaste asetettiin suureksi, jotta telinettä tukevista ohuista osista tulisi riittävän vahvoja. Kuvassa 12 näkyy telineen tulostusasento.



Kuva 12. Teline tulostuksen puolessavälissä

Kappaleesta tuli sopivan kokoinen. Teline on ohuista tuista huolimatta vankan tuntuinen ja se pysyy tukevasti pystyssä. Pinta on karhea ja kerrokset näkyvät selvästi. Ristikkoon muodostuneet kaaret ovat niin vähäiset, että virheellä ei ollut vaikutusta käyttöön. Valmis kappale näkyy kuvassa 13.



Kuva 13. Valmis sivellinteline

7 ESIMERKKITYÖNÄ KORISTE-ESINE

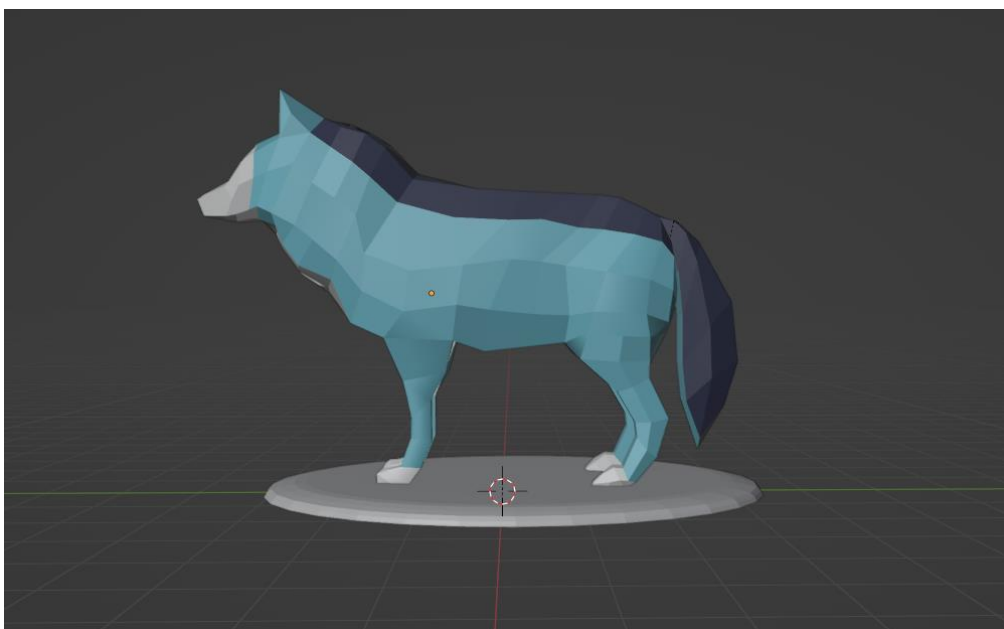
7.1 Tavoitteet koriste-esineen tulostamisessa

Esimerkkityön tavoitteena oli tulostaa kuvion 3 vertailussa käytetty koiran muotoinen 3D-malli. Mallista tuli pöydälle laitettava koriste-esine ja sille tehtiin yksinkertainen jalusta, jotta kappale pysyy varmasti pystyssä.

Mallin tulostamisessa testasin myös erilaisia tulostusasentoja. Tavoitteena oli löytää materiaalia säästävää asento, joka jättää kappaleen etuosan ilman tukia.

7.2 Mallin käsittely, tulostus ja jälkikäsittely

Mallille tehtiin sylinterin muotoinen alusta, jota jatkettiin ylöspäin *extrude*-toiminnolla ja pienennettiin asteittain *scale*-työkalulla. Kappaleita ei tarvitse yhdistää Blenderissä, sillä Prusa Slicer käsittää yhdessä ohjelmaan tuodut kappaleet yhdeksi kokonaisuudeksi. Tässä tapauksessa riittää, että kappaleet ovat edes hieman sisäkkäin. Kuviossa 6 näkyy malli ja jalusta.



Kuvio 6. Malli Blenderissä

Kappale tulostettiin 0,12 millimetrin kerroskorkeudella ja ilman tukirakenteita. Täyttöaste oli 70 prosenttia. Tulostus epäonnistui kaksi kertaa hännän kohdalla. Ensimmäisellä kerralla suutin veti jo tehdyt kerrokset irti tulostustasosta, toisella

kerralla muutama kerros meni vinoon aiempiin kerroksiin verrattuna ja lopulta päällimmäiset kerrokset irtosivat vinoutuneesta kohdasta. Kolmas tulostuskerta tuotti valmiin kappaleen. Kuvassa 14 näkyy ensimmäinen epäonnistunut tulostus.



Kuva 14. Epäonnistunut tulostus

7.3 Jälkikäsittely ja lopputuloksen arviointi

Malli tarvitsi jälkikäsittelynä tukirakenteiden poiston. Kuvassa 15 näkyy malli tulostusasennossa ennen tukirakenteiden poistamista. Tämä asento säästi eniten materiaalia ja jättää mallin etuosan ilman tukia. Tukirakenteisiin kului PLA-lankaa yhteensä 2,29 metriä. Tukien poisto tehtiin pieni pala kerrallaan, jotta jalat eivät katkeaisi käsittelyssä. Rakenteet poistettiin pihtejä ja pieniä saksia käyttämällä. Tukimateriaalia oli vähän hyvin mietityn tulostusasennon ansiosta.



Kuva 15. Tulostettu koriste-esine

Myös hännän tukirakenteiden poistaminen vei paljon aikaa, sillä tukirakenteita muodostui kaikkialle sen ympärille. Osa tukirakenteista oli kiinni sekä hännässä että jaloissa, joka teki poistamisesta vaikeaa. Jos mallia haluttaisiin muokata paremmin tulostukseen sopivaksi, tulisi hännän olla laajemmalta alueelta kiinni kehossa ja jaloista tulisi tehdä paksumpia. Kuvassa 16 näkyy kappale, kun hännän tukirakenteita irrotetaan.



Kuva 16. Tukirakenteiden irrotusta

Mallista tuli pienen kerroskorkeuden ansiosta tarkka. Alkuperäisen 3D-mallin karkeus ja terävät kulmat tulevat hyvin esille mallissa. Tukirakenteet jättivät karheen, epätasaisen pinnan alustan takaosaan, häntään ja takajalkoihin. Näissä osissa oli eniten tukirakenteita. Kappale on kooltaan pieni, joten nämä kosmeettiset virheet ovat huomattavia. Erot eri osien tasaisuudessa näkyvät kuvassa 17.

Työssä käytetty koiran muotoinen 3D-malli on ensimmäisenä opiskeluvuotena tehty harjoitustyö. Se sisällytettiin esimerkkityöhön opinnäytetyön kirjoittamisen loppuvaiheessa. Koriste-esineestä tulee muistoesine, jossa näkyy pala opiskelun alusta ja lopusta.



Kuva 17. Valmis koriste-esine

8 POHDINTA

Kolmiulotteinen tulostus on helposti lähestyttävä tapa tuottaa hyöty- ja koriste-esineitä. Prosessi vaatii jonkin verran tietoteknistä osaamista, mutta ohjelmien yksinkertaisuus ja visuaalisuus varmistavat, että kuka tahansa voi oppia tulostusprosessin vaiheet ja käyttää tulostinta ohjatusti. Yleisesti saatavilla olevat tulostimet ovat helppo tapa kokeilla 3D-tulostusta, koska tulostinta ylläpidetään ammattimaisesti ja käyttäjät saavat helposti apua. Kuluttajille kotona tulostaminen tarjoaa mahdollisuuden koriste-, hyöty- ja harrastetarvikkeiden tuottamiseen, mutta vaatii enemmän perehtymistä tulostimen käyttöön ja huoltoon.

Kolme työn aikana tehtyä projektia tuottivat tyydyttävät lopputulokset. Näissä töissä sekä muissa testitulostuksissa esiin nousseet ongelmat ratkottiin muiden tulostajien kokemustiedon pohjalta sekä internetistä saaduilla ohjeilla. Apua on saatavilla internetissä runsaasti ja opetusvideoita löytyy kaikkiin työvaiheisiin.

Ennen työtä en ollut käyttänyt 3D-tulostinta, mutta minulla oli kokemusta 3D-mallien luomisesta. Prosessin opettelu ja siihen syventyminen antavat minulle hyvät lähtökohdat tehdä itse suunniteltuja tulostustöitä jatkossakin.

Jatkotutkimuksen aiheita voisivat olla esineiden skannaus ja muokkaus tulostettaviksi 3D-malleiksi sekä tulostimen tulostusvirheiden laajempi kategorisointi ja käsittely. Skannausta ei työssä aikarajoitteiden takia käsitelty ja ongelmanratkaisussa keskityttiin omissa tulostuksissa vastaan tulleisiin pulmiin.

LÄHTEET

Blender Foundation 2022. About. Viitattu 16.5.2022
<https://www.blender.org/about/>.

Fazzini, G., Paolini, P., Paolucci, R., Chiulli, D., Barile, G., Leoni, A., Muttillo, M., Pantoli, L. & Ferri, G. 2019. Print On Air: FDM 3D Printing Without Supports. Napoli, Italia: 2019 II Workshop on Metrology for Industry 4.0 and IoT (MetroInd4.0&IoT). Viitattu 18.5.2022
<https://ieeexplore-ieee-org.ez.lapinamk.fi/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8792846>.

Hakala, J. 2018. 3D-tulostaminen & 3D-tulostimet. Vaasan ammattikorkeakoulu. Tietojenkäsittely. Opinnäytetyö. Viitattu 23.5.2022
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/148439/Hakala_Jesse.pdf.

Joensuu, J. 2016. 3D-alan sanasto – 3D-grafiikan termit suomeksi. Kajaanin ammattikorkeakoulu. Tietojenkäsittely. Opinnäytetyö. Viitattu 18.5.2022
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/113462/Joensuu_Janne_3D-alan_sanasto.pdf.

Jylhä-Ollila, P. 2020. 3D-tulostuksen teknologiakatsaus. Metropolia ammattikorkeakoulu. Tieto- ja viestintäteknikka. Opinnäytetyö. Viitattu 21.5.2022
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/339728/Jylha-Ollila_Pasi.pdf.

Kiiskinen, J. 2020. 3D-tulostettu figuriini Kalevala-kansalliseepoksesta. Karelia ammattikorkeakoulu. Media-ala. Opinnäytetyö. Viitattu 23.5.2022
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/345879/Kiiskinen_Janita_2020_10_02.pdf.

Kolomainen, M. 2021. FDM 3D -tulostus kotiolosuhteissa, Pika-opas. Metropolia ammattikorkeakoulu. Sähkö- ja automaatiotekniikka. Insinööriyö. Viitattu 23.5.2022
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/505718/Kolomainen_Mark.pdf

Laaksonen, H. 2019. 3D-tulostus muuttaa yritysten liiketoimintamalleja ja globaalin talouden tasapainoa. TAMKjournal 20.1.2019. Viitattu 18.5.2022
<https://sites.tuni.fi/tamk-julkaisut/tekniikka/3d-tulostus-muuttaa-yritysten-liiketoimintamalleja-ja-globaalin-talouden-tasapainoa/>.

Lehtonen, T. 2018. 3D-hahmon mallinnus ja suunnittelu. Hämeen ammattikorkeakoulu. Tieto- ja viestintäteknikka. Opinnäytetyö. Viitattu 21.5.2022
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/147496/Lehtonen_Tony.pdf.

Löfgren, J. 2015. 3D-tulostusmenetelmien käyttö auton osien valmistuksessa. Auto- ja kuljetustekniikka. Insinööriyö. Viitattu 23.5.2022
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/92321/Lofgren_Jani.pdf.

Mustonen, J. 2019. Mainoksen luominen 3D-mallintamalla. Oulun ammattikorkeakoulu. Tietojenkäsittely. Opinnäytetyö. Viitattu 23.5.2022
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/163599/Mustonen_Joni.pdf.

Napapiirin Residuum 2022. Lajitteluopas. Viitattu 1.5.2022
<https://residuum.fi/jateneuvonta/lajitteluopas/>.

Nokela, T. 2017. 3D-tulostus yksityisessä käytössä. Oulun ammattikorkeakoulu. Tietojenkäsittely. Opinnäytetyö. Viitattu 23.5.2022
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/139889/Teemu_Nokela.pdf.

Piili, H., Salminen, A., Korpela, M., Kurvinen, A., Pikkarainen, A., Riikonen, N., Heiskanen & A., Westman, S. 2019. Lähtökohdat 3D-tulostuksen opetukseen ja koulutukseen. Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto. Raportti. Viitattu 18.5.2022
<https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/159972/L%C3%A4ht%C3%B6kohdat%203D-tulostuksen%20opetukseen%20ja%20koulutukseen.pdf>.

Pikkarainen, A. 2017. 3D Printing – Creating Learning Environment For Engineering Students. Diplomityö. Viitattu 18.5.2022
https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/134903/Masters_thesis_Ari_Pikkarainen.pdf.

Prusa Research 2020. How to post-process the printed parts. Viitattu 30.4.2022
https://help.prusa3d.com/guide/how-to-post-process-the-printed-parts_18680.

– 2022a. First layer issues. Viitattu 4.5.2022
https://help.prusa3d.com/article/first-layer-issues_1804.

– 2022b. Stringing and oozing. Viitattu 4.5.2022
https://help.prusa3d.com/article/stringing-and-oozing_1805.

Rintala, A. 2021. How designers benefit from free 3D design sharing. International Journal of Business Innovation and Research, Vol 24, No 1. Viitattu 18.5.2022
https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/163041/rintala_how_designers_benefit_aam.pdf.

Saini, P., Garg, D. & Choudhury, T. 2018. 3D Printing: Factors Influencing its Quality and Nature. Belgaum, India: 2018 International Conference on Computational Techniques, Electronics and Mechanical Systems (CTEMS). Viitattu 18.5.2022
<https://ieeexplore-ieee-org.ez.lapinamk.fi/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8769130>.

Seppälä, M. 2016. 3D-skannauksen hyödyntäminen 3D-tulostuksessa. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Tietotekniikka. Opinnäytetyö. Viitattu 21.5.2022
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/108447/Seppala_Mikko.pdf.

The FreeCAD Team 2022. Features. Viitattu 16.5.2022
<https://www.freecadweb.org/features.php>.

Valtakunnallinen kehittämissyöksikkö & Helsingin kaupunginkirjasto 2022. 3D-tulostimet. Viitattu 1.5.2022
<https://hakemisto.kirjastot.fi/services/hardware/3d-tulostin>.

Viljamaa, L. 2019. Dungeons & Dragons-miniatyyrin 3D-veisto ja -tulostus. Metropolia ammattikorkeakoulu. Viestintä. Opinnäytetyö. Viitattu 23.5.2022
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/169029/viljamaa_linnea.pdf.

Vähämäki, J. 2018. 3D-teknologiat ja tietojenkäsittely. Hämeen ammattikorkeakoulu. Tietojenkäsittely. Opinnäytetyö. Viitattu 21.5.2022
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/159534/Vahamaki_Jaakko.pdf.