



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Linnea Viljamaa

Dungeons & Dragons-miniatyyrin 3D- veisto ja -tulostus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

3D-animointi ja -visualisointi

Viestintä

Opinnäytetyö

6.5.2019

Tekijä(t) Otsikko	Linnea Viljamaa Dungeons & Dragons-miniatyyrin 3D-veisto ja -tulostus
Sivumäärä Aika	56 sivua 6.5.2019
Tutkinto	3D-animointi ja -visualisointi
Tutkinto-ohjelma	Viestintä
Suuntautumisvaihtoehto	3D-animointi ja -visualisointi
Ohjaaja(t)	Lehtori Kristian Simolin
<p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tuottaa prototyyppi roolipeliminiaatyyristä Dungeons & Dragons -pelikäyttöön sekä testata Suomen pääkaupunkiseudun julkisia 3D-tulostuspalveluita. Lisäksi tavoitteena oli verrata omatoimisen tulostamisen hinta-laatusuhdetta ammattimaisen tulostuspalvelun käyttöön.</p> <p>Opinnäytetyössä kuvataan miniatyyrin suunnittelu. Suunnittelussa otettiin huomioon D&D-hahmoille tyypilliset piirteet. Veistos toteutettiin Zbrush ja Maya-ohjelmistoilla. Työ kuvaa myös tiedoston valmistelun tulostamista varten ja prototyyppien tulostamisen. Työ tulostettiin Ultimaker 3 FDM-tulostimilla ja Formlabs Form 2 SLA-tulostimella. Ultimaker Cura-ohjelmistoa hyödynnettiin Ultimaker 3:lla tulostettaessa.</p> <p>Työssä tuotettiin kaiken kaikkiaan neljä tulostetta: yksi tuloste tilattiin Shapeways-palvelusta Fine Detail Plastic -materiaalilla, kaksi tulostettiin Ultimaker 3 -tulostimilla Helsingin keskuskirjasto Oodissa käyttämällä PLA- ja PVA-filamentteja, ja yksi tulostettiin standardi hartsilla Formlabs Form 2 -tulostimella Espoon Ison Omenan kirjastossa.</p> <p>Työ toi esiin rajoituksia ja hyötyjä käytetyistä tulostimista ja palveluista. Opinnäyte toimii johdatuksena roolipeliminiaatyyrin tekemiseen ja pääkaupunkiseudun julkisten 3D-tulostuspalveluiden käyttöön sekä tutustuttaa lukijan Shapeways-tulostuspalveluun.</p>	
Avainsanat	D&D, pöytäroolipeli, miniatyyri, 3D-veistos, 3D-tulostus

Author(s) Title	Linnea Viljamaa 3D-Sculpting and -Printing a Dungeons & Dragons Miniature
Number of Pages Date	56 pages 6 May 2019
Degree	Bachelor of Media and Arts
Degree Programme	Degree Programme in Media
Specialisation option	3D-animation and -visualization
Instructor(s)	Kristian Simolin, Senior Lecturer
<p>The objective of the final project was to produce a prototype of a tabletop RPG miniature suitable for use in Dungeons & Dragons games, and to test the public 3D printing services available in the Helsinki capital region. In addition the aim was to compare the price-quality ratio between 3D printing independently, using a publicly available 3D printer, and ordering a print from a professional 3D printing service.</p> <p>The report describes the steps of design process. Typical attributes for D&D characters were taken into consideration during the design process. Zbrush and Maya were used to create final the digital sculpture. The report also describes the how to prepare the file for printing and the process of printing the prototypes. The sculpture was printed using Ultimaker 3 FDM printers and a Formlabs Form 2 SLA printer. Ultimaker Cura was used to assist in printing with Ultimaker 3.</p> <p>Four prints were produced during the course of the final project. One print was ordered from Shapeways with the Fine Detail Plastic -material, two were printed with PLA and PVA using two different Ultimaker 3 printers in the Helsinki Central Library Oodi, and one was printed using Formlabs Form 2 printer in the Iso Omena Library in Espoo with standard resin.</p> <p>The project highlighted both benefits and drawbacks concerning the selected printers and services. The report works as an introduction to the creation of tabletop RPG miniatures and to the use of public 3D printing services in the capital region. In addition the report introduces the reader to Shapeways' 3D printing services.</p>	
Keywords	D&D, tabletop role-playing game, miniature, 3D printing

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Kuvanveisto, 3D-veistäminen ja 3D-tulostus	1
2.1	Kuvanveiston historia	1
2.2	Kuvanveiston tekniikat	2
2.3	3D-veistäminen	6
2.4	3D-veisto-ohjelmistot	6
2.5	3D-tulostus	8
2.5.1	3D-tulostuksen historia	9
2.5.2	FDM-tulostus	9
2.5.3	SLA-tulostus	12
2.5.4	Muut 3D-tulostus tekniikat	13
3	Dungeons & Dragons	14
3.1	Mitä on D&D?	14
3.2	Miniatyyrit	18
4	Miniatyyrin teko	22
4.1	Hahmon suunnittelu	22
4.2	Zbrush ja Zbrushin työkalut	24
4.3	Veistoprosessi	25
5	Hahmon tulostaminen	40
5.1	Tulostimen valinta	40
5.2	Tulostus Shapeways-palvelun kautta	41
5.3	Tulostus Ultimaker 3 -tulostimella	42
5.4	Tulostus Formlabs Form 2 -tulostimella	49
6	Pohdinta	52
	Lähteet	53
	Kuvalähteet	57

1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä käydään läpi Dungeons & Dragons-miniatyyrin(jatkossa myös D&D) 3D-veisto ja -tulostus. Taustaksi kuvataan myös lyhyesti kuvanveistoa ja Dungeons & Dragons -peliä (D&D). Lopuksi pohditaan työprosessia sekä sen hyviä ja huonoja puolia. Työssä tuotetaan prototyyppisiä (yksittäisiä testikappaleita) pelikäyttöön tarkoitettua D&D-miniatyyristä (konkreettinen tuotos) sekä prosessikuvaus tällaisen miniatyyrin tuottamisesta. Työssä keskitytään miniatyyrin luomiseen ja tulostamiseen; sen ei ole tarkoitus olla ohjeistus hahmosuunnittelusta tai veistämisestä. Työ sopii alustavaksi johdannoksi D&D-miniatyyrien tai vastaavien pienten 3D-tulosteiden tekemisestä kiinnostuneelle, etenkin Suomen pääkaupunkiseudulla. Työssä tutustutaan myös Shapeways-palveluun ja verrataan omatoimisen tulostamisen hinta-laatusuhdetta ammattimaisen tulostuspalvelun käyttöön.

Olen pelannut pöytäroolipelejä vuodesta 2013, ja Dungeons & Dragons:n 5. painosta viimeisen muutaman vuoden. Olen siirtynyt intohimoisesta pelaajasta myös innokkaaksi pelinvetäjäksi, ja kiinnostukseni peliä kohtaan on vain kasvanut ajan myötä. Olen myös 3D-taiteilija ja kiinnostunut 3D-veistämisestä ja 3D-tulostuksesta. Halusin siten yhdistää nämä kiinnostuksen kohteeni sekä veistää sekä tulostaa itselleni pelikelpoisen miniatyyrin käytettäväksi roolipelin taistelukartoilla. Tarkoitukseni on oppia ymmärtämään prosessi, jotta voin tulevaisuudessa toistaa sen ja tulostaa lisää miniatyyrejä.

Luvussa 2 kerrotaan kuvanveistosta ja sen historiasta sekä 3D-veistämisestä ja 3D-tulostuksesta. Luvussa 3 kerrotaan D&D:stä, sen historiasta sekä miniatyyreistä. Luvussa 4 käydään läpi hahmon suunnittelu ja veistäminen. Luvussa 5 kuvataan miniatyyrien tulostamista kahdella eri tulostusmenetelmällä kahdessa eri kirjastossa pääkaupunkiseudulla ja tulosteen tilaamista tulostuspalvelusta. Luvussa 6 pohditaan työn onnistumista sekä sitä, miten prosessia ja lopputulosta voitaisiin parantaa.

2 Kuvanveisto, 3D-veistäminen ja 3D-tulostus

2.1 Kuvanveiston historia

Emme voi olla varmoja, milloin kuvanveisto on ensimmäisen kerran aloitettu, sillä kaikki materiaalit, kuten puu, eivät olisi säilyneet nykypäivään asti. Vanhimmat säilyneet veistokset ovatkin kestäviä materiaaleja, kuten kiveä, savea tai luuta – jo paleoliittiselta

ajalta on löydetty ns. Venus-veistoksia (Bazin 1968, 8). Yksi tunnetuimmista Venus-veistoksista on Willendorfin Venus noin vuodelta 21 000 ekr. (Bazin 1968, 92). Ne ovat pieniä ihmishahmoja, joilla on runsaat muodot, kuten lantio ja rinnat. Kooltaan ne ovat pieniä, esim. edellä mainittu Willendorfin Venus (ks. kuva 1) on korkeudeltaan noin 11,5 cm. Muita esimerkkejä muinaisesta kuvanveistosta ovat vaikkapa eläinkuvioin koristellut työkalut ja aseet (Bazin 1968, 89).



Kuva 1. Willendorfin Venus on pieni, runsasmuotoinen ihmisveistos.

Ihmisten kuvaus on ollut suosittu aihe niin kauan kuin kuvanveistoa on harjoitettu. Voimme olla varmoja veistosten aiheista tai symboliikasta vain silloin, kuin niistä on säilynyt kirjoitettua tekstiä. Nykyään kuvanveiston aiheet ovat yhtä laajat kuin sen luojakuntakin.

2.2 Kuvanveiston tekniikat

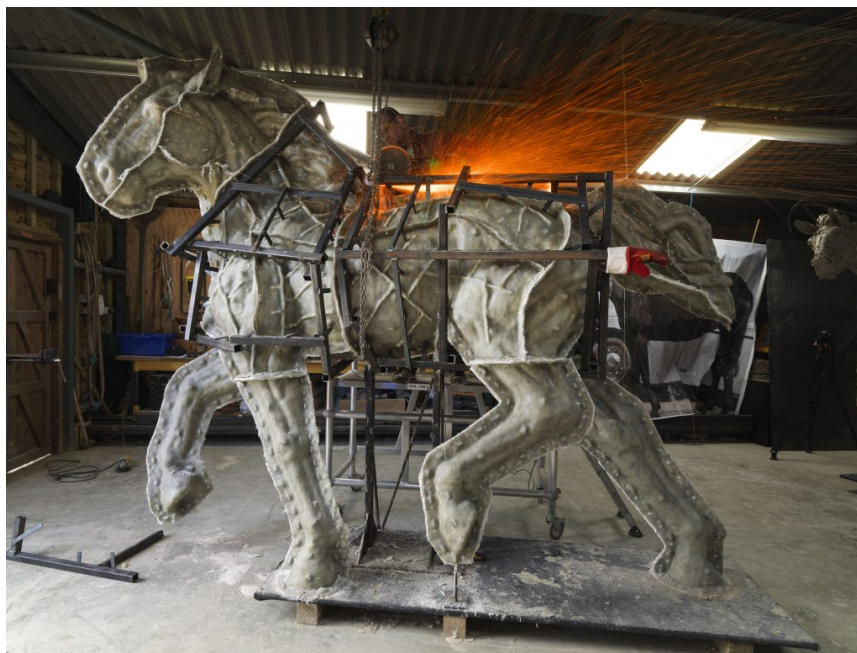
Kuvanveisto voidaan jakaa neljään tekniikkaan: kaivertaminen, valaminen, muovaaminen ja kokoaminen. Tekniikat hyödyntävät joko materiaalia poistavaa työskentelyä (kaivertaminen) tai materiaalia lisäävää työskentelyä (valaminen, muovaaminen ja kokoaminen). (The J. Paul Getty Museum.) Tekniikoita voidaan tietysti myös yhdistää lopputuloksen tuottamiseksi.

Kaivertamisessa jostain valmiista palasta materiaalia, kuten puu tai marmori (ks. kuva 2), kaiveretaan osia, kunnes taideteos on valmis (The J. Paul Getty Museum). Kaivertamista on esim. puupalan vuoleminen kuksaksi tai marmorin kaiverrus patsaaksi. Puun ja marmorin lisäksi materiaaleina on käytetty esim. simpukankuoria, norsunluuta ja korukiviä (Victoria and Albert Museum b).



Kuva 2. Taitelija Peter Schipperhey työstämässä marmoria.

Valamisessa luodaan ensin muotti (ks. kuva 3), johon sitten kaadetaan sulaa materiaalia, useimmiten metallia. Veistoksen annetaan jäähtyä ja muuttua kiinteäksi, ja sitten muotti poistetaan (The J. Paul Getty Museum). Esimerkiksi pronssipatsaat tehdään näin. Pronssia on käytetty kuvanveistossa jo antiikin ajoista asti. Pronssin valamiseen on kaksi perustekniikkaa: hiekkavalu ja cire perdue eli vahavalu. (Victoria and Albert Museum b.) On hyvä huomata, että muottia varten on yleensä luotava ensin kaiverrettu tai muovattu veistos (ks. esim. Mackie).



Kuva 3. Taitelija Hamish Mackien pronssiveistoksen valuuun tehty muotti.

Muovaaminen on pehmeän materiaalin kasaamista veistokseksi, esim. savenveisto (Ks. kuva 4). Apuna muovaamisessa voidaan käyttää myös tukirankaa (engl. armature). (The J. Paul Getty Museum.)



Kuva 4. Taitelija Brett Kern työstämässä saviveistosta.

Kokoamisessa on erilaisten materiaalien yhdistämistä. (The J. Paul Getty Museum). Monica Bonvicinin veistos *Latent Combustion* (ks. kuva 5) on esimerkki kokoamisesta tekniikkana. Kokoaminen (engl. *assemblage*) voidaan nähdä myös kuvainveistosta hieman eroavana taiteen tekemisen tapana, joilloin korostuu yhdisteltävien esineiden luonne (Lee 2016).



Kuva 5. Monica Bonvicinin veistos *Latent Combustion*.

Kuten Winfield kirjoittaa kirjassaan klassisista alastonveistoksista ja G.W.F. Hegelin estetiikan opeista, voi veistos kuvata vain yhden hetken, joten hahmon on olemuksellaan ilmaistava paljon (Winfield 2002, 446). Klassiset alastonveistokset voivat opettaa paljon rajoitteillaan, sillä näissä veistoksissa ihmiskehon on ilmaistava paljon vain omalla elekielellään. On siis tärkeää pohtia veistoksen hahmon ilmaisua ja sitä, miten ilmentää hahmon persoonaa ja tunnetilaa hahmon kehonkielen ja kasvojen kautta.

Olennaista ihmishahmojen kuvaamisessa on hahmojen itsensä lisäksi myös veistoksen mahdolliset esineet tai muut ympäristön elementit, silloin kun niitä valitaan käyttää. Esineillä voidaan viestiä jotain veistoksen hahmosta, esim. hänen taustastaan, asemastaan, aikomuksistaan ja kyvyistään tai patsaan edustamista aatteista. Tunnettu esimerkki tästä olisi sokea oikeus, tunnettu myös nimellä *Justitia*. *Justitia* kuvataan usein side silmillä, vaa'at yhdessä kädessä ja miekka toisessa, jotka kuvaavat mm. objektiivisuutta, empirismiä ja todisteiden "painoa" sekä oikeuden toimeenpanoa. (Knox

2014.) Nämä symbolit ovat yleisesti tunnettuja, ja sanonta ”oikeus on sokea” lienee jokaiselle tuttu.

2.3 3D-veistäminen

Tietokonegrafiikan alku oli puolustusteknologiaa. Tietokonegrafiikan varsinainen nousu tapahtui 1960-luvulla ja tuolloin tietokonegrafiikka siirtyi yleiseen käyttöön. (Digital School Technical Design.) Nykyään 3D-mallinnoksia käytetään hyvin laajasti. Suurelle yleisölle tutut Disney-elokuvat kuten Frozen ja Zootopia ovat esimerkkejä 3D-grafiikalla luoduista elokuvista. 3D-malleja käytetään laajasti myös mainoksissa, arkkitehtonisessa suunnittelussa, lääketieteessä esim. proteesien 3D-mallentamisessa ja suunnittelussa, videopeleissä ja monilla muilla aloilla.

3D-veistäminen eroaa monin tavoin perinteisestä 3D-mallinnoksesta. 3D-veistämisen lähin sukulainen olisi kenties digitaalinen maalaaminen, sillä molemmissa on hyvin samanlainen tuntuma. 3D-veistämisessä taitelija käyttää digitaalisia työkaluja ”veistääkseen” hyvin tiheästä polygoniverkosta yksityiskohtaisia malleja. Veistosta työstetään samaan tapaan kuin savea; 3D-mallia muokataan erilaisin työkaluin, jotka muistuttavat olemukseltaan savenveiston työkaluja ja taitelijan omia käsiä (Heginbotham). Kuten savenveistossa, taitelija siirtyy yleismuodoista yksityiskohtiin ja lisää polygonimäärää edetessään salliakseen pienemmät yksityiskohdat. Pohjana taitelijalle voi olla esim. vain pallo tai veisto- tai muussa ohjelmistossa luotu karkeampi mallinnos esim. ihmiskehosta. (Mt.) 3D-veistoksille tyypilliset suuret polygonimäärät ovat tietokoneen kannalta laskennallisesti huomattavan raskaita, ja veistettyjä malleja harvoin käytetäänkään sellaisenaan. Polygonimäärää laskemalla voidaan mallista saada helpommin käsiteltävä animaatiota tai 3D-tulostusta varten.

2.4 3D-veisto-ohjelmistot

3D-veistämiseen on tarjolla lukuisia eri ohjelmistoja. Ohjelmiston valinta riippuu kolmesta asiasta: mitä ollaan tekemässä, mikä on työnkulku ja mikä on työn budjetti. Jos työ on yksinkertainen tai tekijä on aloittelija, on tuskin kannattavaa investoida kalliiseen ja monimutkaiseen ohjelmistoon, koska halpa tai ilmainen yksinkertaisempi ohjelmisto ajaisi saman asian tai toimisi jopa paremmin. Jos työnkulkuun kuuluu muita ohjelmistoja, on pohdittava, miten ohjelmistot toimivat yhdessä tai olisiko parempi käyttää samaa ohjelmistoa. Taulukkoon 1 olen koonnut Yeapin (2019) artikkelin ja Fabianin (2018)

artikkelin pohjalta vertailun viidestä eri 3D-veisto-ohjelmistosta. Valitsin taulukkoa varten veistämisen kannalta yleisimmät ja tehokkaimmat vaihtoehdot, ja jätin pois esim. tablettitietokoneille tarkoitettut ohjelmistot. Ohjelmistojen hinnat on tarkistettu opinnäytetyön kirjoittamisaikaan keväällä 2019 valmistajien sivuilta.

Taulukko 1. Vertailu eri ohjelmistojen ominaisuuksista ja hinnoista Yeapin (2019) ja Fabian (2018) artikkeleiden pohjalta.

Nimi	Hyvät puolet	Huonot puolet	Hinta
Mudbox	Highpoly-mallinnos, karttojen maalaaminen suoraan.	Ei yhtä monipuolinen kuin Zbrush.	12,10 €/kk tai 102,85 €/1v tai 277,70 €/3v
Blender	Ilmainen, monipuolinen, samalla ohjelmalla monia muitakin käyttötarkoituksia, paljon yhteisön luomia ladattavia lisäominaisuuksia.	Vähemmän ominaisuuksia veistämiseen kuin Zbrushilla, hankala käyttöliittymä.	0 €
Zbrush	Monipuolinen, alan standardi, Dynamesh ja Zremesher-ominaisuudet sallivat mallin hyvin vapaan työstön.	Kallis, ammattikäyttöön tarkoitettu, oheismateriaali mahd. vaikeaa aloittelijalle, hankala käyttöliittymä.	895 USD (n. 787 €) tai 39,95 USD/kk tai 179,95 USD/6kk
Sculptris	Yksinkertainen, aloittelijaystävällinen.	Yksinkertainen, vähemmän työkaluja.	0 €
Meshmixer	Yksinkertainen, aloittelijaystävällinen, suunnattu 3D-tulostamiseen.	Yksinkertainen, vähemmän työkaluja.	0 €

3D-veistämiseen soveltuvia ohjelmistoja on useita, mutta keskityn tässä yleisimpiin ja parhaiten veistämiseen soveltuviin ohjelmistoihin. Zbrush on 3D-veistämisen alan lähes standartisoitunut työkalu, sekä hyvin voimakas ja monimuotoinen työväline. Sculptris on yksinkertaisempi ja suoraviivaisempi versio Zbrushista, mutta työvälineenä tarjoaa vähemmän mahdollisuuksia kuin monimutkaisemmat ohjelmistot. Se on kuitenkin samalta julkaisilta kuin Zbrush, ja ikään kuin tiivistetty versio tästä monimutkaisemmasta ohjelmistosta, ja se soveltuukin ensiaskeleeksi tai kokeiluksi ennen Zbrushin hankintaa, vaikka se lopulta osottautuisikin tarpeelliseksi.

Jos kaipaa ohjelmistoltaan myös muuta kuin veistämistä eikä halua sijoittaa useisiin, mahdollisesti kalliisiin ohjelmistoihin, on Blenderi hyvä harkita. Blenderissä on monia

ominaisuuksia, mm. tavallinen mallintaminen, animointi, renderöinti jne. Veistotyökaluna se ei kuitenkaan ole yhtä monipuolinen tai voimakas vaihtoehto kuin Zbrush, mutta sopii silti moniin tarkoituksiin. Blender on myös open source –ohjelmisto, ja siihen on saatavilla lukuisia yhteisön luomia lisäominaisuuksia.

Meshmixer ei ole veisto-ohjelmana yhtä tehokas työväline kuin esim. Zbrush tai Mudbox, mutta toimii loistava välineenä mallin valmistelua 3D-tulostusta varten, ja siinä voi helposti vaikkapa yhdistellä olemassaolevia malleja. Jos työ halutaan tulostaa eikä se erityisesti vaadi jonkin monimutkaisemman veisto-ohjelman käyttöä, on ilmainen Meshmixer hyvä vaihtoehto.

Kun budjetti on päätetty tai hinta ei ole olennainen, on kuitenkin aina ohjelmiston valinta yksilöstä ja projektista riippuvainen. Se ohjelmisto, joka palvelee työtä ja tekijää parhaiten, on aina oikea vaihtoehto.

2.5 3D-tulostus

Käytän tässä työssä Suomen Pikavalmistusyhdistys FIRPA ry:n käännöksiä 3D-tulostuksen monista englanninkielisistä termeistä, silloin kun käänös on saatavilla. FIRPA:n käännökset perustuvat Kati Lehtisen (2014) opinnäytetyöhön.

3D-tulostus on materiaalia lisäävä valmistusmenetelmä (engl. additive manufacturing). 3D-tulostusmenetelmät voidaan jakaa seitsemään eri pääasialliseen menetelmään, joihin eri 3D-tulostuksen teknologiat perustuvat. (Loughborough a.) Tässä opinnäytetyössä keskitytään FDM- ja SLA-tulostukseen, sillä ne ovat opinnäytetyön työn kannalta olennaisimmat teknologiat.

Valitessa tulostinta on tärkeää pohtia oman tulostuksensa tarpeita. Ensin määritellään, mitä tulostetaan ja missä määrin, ja sen perusteella valitaan tulostin ja materiaali. Tulostimen suhteen on tärkeää pohtia seuraavia asioita: tulostimen tarkkuus, tulostusaika, mahdolliset vääristymät, tulostusmateriaalien ja -palvelujen hinta, tulostimen suurin mahdollinen tulostuskoko, sekä mahdolliset tarvittavat jälkikäsittely prosessit.

Kuluttajan on mahdollista saada 3D-tulostin jo vain sadoilla euroilla (Clas Ohlson). 3D-tulostuksesta kiinnostuneen ei tarvitse kuitenkaan itse ostaa tulostinta voidakseen kokeilla tulostamista: lukuisten internetin 3D-tulostus-palveluiden lisäksi esim. kirjastoissa voi kokeilla 3D-tulostamista.

2.5.1 3D-tulostuksen historia

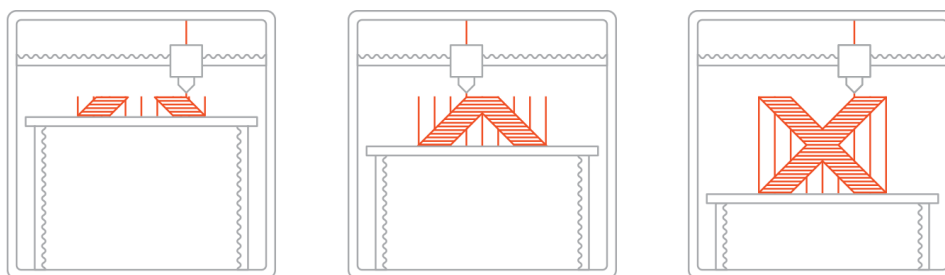
3D-tulostusta yritettiin luoda ensimmäisen kerran jo 1960-luvulla. Tämä varhainen versio 3D-tulostuksesta käytti kahta laseria, joiden avulla kovetettiin nestemäistä materiaalia kerros kerrokselta. Kerroksien kertyessä kykenee laite antamaan muodon hyvin monimutkaisillekin esineille. Tämä metodi kävi läpi lukuisia vaiheita, kunnes vuonna 1980 tutkija Hideo Kodama haki patenttia yhtä laseria käyttävälle mallille. Vaikka Kodama ei lopulta vienyt patenttiaan loppuun, julkaisi hän myöhemmin samana vuonna artikkelin työstään. Vuonna 1984 Charles W. Hull haki patenttia laitteelle nimeltä "Apparatus for Production of Three-Dimensional Objects by Stereolithography" ja määritteli termin stereolitografia, joka on ollut nykypäivään asti hyvin laajasti käytetty 3D-tulostuksen muoto. Vuonna 1986 Hull sai patenttinsa ja perusti yhdessä Raymond Freedin kanssa yhtiön nimeltä 3D Systems Inc. (Wohlers 2005.)

Stereolitografian rinnalle on kehittynyt myös lukuisia muita 3D-tulostustekniikoita. Esim. Carl Deckard haki vuonna 1987, ja sai vuonna 1989, patenttia ns. SLS-teknologialle (engl. SLS, selective laser sintering). Samana vuonna 1989 Scott ja Lisa Crump patenttoivat FDM-teknologian (engl. FDM, fused deposition modeling). (Lonjon 2017.)

2.5.2 FDM-tulostus

FDM-tulostus on nykyään 3D-tulostuksen tunnetuin ja eniten käytetty muoto. FDM pohjaa materiaalin suihkutukseen (engl. material extrusion), ja on tuotantomenetelmänsä ainoa tulostustekniikka. FDM-tulostus tunnetaan myös nimellä FFF (engl. fused filament fabrication). (Varotsis, Introduction to FDM.) Stratasys suojasi vuonna 1991 nimen Fused Deposition Modeling ja lyhenteen FDM, jonka vuoksi toinen nimi tarvittiin (Grames 2018).

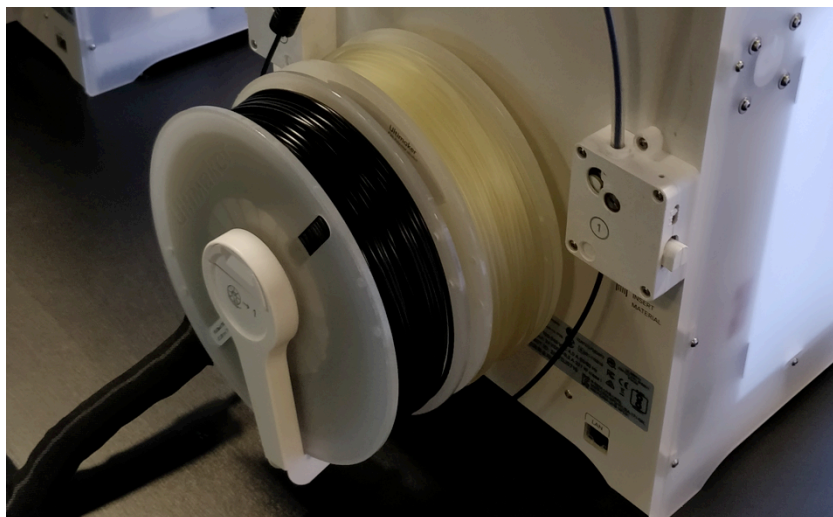
FDM-tulostus perustuu tulostumateriaalin sulattamiseen ja pursottamiseen suuttimen kautta. Suutin liikkuu tietokoneella ennaltamääritelyä reittiä pitkin ja muodostaa lopullisen tulosteen ohuista kerroksista (ks. kuva 6). FDM-tulostimissa tarkkuuden kannalta olennaista on suuttimen koko ja kerrosten paksuus, joita molempia on mahdollista säätää monien muiden asioiden lisäksi kuten esim. suuttimen ja rakennusalueen lämpötila. (Varotsis a.)



Kuva 6. X:n muotoinen kappale on tuloste, ja ohuet pystysuorat viivat tulosteen tukirakenteita.

FDM-tulosteet tarvitsevat tukirakenteita ulokkeille, jotka eivät saa tarpeeksi tukea alemmista tulostuskerroksista. Kriittinen kulma on n. 45 astetta. FDM-tulostuksessa pyritään yleensä minimoimaan tukirakenteiden määrä ja pitämään ne poissa ulkonäöllisesti kriittisiltä pinnoilta. (Hudson.)

FDM-tulostuksessa useimmiten käytetyt materiaalit ovat kestopolymeerejä, esim. PLA eli polylaktidi, joka on biohajoava polymeeri. Tosin PLA:n ekologisuuden kannalta on hyvä huomioida PLA:n hajottajien vähäisyys: PLA:n hajoaminen maassa alkaa hitaasti ja kestää kauan (Tokiwa, Calabria, Ugwu & Aiba 2009). Kaikki FDM-materiaalit ovat kestopolymeerejä, sillä kestopolymeeri voidaan sulattaa, valaa, jähmettää ja sulattaa uudestaan lähes rajattomasti (PlasticsEurope). On olemassa myös esim. ns. puusia tulostusmateriaaleja, jotka koostuvat puusta, PLA:sta ja sideainepolymeereistä (Gizmo-dorks), ja myös esim. suklaasta voidaan tulostaa (Grames 2018). PVA eli polyvinyylialkoholi on vesiliukoisuutensa vuoksi hyödyllinen (Ultimaker c). FDM-tulostuksessa materiaaleista puhutaan yleensä filamentteina, sillä ne syötetään tulostimeen ohuessa, lähes narumaisessa muodossa, filamenttikeloille kierrettynä.



Kuva 7. Filamenttikelat Ultimaker 3 -tulostimessa Helsingin keskuskirjasto Oodissa. Musta PLA-filamentti edessä, läpinäkyvä PVA-filamentti takana.

Pöytätulostimet tulostukset ovat kooltaan pienempiä, usein enintään noin 200 x 200 x 200 mm, tosin poikkeuksia löytyy. Teolliset tulostimet voivat olla huomattavasti suurempia. (Varotsis, Introduction to FDM). Esim. Ultimaker 3 valmistajalta Ultimaker ja Pro2 valmistajalta Raise3D ovat FDM-tulostimia, joista Ultimaker 3 on tulostuskooltaan 215 x 215 x 200mm (Ultimaker, Ultimaker 3) ja Pro2 tulostuskooltaan 305 x 305 x 300 mm (Raise3D).

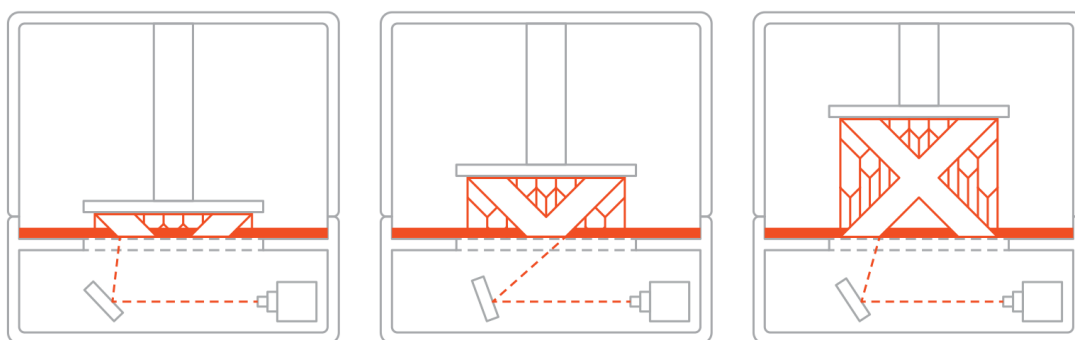
FDM-tulostimissa itse tulosteet eivät sinällään tarvitse jälkikäsittelyä. Tukirakenteet on kuitenkin poistettava joko manuaalisesti esim. pihdeillä, jos tukirakenteet on tulostettu PLA:sta tai muusta kestumuovista, tai liuottamalla, jos tukimateriaalina on käytetty liu-kenevaa materiaalia, kuten PVA:ta tai HIPS:ää. Tulosteita voidaan jälkikäsitellä myös mm. täyttämällä tulosteen rakoja, hiomalla, kiillottamalla ja päällystämällä. (Armstrong.)

FDM-tulostimet ovat helposti lähestyttäviä ja tarjoavat mm. myrkyttömiä ja käytöltään yksinkertaisia materiaaleja. FDM-tulostimien jälki ei kuitenkaan ole kaikkein yksityskoh-taisinta, ja tulosteiden pinnassa on käytännössä aina näkyvillä tulostuskerrokset, ellei niitä esim. hiota pois näkyvistä. FDM-tulostimet voivat kuitenkin esim. materiaalista riippuen tuottaa suhteellisen kestäviä osia. FDM-tulostimien mahdolliset vääristymät syntyvät materiaalin jäähtymisestä eri nopeuksilla (Varotsis a).

2.5.3 SLA-tulostus

SLA eli stereolitografia (engl. SLA, stereolithography) on 3D-teknologia, joka perustuu allasvalopolymerisaatio-nimiseen menetelmään. DLP eli digitaalinen valonkäsittely (engl. digital light processing) on hyvin samankaltainen teknologia. (Varotsis b.)

SLA toimii valokovettamalla nestemäisiä kertamuovipolymeerejä UV-valolla kerros kerrokselta. SLA-tulostuksessa on kaksi menetelmää: oikeinpäin ja ylösalaisin tulostus. Oikeinpäin tulostuksessa rakennusalusta laskeutuu alaspäin jokaisen kerroksen kovettua, ja ylösalaisin toimivassa tulostimessa rakennusalusta nousee jokaisen kerroksen kovettua (ks. kuva 8). Oikeinpäin toimivat tulostimet ovat kalliimpia mutta sallivat suuremmat tulostuskoot ja ovatkin yleensä teollisessa käytössä. Ylösalaisin toimivat tulostimet eivät salli kovin suuria tulostuskokoja, sillä tuloste on jatkuvasti ”kuorittava” altaan pohjasta kerroksia valokovettaessa, ja se aiheuttaa tulosteen rakenteelle paineita. Ylösalaisin toimivat tulostimet ovatkin yleensä ns. pöytätulostimia. (Varotsis b.)



Kuva 8. Ylösalaisin toimiva SLA-tulostin, jossa pohjalla ohut kerros nestemäistä hartsia. Yhden kerroksen valokovettua rakennusalusta nousee, ja uusi kerros valokovetetaan.

SLA-tulostuksessa käytettävät kertamuovit eroavat FDM-tulostuksessa käytetyistä kestomuoveista siinä, ettei niitä voi uudelleen sulattaa. SLA-tulosteet ovat myös UV-valolle alltiita ja parhaimmillaankin kestävimpiä FDM-tulosteita hauraampia. (Varotsis b.) SLA-tulostuksessa materiaaleja nimitetään hartseiksi (engl. resin). (Formlabs a.)

Oikeinpäin ja ylösalaisin toimivissa tulostimissa tulosteet astellaan eri tavoin. Oikeinpäin toimivassa tulosteessa tukirakenteet ajavat hyvin samaa tarkoitusta kuin FDM-tulostuksessa, jossa tukirakenteet tukevat ulokkeita. Erona SLA-tulostuksen kriittinen

kulma joka on n. 30 astetta, verrattuna FDM-tulostuksen 45 asteeseen. Ylösalaisin toimivassa tulosteeseen kohdistuvat voimat syntyvät ennen kaikkea tulosteen kuorimisesta rakenusalustan pohjasta tulostuskerroksien välissä, ja tämä voima on suhteellinen tukirakenteiden poikkileikkaukselliseen pinta-alaan. Tärkeintä ylösalaisin toimivassa tulostimessa on siis minimoida poikkileikkauksellinen pinta-ala jottei tuloste irtoa rakennusalustasta, tosin myös näissä tulostimissa on suositeltavaa pitää tukirakenteet poissa visuaalisesti tärkeiltä pinnoilta. (Varotsis b.)

SLA-tulosteita voidaan jälikäsitellä lukuisilla tavoilla. Tärkeintä on kuitenkin ensin huuhdella ylimääräinen hartsi tulosteesta käyttämällä IPA:a eli isopropyyli alkoholia. Huom. Hartsi on myrkyllistä, ja tulostetta käsiteltäessä on käytettävä nitrilikäsineitä. Sen lisäksi tuloste on jälkivalokovetettava UV-valossa tukirakenteiden poiston jälkeen, esim. UV-kaapissa. Kuitenkin myös auringonvalo käy, joskin se kestää kauemmin. (Kondo 2019.) Näiden vaiheiden jälkeen tulostetta voidaan mm. hioa tai kiillottaa (Steen).

SLA-tulostuksissa vääristymät syntyvät hartsin kutistuessa valon alla. Kutistumisen ollessa huomattavaa, saavat eri kerrosten eri suuntiin suuntautuvat paineet aikaan tulostuksen kiertymistä. (Varotsis b.)

SLA-tulostimet ovat vaikeammin lähestyttäviä kuin FDM-tulostimet, mutta sallivat hyvin yksityiskohtaisen jäljen ja sileän pinnan. Tukimateriaalien poisto jättää kuitenkin epätasaisuuksia pintaan, jotka on poistettava jälkikäsitelyssä (Varotsis b.) SLA-tulostimia ovat esim. Formlabsin Form 2 ja Form 3 -tulostimet (Formlabs b).

2.5.4 Muut 3D-tulostus tekniikat

3D-tulostuksen tekniikat ovat monimuotoiset ja kehittyvät jatkuvasti. Materiaalisuihkutuksen ja allasvalokovetuksen lisäksi 3D-tulostusmenetelmiä ovat jauhepetisulatus (engl. powder bed fusion), materiaalin ruiskutus (engl. material jetting), sideaineen ruiskutus (engl. binder jetting) sekä materiaalin ja lämmön kohdistus (engl. direct energy deposition). (Redwood). Myös laminointi (engl. sheet lamination) lasketaan 3D-tulostusmenetelmäksi (Loughborough University b).

Monet 3D-tulostusmenetelmät jaetaan niitä hyödyntäviin erilaisiin teknologioihin, kuten jauhepetisulatus polymeerien jauhepetisulatukseen ja metallien jauhepetisulatukseen. SLS (engl. SLS, selective laser sintering) on polymeerien jauhepetisulatusta, kun taas

DMLS (engl. DMLS, direct metal laser sintering), SLM (engl. SLM, selective laser melting) ja elektronisuihkusulatus, joka tunnetaan myös nimellä EBM (engl. EBM, electron beam melting), ovat metallien jauhepetisulatusta. (Varotsis c).

3 Dungeons & Dragons

3.1 Mitä on D&D?

Dungeons & Dragons (D&D) on pöytäroolipelisäännöstö. Pöytäroolipelissä pelaajat ottavat haluamansa hahmon roolin ja päättävät hahmon käyttäytymisestä narratiivissa (Grouling 2010, 6). Tämä työ koskee D&D:n 5. painosta, jonka säännöt löytyvät pelaajan käsikirjasta *Player's Handbook* (Wyatt, Schawlb, Cordell 2014). D&D:tä pelataan pitkälti mielikuvituksen avulla; ainoat käytännön työkalut ovat paperit, kynät ja nopat, sekä kartat ja miniatyyrit heille, jotka niitä haluavat käyttää. Genreltään D&D on usein keskiaikaista fantasiaa, ns. miekkaa & magiaa (ks. kuva 9), tosin muitakin variaatioita löytyy. Peliin tarvitaan vähintään kaksi henkilöä, tosin useampi on suositeltavaa. Yksi pelaajista on niin sanottu dungeon master eli pelinvetäjä, joka ohjaa tarinan kulkua ottamalla ohjat pelaajia ympäröivästä maailmasta ja hahmoista. Pelissä pelinvetäjä kertoo tarinaa kuvaamalla kuvitteellisen maailman tilanteita kertomalla paikasta ja paikkaa asuttavista hahmoista.



Kuva 9. D&D tarinan, ns. ”kampanjan” (engl. campaign), Rage of Demons kansikuva. Kuvassa tunnettu D&D-hahmo Drizzt Do’Urden taistelee hirvitöä vastaan.

Pelaajat toimivat yhdessä ratkaistakseen arvoituksia ja edistääkseen tarinaa – joskus suuntiin jota pelinvetäjäkään ei osannut ennustaa. D&D:tä ei voi voittaa; lähin mahdollinen konsepti olisi tarinan saattaminen loppuun. Monet D&D-tarinat, niin sanotut kampanjat, eivät koskaan saavuta loppuaan niiden viikkojen, kuukausien tai jopa vuosien jälkeen, joidenka aikana pelaajat ovat sitä kokoontuneet pelaamaan. D&D:hen pätee kuitenkin ikivanha sanonta ”matka on päämäärää tärkeämpi”, ja matkasta nauttiminen yhdessä muiden pelaajien kanssa on tärkeämpää kuin tarinan päätös. (Ewalt 2013, 9.)



Kuva 10. Valmiita hahmokortteja D&D Starter Set -paketista ja pelissä käytettäviä noppia.

Hahmoissa on paljon variaatiota, sillä pelaajat pääsääntöisesti luovat hahmonsensa itse. Hahmo ilmentää paitsi peliä ja sen sisältöä, myös tekijänsä henkilökohtaisia mieltyämyksiä ja haluja. Hahmoille usein kehitetään oma historia ja tavoitteet, jotka vaikuttavat pelaajan päätöksiin pelin aikana. Hahmoilla voi olla hyvinkin erilaiset piirteet, moraalit ja päämäärät kuin pelaajalla omassa elämässään. Tärkeää on hahmon mielekkyys pelaajan kannalta, ja kuinka mielenkiintoista sillä on pelata. Pelissä hahmoja edustavat potentiaaliset miniatyyrit ja erityisesti ns. hahmokortit, joissa hahmojen ominaisuudet on numeerisesti määritelty (ks. kuva 10).

Pelaajan käsikirjassa *Player's Handbook* (Wyatt ym. 2014) kuvataan hahmojen ominaisuudet ja pelin säännöt. Jokaisella hahmolla on tietyt taidot, tiedot ja kyvyt, jotka määritellään numeerillisilla arvoilla ennen pelin aloittamista. Pelin edetessä jokainen hahmo oppii uusia taitoja ja hänen kykynsä kehittyvät.

Hahmon osaamista ja taitoja ohjaavat kolme asiaa: hahmon laji, hahmon tausta ja hahmon luokka eli ns. ammatti. D&D lajeihin kuuluu klassisia Taru sormusten herrasta -trilogiasta tuttuja haltioita ja kääpiöitä, mutta myös muita, omatekoisia ja vieraampia lajeja. Hahmon laji vaikuttaa hahmon sisäsyntyisiin kykyihin, esim. kääpiö tai örkki on vahva ja haltia yleensä näppärä ja viisas tai älykäs. Pelinvetäjä voi kuitenkin aina päättää, pätevätkö nämä säännöt, ja saattaa haluta välttää pelaajia rajoittavia sääntöjä tai

kliseitä, jotka saattaisivat muuten ohjata hahmonluontia. Hahmon tausta on pitkälti itse määriteltävissä. Oliko hahmosi köyhä kadunlapsi? Vai kenties ylimystösuvun perijä? Kadunkulkija saattaa olla hyvä piiloutumaan välteltyään vartijoita lapsuudessaan, ja ylimystöön kuuluva taas taitava diplomaatti. Viimeisenä, ja suurimpana, määrittävän tekijänä on hahmon ammatti. Ammatti määrittelee pitkälti kunkin pelattavan hahmon vahvuudet ja sen, millaisia asioita hän tulee pääsääntöisesti tekemään pelin aikana. Velho on älykäs mutta fyysisesti heikko, ja sekä omaa mittavan kirjaston toinen toistaan voimakkaampia loitsuja, että mahdollisesti taitaa esim. taikuden teoreettiset salat ja tuntee historian. Pappi kanavoi jumalaansa tukeakseen muita pelaajia, mutta papeille D&D:ssä tyypillinen hyvä viisaus saattaa tehdä papista myös hyvän lukemaan niin toisia hahmoja kuin ympäristöäänkin. Barbaari luottaa fyysiseen voimaan ja on paitsi kestävä taistelussa, kykenee myös kamppailun ulkopuolella hyödyntämään voimiaan esim. lukitun oven murtamiseen tai vaikkapa tiellä olevan korston pelotteluun.

Pelaajan ei tarvitse luoda hahmolukalleen tyypillistä hahmoa. Velhon ei tarvitse olla haltia, eikä barbaarin örkki. Pelaaja voi valita erikoisemman yhdistelmän pelinvetäjän siunauksella, ja hahmo sopiikin rakentaa oman maun mukaan. D&D:n on myös tehty lukemattomia virallisten lähteiden ulkopuolisia hahmolajeja ja -luokkia, sekä esim. aseita, esineitä ja taistelusääntöjä. Nämä ns. homebrew-materiaalit ovat hyvä lisä niille, jotka kaipaavat jotain erikoisempaa ja omaperäisempää, tai vain vaihtelua D&D:n perusteisiin. Monella peliryhmällä on myös omia sääntöjään tai muunnelmiaan virallisiin sääntöihin, ns. house rules.

Dungeons & Dragons -sääntöjä on julkaistu yhteensä 10 versiota, osa eri versioita toisistaan, osa suoria uudistuksia ja jatko-osia. Ensimmäinen varsinainen D&D-säännöstä julkaistiin vuonna 1974, ja sen takana olivat Gary Gygax, Dave Arneson ja Brian Blume. 40 vuotta myöhemmin julkaistiin D&D:n 5. ja viimeisin painos vuonna 2014. (Wizards of the Coast.)

D&D:n 5. painos on ollut suosituimpi kuin mikään muu roolipelin aiemmista painoksista, ja vuosi 2017 oli D&D:n myydyin vuosi, ainakin sitten vuoden 1997, kun Wizards of the Coast osti D&D:n TSR Inc.:ltä (Weiss 2018). D&D oli myös parhaiten myyvä roolipeli maailmassa syksyllä 2017 (Icv2 2018). Suosiolla on lukuisia syitä. 5. Painos on yksinkertaisempi ja aloittelijaystävällisempi kuin aiemmat painokset ja näin ollen helpommin lähestyttävissä. Suoratoistopalveluiden kautta pelaamistaan maailmalle näyttävät ohjelmat, kuten Critical Role, ovat osaltaan myös vaikuttaneet D&D:n uuteen suosioon

samoin kuin esim. hyvin suosittu Stranger Things -sarjan päähahmojen innokas D&D-pelaaminen. Maaliskuussa 2018 yli 8,6 miljoonaa amerikkalaista oli pelannut D&D:tä viimeisen 12 kuukauden aikana ja 9 miljoonaa ihmistä katsonut D&D:tä Twitchin kautta. (Hoffer 2018.)

3.2 Miniattyrit

Miniattyri on nimensä mukaisesti pienikokoinen taideteos. Kaikki luonnollista kokoa pienemmät teokset eivät välttämättä ole miniattyrejä, mutta ei ole olemassa universaalia, yksimielistä määritelmää sille, mikä lasketaan miniattyriksi, mutta joillakin taideyhteisöillä on omia sääntöjään sille, minkä he laskevat minityyritäiteeksi. Mielestäni voidaan ajatella puhuttavan miniattyristä, jos teoksen pieni koko on jollain tapaa huomattava, ja on olennainen taideteoksen kannalta. Miniattyreillä voidaan myös usein ajatella olevan jonkinlainen funktio, jonkinlainen toiminnallinen tarkoitus, ainakin useammin kuin kenties perinteisillä maalauksilla tai veistoksilla. Esim. miniattyrimaalauksien alkuperä löytyy keskiajan käsinkirjoitetuista kirjoista, joissa luvujen alut, usein niiden aloittava suuri kirjain, koristeltiin ykstyiskohtaisesti (Victoria & Albert Museum a). Esimerkkejä miniattyriveistoksista ovat Japanin Edo- ja Tokugawa-periodien (1615–1868) Netsuke-veistokset (ks. kuva 11), jotka toimivat vyöllä roikkuvien pussien ja muiden esineiden vastapainoina (Earle 1982, 3). Myös nukkekodit ja niiden miniattyriversiot arkipäivän esineistä ovat esimerkki eräänlaisesta miniattyritäiteestä.



Kuva 11. Taitelija Niky Senaterin Netsuke-veistos Sleeping Mouse.

Miniatyyrejä on voitu – ja voidaan – käyttää myös pelien välineinä, esim. shakkinappulat ja tinasotilaat voidaan ajatella eräänlaisiksi miniatyyreiksi. Nämä pelinappulat ovat kenties lähimpänä sotapeleissä ja D&D:ssä käytettäviä miniatyyrejä, jotka ovat pelin taisteluiden välineitä kuvaamassa sen osallistujien liikkeitä ja sijaintia.



Kuva 12. Keskimaa-inspiroitunut strategiapeli, jossa hyödynnetään miniatyyrejä.

Tässä työssä puhuttaessa miniatyyreistä ovat kyseessä pienet, erilaisissa pöytäroolipeleissä käytetyt miniatyyrikokoiset humanoidihahmot, esineet ja ympäristöt (ks. kuva 12). Useimmiten, varsinkin tämän työn yhteydessä, kyseessä on nimenomaan pelaajan käyttöön tarkoitettu humanoidihahmo.

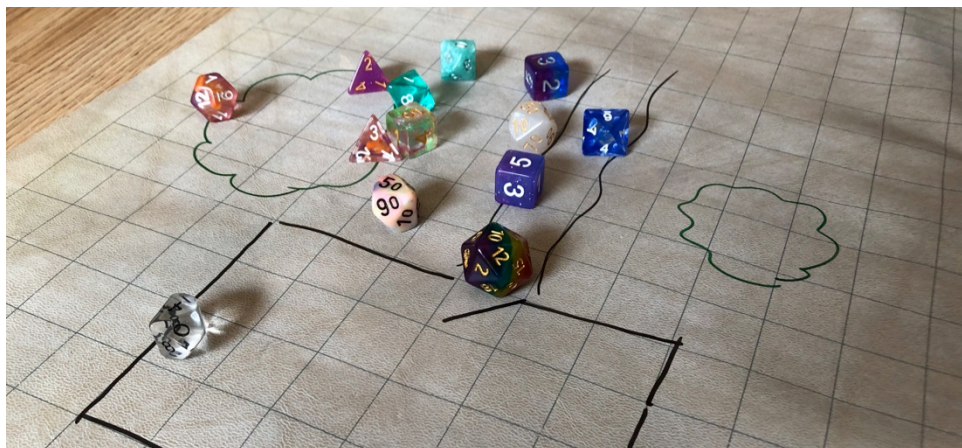
D&D-peleissä miniatyyrejä hyödynnetään visulisoimaan hahmojen ja vastustajien liikkeitä ruudukkoon jaetulla kartalla, ja ne auttavat pelaajia – ja pelinvetäjää – luomaan strategioita ja seuraamaan taistelun kulkua. Ne ovat usein käsinmaalattuja, ja joskus varsin näyttäviä. Miniatyyrien käyttö ei ole missään nimessä kuitenkaan pakollista, ja monet pelinvetäjät ja pelaajat eivät välttämättä edes käytä karttaa. Itse olen kokenut molemmat hyödyllisiksi välineiksi, tosin miniatyyrien puuttuessa ovat esimerkiksi nopat

tai muut vastaavat pienet esineet käyneet apuvälineinä sen sijaan. Miniattyrit kuvaavat jollain tapaa hahmon hahmoluokkaa eli hahmon taitoja ja kykyjä sekä hahmon persoonallisuutta. Hahmoilla on usein käsissään ase tai hahmo on juuri loitsimassa, johtuen siitä että miniattyreja käytetään lähes aina nimenomaan taisteluita kuvaamaan.



Kuva 13. Fantasiapeleistä ostettuja D&D-peliin sopivia maalaamattomia miniattyreja.

Hahmolla on myös yleensä pieni alusta, jossa se on kiinni. Tämä alusta on useimmiten ympyrän muotoinen, mutta muitakin muotoja silloin tällöin käytetään. Hahmominiattyrit on tehty kooltaan vastaamaan taistelukartan neliöruudukkoa. Ruudun mittakaava on vapaasti määriteltävissä, mutta useimmiten yksi ruudun sivu vastaa 5 jalkaa pelitilanteessa. Silloin tällöin, haluttaessa kuvata suurempia alueita, saattaa yksi ruutu vastata 10 jalkaa. Yhen ruudun koko kartassa tulisi olla 1" x 1" (Crawford, Perkins & Wyatt 2014, 250).



Kuva 14. Ruudukoidulle vahakankaalle piirretty kartta.

Miniatyyristä kykenee yleensä heti lukemaan päältä, mihin hahmo kykenee. Se saattaa myös kertoa jotain hahmon luonteesta, riippuen kuinka hyvän miniatyyrin hahmoaan vastaamaan pelaaja on löytänyt. Kaikkein olennaisimmat ovat hahmon laji, jonka usein pystyy miniatyyristä näkemään, ja hahmon vaatteet ja varusteet. Haltialla on suipot korvat, puolituinen on pienikokoinen ja tieflingillä on demoniset sarvet ja häntä. Velho on todennäköisesti pukeutunut kaapuihin tai muihin kevyisiin vaatteisiin, ja kädessään hänellä on sauva, tai kenties kristalli tai kirja. Paladiinilla, uskon ritarilla, on haarniska sekä kilpi ja vaikkapa nuija, tai kenties kahden-käden moukari. Ranger, metsien sa-mooja, on pukeutunut nahkaisiin varusteisiin ja kantaa jousta ja nuoliviiniä.



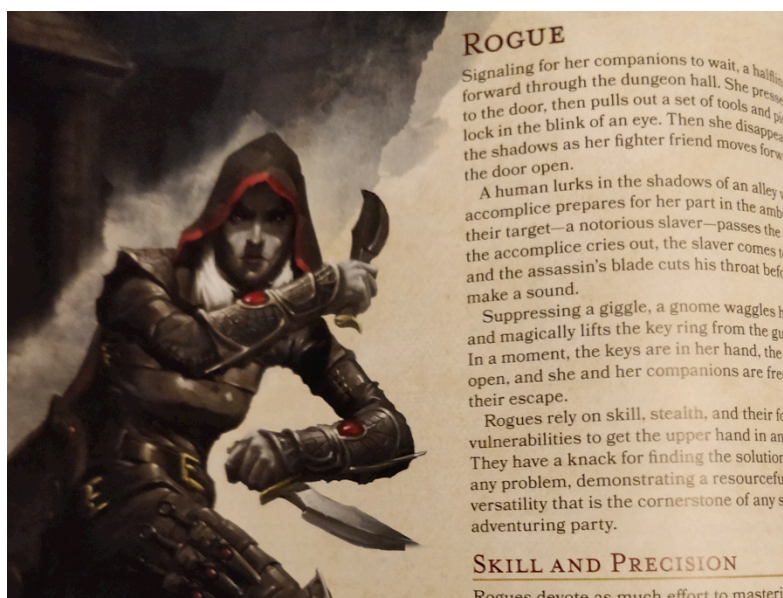
Kuva 15. Kuvassa vas. miniatyyri velhosta. Hahmolla on yllään kaapu, huppu ja sauva, jotka erottaa jo nopealla silmäyksellä. Oik. goblin-hirviö, jonka erottaa pienestä koosta, mittasuhteista ja ruumiinpiirteistä. Hahmolla on käsissään jousiase ja kevyt varustus, viitaten voron kaltaiseen hahmoluokkaan.

On mahdollista tehdä tavallisesta poikkeavia hahmokokonaisuuksia, esim. paladiinin joka käyttää jouta, tai velhon, joka on hyvä hiipimään. Tämän lisäksi hahmolla on mahdollista olla useita eri ammatteja.

4 Miniatyyrin teko

4.1 Hahmon suunnittelu

Hahmoksi valitsin tätä projektia varten haltia roguen eli voron, joka omaisi repertuaarissaan myös clericin eli papin taitoja. Roguelle tyypillisiä aseita tikarit, lyhytmiekat, lyhytjouset ja varsijouset (ks. kuva 16). Vorolla on tavallisesti viitta ja huppu, ja hän hiiviskele varsijousi tanassa tai on valmiina iskemään tikarinsa tietämättömän vihollisen selustaan. (Wyatt ym. 2014, 94–98.)



Kuva 16. Kuvitus pelaajan käsikirjassa rogesta eli vorosta. Nahkaiset vaatteet ja tikarit ovat roguelle ominaisia varusteita.

Papit pukeutuvat usein jonkinasteisiin haarniskoihin (Wyatt ym. 2014, 57), mutta tässä tapauksessa halusin luoda hieman loitsijan tuntumaa pitkillä, liehuvilla vaatteilla, ja hakea samalla perinteisemmän, todellisemmän papin mielikuvaa.

Pidän yleensä suhteellisen minimalistisista hahmoista, ja valitsin hahmolle yksinkertaisen, pitkähelmaisen aketonin, nahkasaappaat ja hanskat, ja päätin lisätä repun seikkailuvälineiden kantoon. Antaakseni hahmolle omaperäisyyttä ja tunnistettavuutta lisäsin hahmolle leveälierisen hatun, jossa on syvä halkio.

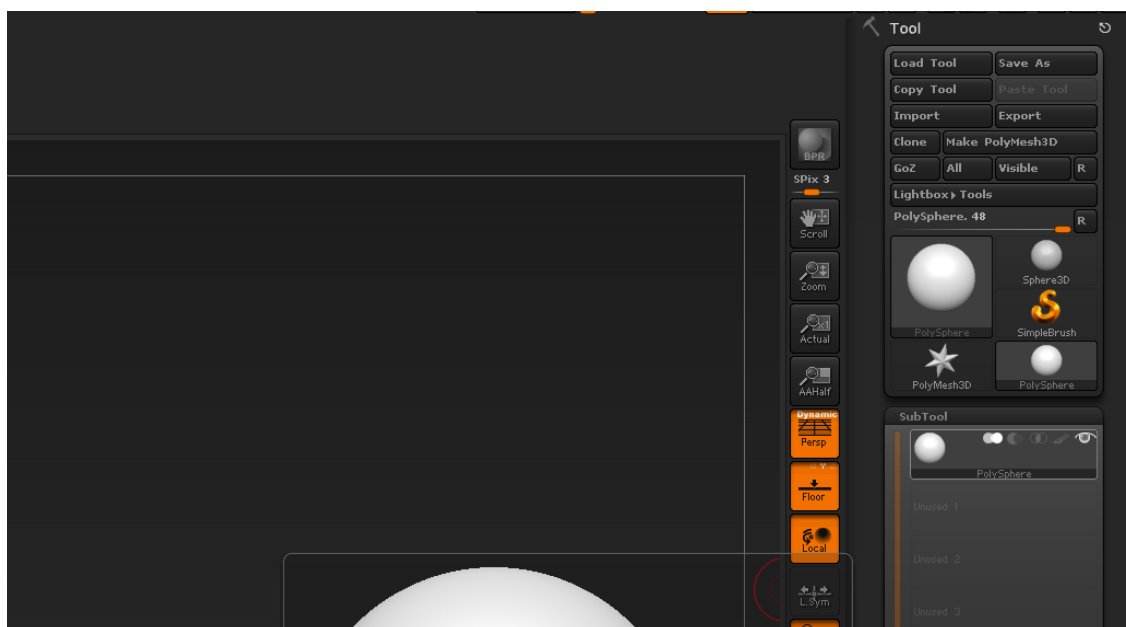


Kuva 17. Luonnos hahmon ulkonäöstä.

Sotapeliminiatyirit tehdään usein skaalaan 1/64, jossa keskikokoinen humanoidi korkeudeltaan siis noin 25mm, tosin joskus suuret 1/64 skaalan miniatyyrit lasketaan 1/58 skaalan miniatyyreiksi, jossa keskiverto humanoidi on 28 mm (The Miniature Page). Tämä on hyvä ottaa huomioon hahmoa veistäessä: liian pienet yksityiskohdat eivät tule näkymään lopullisessa tulostuksessa. En piirtänyt hahmon lopullista asentoa luonnokseen sillä koin, että asennon konseptointi piirtämisen kautta olisi kestänyt kauemmin ja ollut vähemmän havainnollistava. Demonstroin miten konseptoida asento luvussa 4.3.

4.2 Zbrush ja Zbrushin työkalut

Valitsin Zbrushin veisto-ohjelmakseni monista eri syistä. Zbrush on joustava ja monipuolinen, ja sillä voi tehdä hyvinkin monimutkaisia veistoksia. Se oli minulle myös ennestään tuttu.



Kuva 18. Kuvakaappaus osasta Zbrushin käyttöliittymää. Oik. alareunassa nähtävissä subtool-valikko.

Zbrushissa työstettävää mallia kutsutaan nimellä Tool eli työkalua. Työkaluun voi kuu-
lua useampi ns. Subtool eli alatyökalu. Työstettäessä yksittäistä mallia kuten esim.
miniatyyriä, työstetään yhtä työkalua, ja siihen mahdollisesti kuuluvia alatyökaluja.

4.3 Veistoprosessi

Kuten perinteisessä veistämisessä, siirrytään digitaalisessa veistämisessä suuremmis-
ta muodoista kohti pienempiä. Jaoin työn kolmeen vaiheeseen: Zsphere-pohja, lowpo-
ly-pohja ja yksityiskohtien veistäminen. Lowpoly (low suom. matala) tarkoittaa poly-
gonimäärältään pientä kappaletta. Zsphere-työkalu on kätevä tapa rakentaa eräänlainen
”ranka”, jonka osia voi liikutella helposti ja site muokata sekä asentoa että mitta-
suhteita ennen varsinaisen veistämisen aloittamista.

Hyvä asento ilmaisee monta asiaa, mm.: mitä tapahtuu ja mitä tunteita tekemiseen
liittyy. Hyvä asento ottaa huomioon myös hahmon koon ja painon, ja on sekä luonnol-
lisen että helppolukuinen. (Engländer 2013.) Loin asennon Zsphere-työkalulla. Hah-
mo nojaa toiselle jalalleen tyypillisessä kontraposto-asennossa. Asennossa on myös
spiraalinen rakenne, joka johtaa katsetta hahmon ympäri. Tämä toimii hyvin kolmiulot-
teisessa kappaleessa, jota voi katsella joka puolelta.



Kuva 19. Zsphereistä rakennettu luonnosmainen malli hahmosta.

Loin joitain hahmon olennaisia osia käyttämällä yksinkertaisia muotoja ja valmiita kappaleita vain skaalaamalla ja kääntelemällä. Näin sain mielikuvan siitä, miltä lopullinen hahmo näyttäisi. Lisäsin tällä tavoin leveälierisen hatun, joka toimii hahmon tavaramerkkinä, ja testasin miltä mahdollinen reppu selässä ja nuoliviini lanteilla näyttäisi. Sormet ylenpalttisen leveälierisen hatun lierillä korostavat hattua ikonisena elementtinä ja korostavat vaikutelmaa itsevarmasta keikarista. Hahmo on uhkaava: hahmon ase on esillä, ja hän on valmiina astumaan taistoon ilman pelkoa.



Kuva 20. Zsphereistä tehty luonnosmainen hahmo ja karkeat hahmotelmat hahmon suurimmista esineistä.

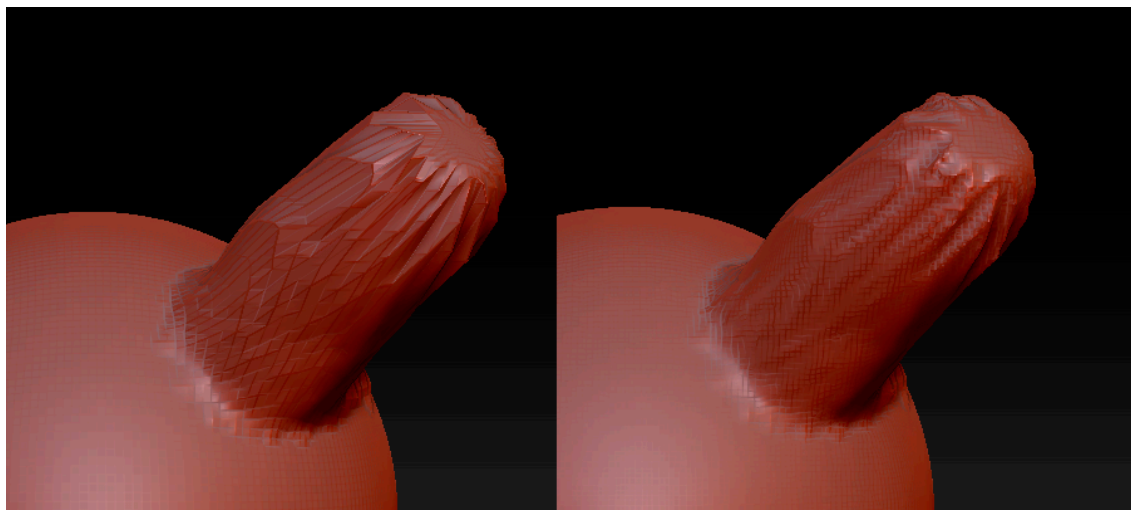
Hahmon asento oli tulostamisen kannalta riskialtis, sillä miekka tarvitsee tukirakenteita. Miekka on ohut uloke, ja tämä voi olla tukirakenteiden poistamisen kannalta ongelmallista. Halusin kuitenkin testata tulostuksen rajoja, ja nähdä, olisiko vastaavanlaisen elementin tulostaminen mahdollista.

Kun olin tyytyväinen hahmon asentoon, käytin Adaptive Skin -työkalua ja loin topologian Zpspherejen päälle.



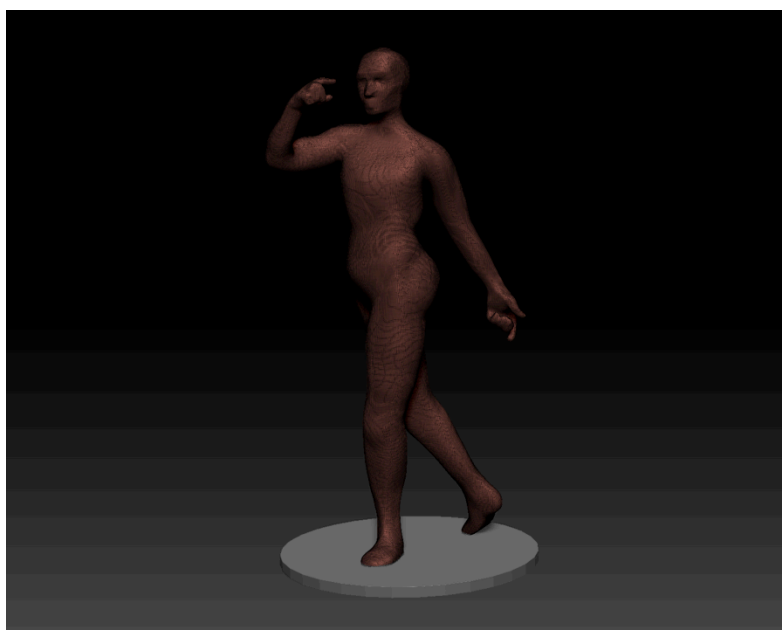
Kuva 21. Zpspherejen ylle luotu Adaptive Skin. Liian lähekkäin luodut Zspheret saattavat aiheuttaa virheitä Adaptive Skin -työkalussa, joten osia saattaa joutua hieman siirtämään tässä työvaiheessa.

Veistin hahmon piirteet ensin karkeasti. Tässä käytin apuna Dynamesh-työkalua. Dynamesh sallii topologian jatkuvan uudelleen laskemisen (ctrl + hiiren oikean näppäimen veto mallin ulkopuolella), jolloin alkuperäisen topologian venyttäminen ei ole ongelma.



Kuva 22. Vas. venynyt topologia, jossa yksittäiset polygonit ovat hyvin pitkiä. Oik. Dynamesh-työkalulla korjattu topologia, jossa pinnan muoto on säilynyt, mutta topologia laskettu uudelleen.

Dynamesh ei tuota siistiä topologiaa, ja yksityiskohdat katoavat sen käytön myötä helposti. Tämän vuoksi Dynamesh on hyödyllinen prosessin alkuvaiheessa, mutta kun sopiva pohja on luotu, on työkalu hyvä ottaa pois käytöstä. Huom. tavallisesti erottaisin hahmon sormet toisistaan lopullista veistosta suuremmalla välillä, mutta tässä tapauksessa, lopullisen tulostuksen ollessa niin pieni, jätin sormet vierekkäin ja veistin niitä suurimmilta osin yhtenä kappaleena molemmissa käsissä.



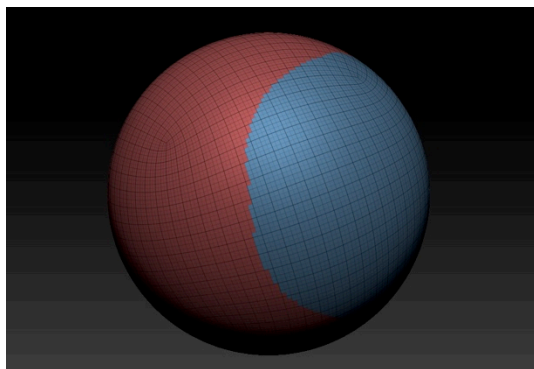
Kuva 23. Veistos ennen topologian siistimistä.

Käytin polygroup-työkalua eli polygoniryhmä-työkalua järjestelläkseni osia mallista veistämisen helpottamiseksi. Polygoniryhmät ovat tapa ryhmitellä polygoneja saman kappaleen pinnalla.



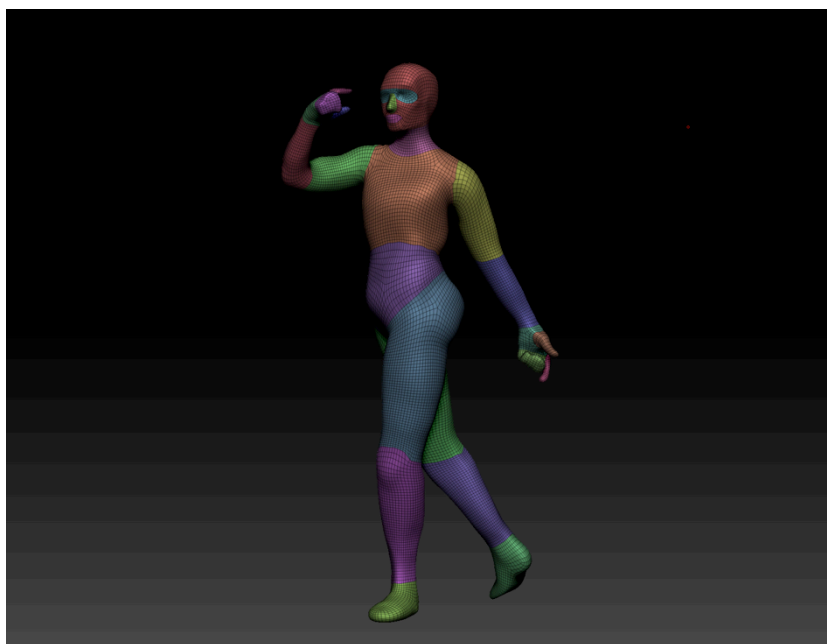
Kuva 24. Polygoniryhmätyökalu. Polygoniryhmiä voi luoda monella eri tavalla, kuten syväämällä tai piilottamalla alueita.

Loin polygoniryhmät syväämällä alueita veistoksesta ja valitsemalla sitten polygoniryhmätyökalusta "polygroup masked", joka luo polygoniryhmän syvätystä alueesta. Erottelin osiksi kaikki alueet, joita halusin käsitellä erillisinä, sekä osat joiden välille halusin luoda tiukkoja kulmia tai päällekkäisyyksiä, esim. huulet. Polygoniryhmät ja topologian voi saada näkyville pikanäppäinkomennolla shift + f.



Kuva 25. Polygoniryhmät ilmaistaan eri väreillä veistoksen pinnalla.

Veistämiskelpoisen topologian luomiseksi käytin Zremesher-työkalua. Zremesher-työkalua sallii topologian uudelleen määrittelyn paljon hallitummalla tavalla kuin Dynamesh, ja on myös hyvin olennainen osa toimivan pohjan luontia Zbrushissa. Aloitin Zremesher guides -työkalulla, ja piisin viivoja ja silmukoita tavalla, jota halusin topologian seuraavan Zremesherin käytön jälkeen. Tämä on olennaista, sillä jos topologia on satunnaista, voi veistämässä syntyä outoja nyppylöitä ja kuoppia, joista on vaikea päästä eroon. Näissä tilanteissa mallia saatetaan joutua jakamaan suurempiin ja suurempiin polygonimääriin, joka vaikeuttaa työskentelyä sekä itse veistämisen puolesta, että hidastaa tietokonetta tiedoston vaatiman muistin kasvaessa. Polygoniryhmien ja Zremesher guides -työkalujen yhdistelmällä topologiasta saadaan suhteellisen käyttökelpoista. Asetin polygonimäärän tavoitteeksi 5000, ja työkalun säilyttämään polygoniryhmät. Muuten jätin asetukset oletusarvoilleen.



Kuva 26. Malli Zremesher-työkalun käytön jälkeen.

Kun mallin pohja oli valmis, käytin subdivide-työkalua (ctrl + d) lisätäkseni veistoksen polygonimäärää. Veistin tässä vaiheessa kädet, sormet ja kasvot. Kehoon tai jalkoihin en juurikaan lisännyt yksityiskohtia, sillä ne olivat myöhemmin vaatteiden peitossa.



Kuva 27. Malli veistämisen edettyä.

Veistin seuraavaksi pohjat vaatteille. Loin ensin hahmon aketonille pohjan yhdistämällä kaksi sylinteriä käyttämällä Dynamesh-työkalua, joka topologian uudelleen määrittelyn lisäksi pystyy ns. sulattamaan kaksi tai useampaa kappaletta toisiinsa.



Kuva 28. Aketonin karkea pohja.

Käytin Move- eli liikutustyökalua ja jonkin verran muita veistotyökaluja, kuten Clay Buildup ja Standard -työkaluja, luomaan suurpiirteisesti aketonin muodot. Seuraavaksi syväsin pohjan pinnan, ja käytin alatyökalu eli Subtool-valikosta työkalua Extract. Näin voin luoda eräänlaisen kopion syväämästäni alueesta, jolla on tietty paksuus, ja erottaa sen alkuperäisestä kappaleesta.



Kuva 29. Extract-työkalulla luotu aketon.

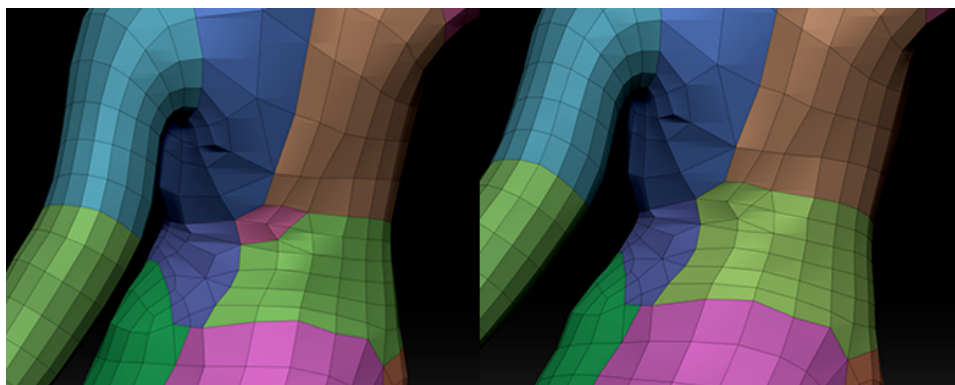
Uusi aketon oli reunoiltaan epätasainen ja topologiaaltaan sopimaton, mutta tämä oli helposti korjattavissa. Käytin jälleen Move-työkalua aketonin osien siirtelyyn ja hyödynsin sitä myös jonkin verran siistimpien reunojen luomisessa. Seuraavaksi, kuten hah-

mon kehon luonnissa, loin polygoniryhmiä kappaleen pinnalle. Halusin myöhemmin asettaa aketonin liepeet limittäin, joten oli tärkeää huolehtia, että polygoniryhmät sallisivat sen. Säilytin polygoniryhmät kaikissa olennaisissa saumakohtissa, ja pidin huolta, että aketonin sisä- ja ulkopuolia kykeni käsittelemään erillään toisistaan.



Kuva 30. Karkean aketonin alustavat polyogiryhmät.

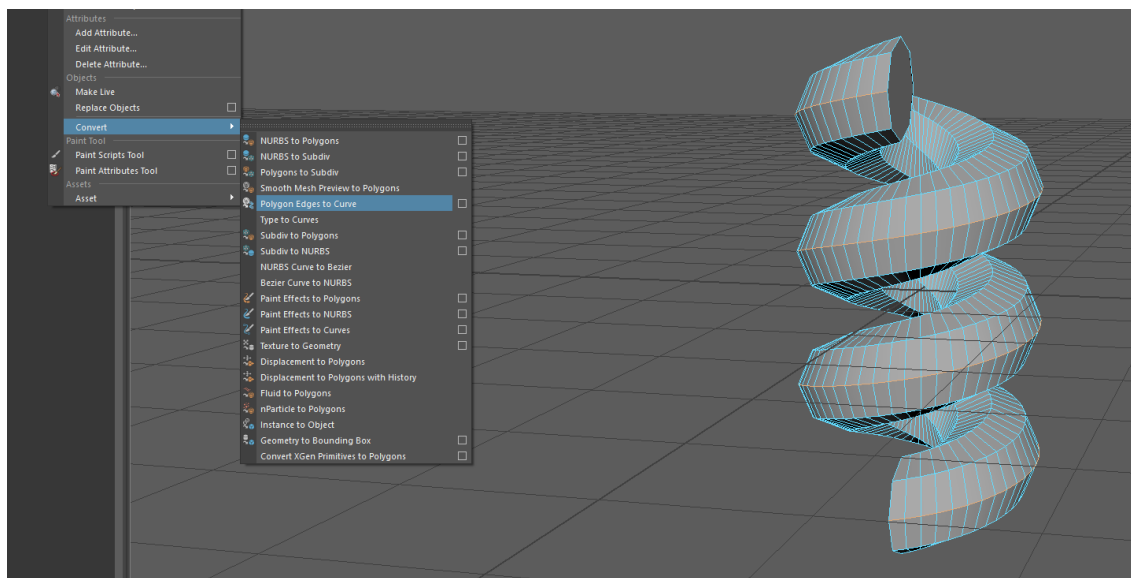
Tämän jälkeen käytin jälleen Zeremesh-työkalua. Kun topologia oli uudelleen laskettu, käytin hetken polygoniryhmien korjailuun ja pintojen tasoitteluun. Siirsin sitten aketonin liepeet limittäin.



Kuva 31. Vas. Polygoniryhmät ennen korjaamista. Oik. polygoniryhmät korjaamisen jälkeen.

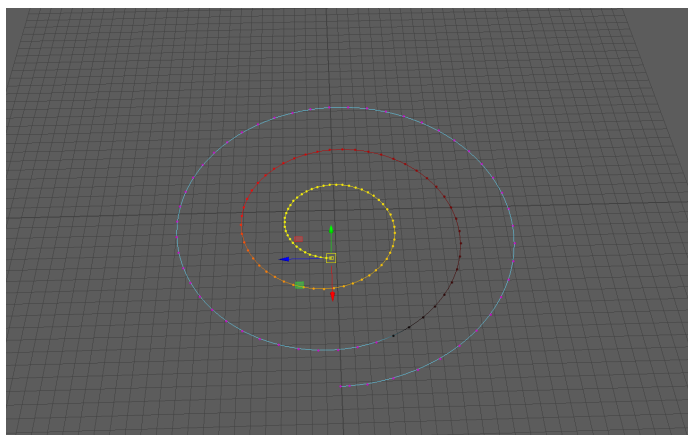
Toistin saman prosessin luodakseni kengät, hanskat ja vyön.

Tein rullatun makuualustan Mayassa. Maya soveltuu työkaluiltaan paremmin ns. hard surface eli kovien pintojen, kuten koneiden tai esineiden, mallintamiseen. Loin ensin spiraalimaisen helix-primitiivin, ja valitsin yhden primitiiviä kiertävistä reunoista. Suoritin Polygon Edges to Curve -muutoksen, jossa muutin valitsemani reunat yhdeksi käyräksi.



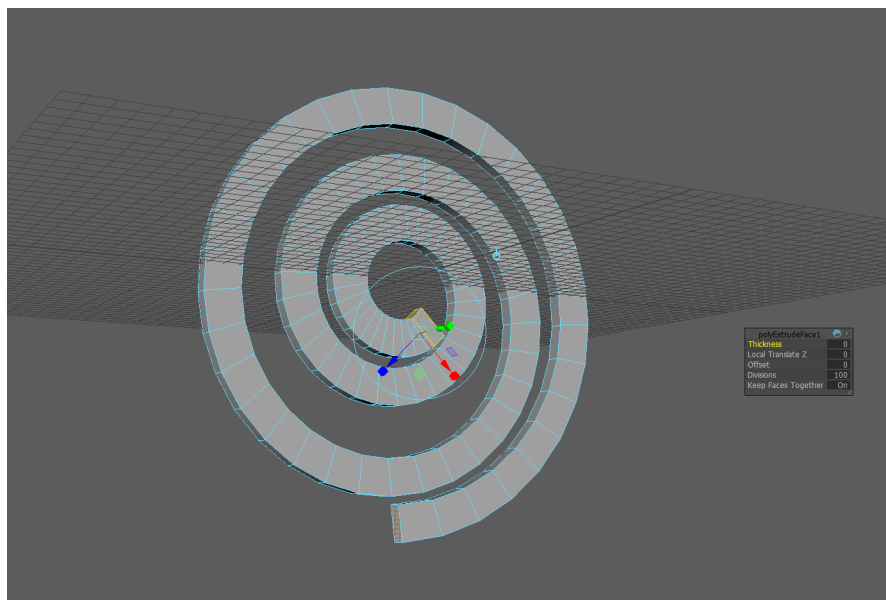
Kuva 32. Vas. Polygon Edges to Curve -työkalu, oik. helix-primitiivi.

Litistin saamani käyrän skaalaus-työkalulla ja siirsin käyrän kontrollipisteitä käyttämällä pehmeää valintatyökalua kunnes se näytti mielestäni sopivalta. Pehmeän valinnan voi laittaa päälle painamalla pikanäppäintä B valitessa pisteitä, reunoja tai pintoja. Pehmeä valinta sallii valinnan ympäröivän alueen siirtämisen pehmeästi ja organisesti ydinvalintaa seurailleen.



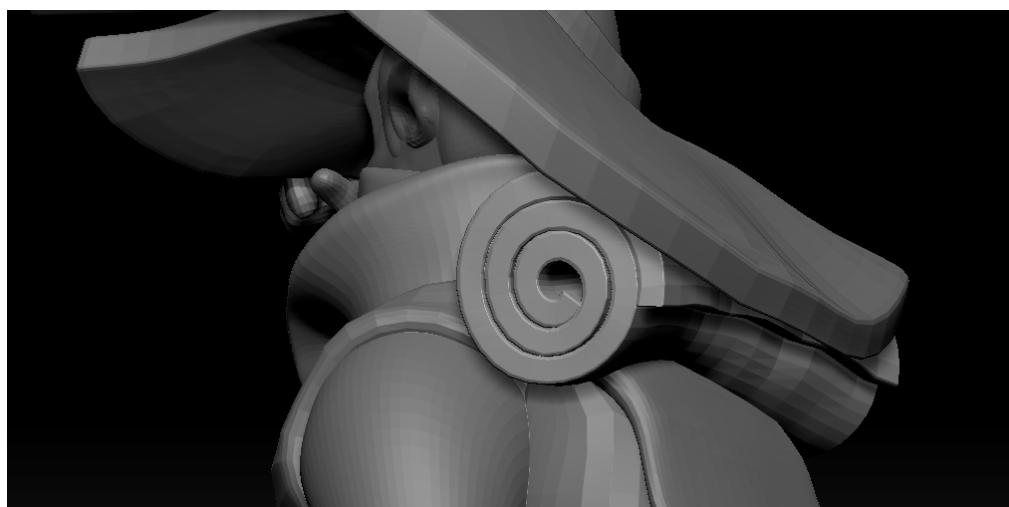
Kuva 33. Pehmeä valinta näkyy väriliukumana käyrän pinnalla.

Saatuani sopivan käyrän käännän sen sopivaan asentoon, luon kuution ja käytän Extrude-työkalua ns. pursottaakseni uutta topologiaa käyrää pitkin.



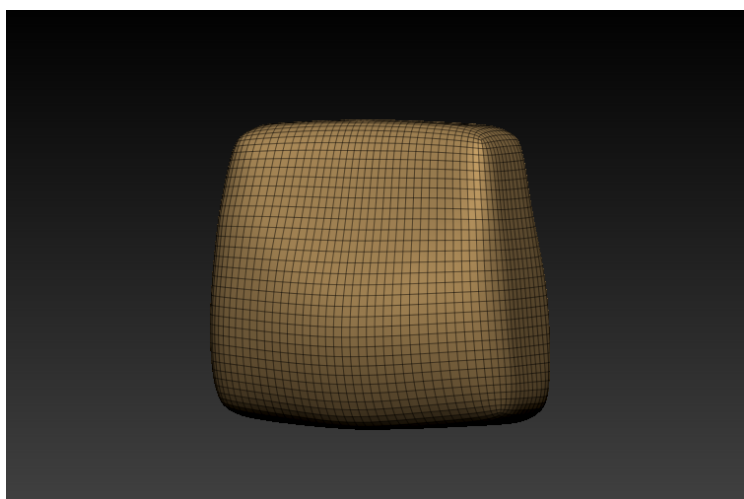
Kuva 34. Kappaleen pinnan jatkaminen käyrää pitkin Extrude-työkalulla.

Skaalasin kappaletta sivusuunnassa ja nipistin käärröä keskeltä käyttämällä pehmeää valintaa luodakseni organaisemman muodon. Lopuksi tallensin käärrön OBJ-tiedostona ja toin makuukäärön Zbrushiin, ja siirsin ja skaalasin sen sopivaksi hahmolle. Loin myös miekan hahmolle Mayassa.



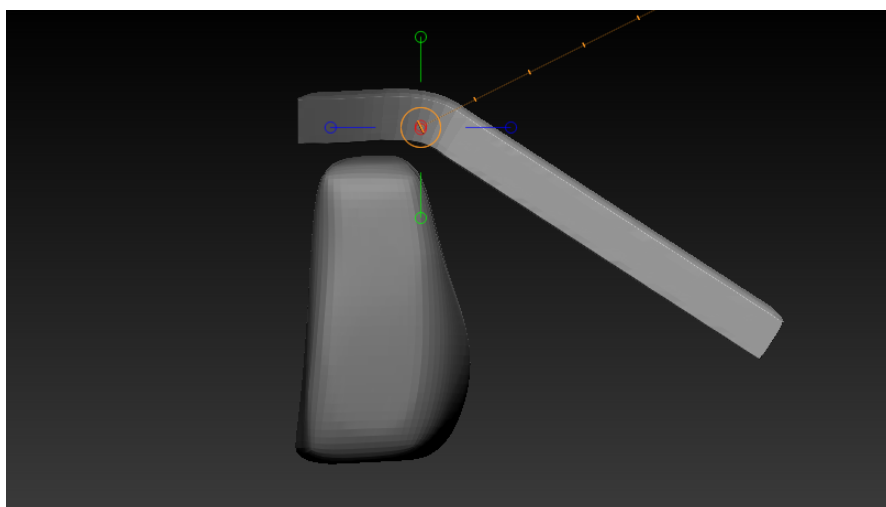
Kuva 35. Makuurulla hahmon selässä Zbrushissa.

Vyölaukku on rakenteeltaan yksinkertaisempi, ja päätin siksi luoda sen Zbrushissa. Lisäsin ensin malliin valmiin kuution, ja laitoin sitten Dynamesh-työkalun jälleen päälle. Veistin ja silotin muotoja kevyesti luodakseni siitä orgaanisemman, ja käytin sitten Zremesh-työkalua.



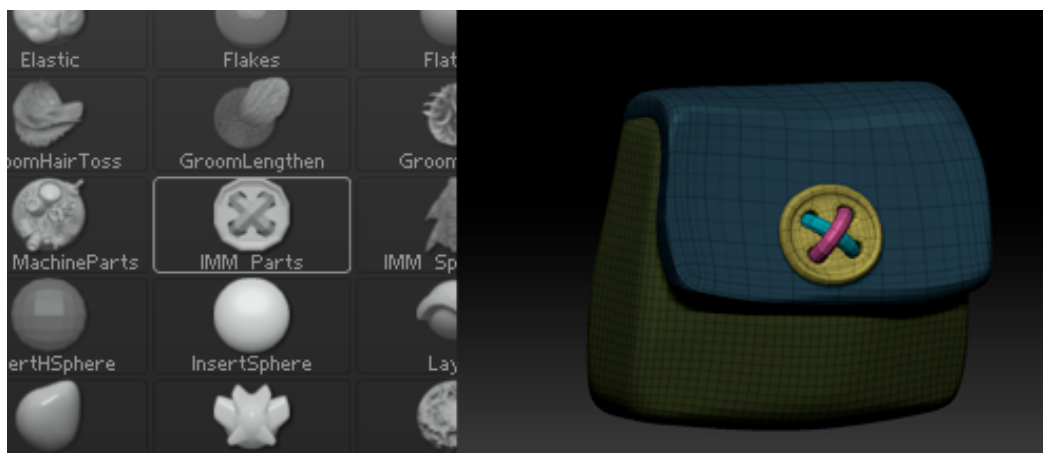
Kuva 36. Veistetty kuutio Zbrushissa.

Loin laukun kannen tekemällä kuution, skaalaamalla sen litteäksi, ja asettelemalla sen sitten laukun päälle transpose-työkalulla. Hyödynsin Transpose-työkalua syvätäkseni ja kääntäkseni kannen käyrälle, jotta se laskeutuisi laukun päälle. Transpose on kappa-leiden liikuttamiseen, skaalaamiseen ja rotatointiin tarkoitettu työkalu Zbrushissa, jolla voi myös mm. syvätä.



Kuva 37. Kannen rotatointi Transpose-työkalun avulla.

Silottelun, kevyen siirtelyn ja Zremesher-työkalun jälkeen kansi oli valmis. Lisäsin laukuun napin IMM_Parts-työkalusta, joka on ns. InsertMesh-työkalu. InsertMesh-työkaluilla voidaan lisätä aiemmin luotuja kappaleita olemassaolevien kappaleiden päälle, sekä siirrellä, skaalata ja kääntää niitä helposti. Lisäsin samalla tavalla soljet vyölle ja reppuun.



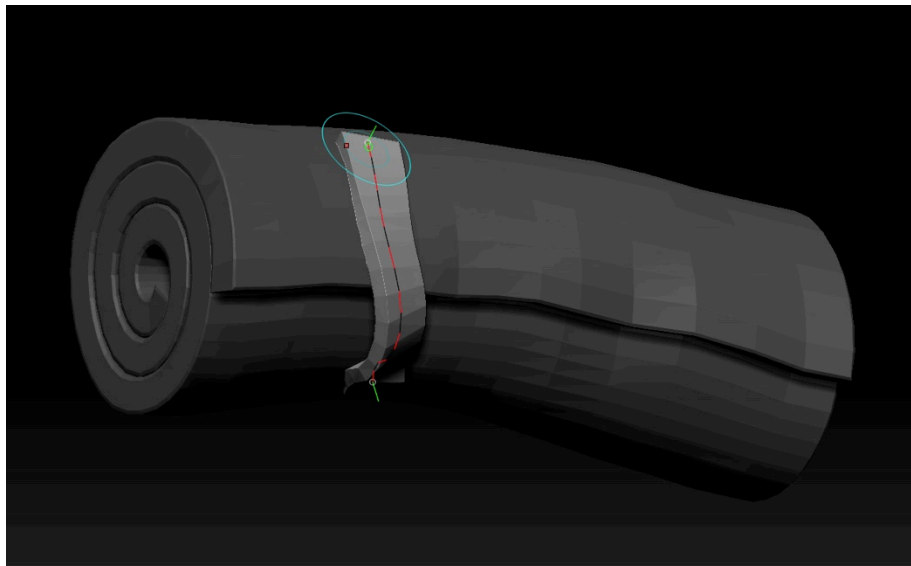
Kuva 38. Vas. IMM_Parts Zbrushin sivellinvalikossa. Oik. Nappi laukun pinnalla.

Loin seuraavaksi itse vyölaukusta InsertMesh-työkalun voidakseni laittaa vyölle monta laukkuja. Kun laukut olivat paikallaan, erotin laukut itse vyöstä voidakseni työstää vyötä erikseen. Loin hahmolle repun pitkälti samalla prosessilla kuin tein vyölaukun.



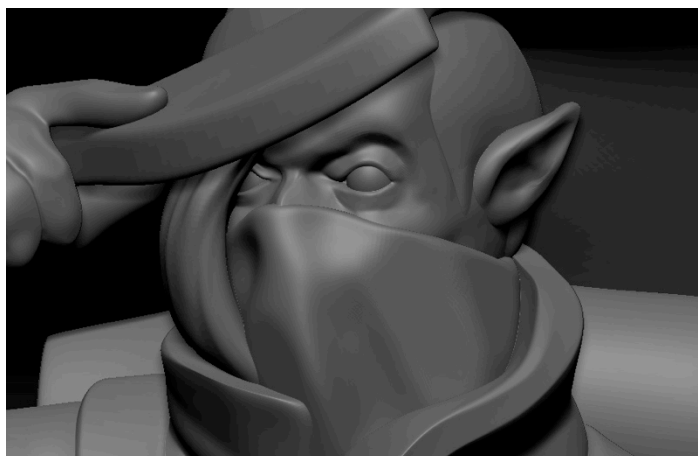
Kuva 39. Laukut vyöllä.

Loin nahkaremmit makuualustalle ja repun kannelle käyttämällä CurvedStrapSnap-työkalua, jossa kappale seuraa muodoltaan ja kooltaan mallin pinnalle luotavaa käyrää.



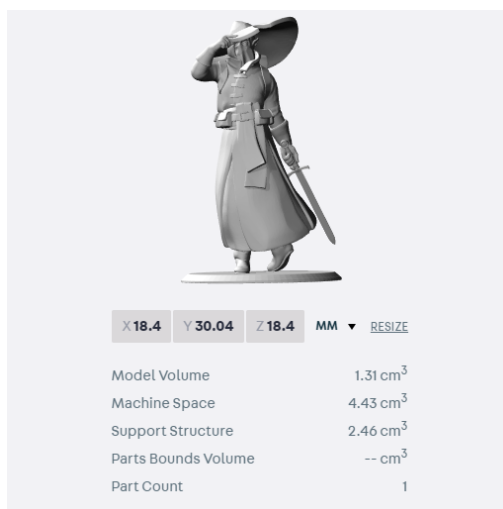
Kuva 40. CurvedStrapSnap-työkalun käyrä ja sitä seuraava malli kappaleen pinnalla.

Tehdessäni veistosta lisäsin hahmolle myös huivin kasvoja peittämään alleviivaamaan hahmon uhkaavaa olemusta, ja tuodakseni hahmoon hieman perinteisen maantierosvon vaikutelmaa. Muokkasin myös hiustyyliä sopimaan paremmin hattuun ja huiviin.



Kuva 41. Huivi hahmon kasvoilla.

Kokeilin mallia Shapeways-sivuston (www.shapeways.com) tulostuspalvelussa käyttämällä Fine Detail Plastic -materiaalia varmistaakseni mallin toimivuuden tulostamisessa (ks. kuva 42). Päätin tehdä mallista 28 mm korkean saadakseni hieman lisää yksityiskohtia lopputulokseen.



Kuva 42. Veistos Shapeway-palvelussa.

Testin jälkeen muutin nappeja yksinkertaisemmiksi, koska ne vaikuttivat liian pieniltä ja katosivat näkyvistä mallin ollessa n. 28-30 mm korkea, mutta näkyivät esim. 28-30 cm korkean tulosteen esikatselussa. Säädin vyönsolkia myös samoista syistä. Lopulta usein kokeilujen jälkeen totesin, että jotkin yksityiskohdat saattavat yksinkertaisesti olla liian pieniä näkyäkseen näin pienessä tulosteessa.

Kun veistos oli valmis, yhdistin kaikki alatyökäluet yhdeksi kappaleeksi ja käytin Decimation master –työkalua. Decimation master alentaa mallin polygonimäärää mutta säilyttää mallin yksityiskohdat mahd. pitkälle. Topologia ei ole esim. animoimiskelpoista, mutta pelkän tiedostokoon pienentämiseen se käy mainiosti. Zbrush ilmaisee topologian määrän verteksien määränä. Aloitin 2,869 miljoonasta verteksistä ja päädyin 587894 verteksiin, jotta tiedosto olisi tarpeeksi pieni Shapewaysiin, ja samalla myös helposti käytettävissä tulostamiseen tarkoitetuissa ohjelmistoissa. Toin mallin vielä Mayaan ja loin sille siistimmän alustan siellä.



Kuva 43. Valmis malli Mayssa.

Lopuksi tein mallista STL-tiedoston tulostamista varten.

5 Hahmon tulostaminen

5.1 Tulostimen valinta

Rajasin tulostusvaihtoehdot pääkaupunkiseudun kirjastojen tarjoamiin 3D-tulostimiin, sillä halusin pitää tulostuksen kustannukset pieninä, oppia mahdollisimman paljon itse tulostusprosessista ja tutkia samalla saatavilla olevia julkisia 3D-tulostuspalveluita.

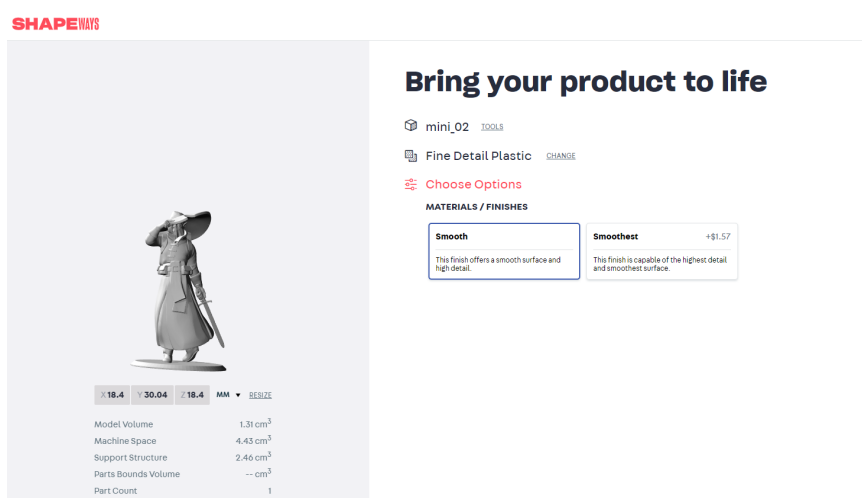
Pääkaupunkiseudun julkiset tulostusmahdollisuudet ovat lukuisat. Valitsin projektiin tulostimiksi Ultimaker 3 -tulostimet Helsingin keskuskirjasto Oodissa (Varaamo, Helsinki) ja Formlabs Form 2 -tulostimen Espoon Ison Omenan kirjastossa (Varaamo, Espoo). Ultimaker 3 on FDM-tulostin ja Formlabs Form 2 on SLA-tulostin.

Saatavilla oli myös esim. Ultimaker 2+ -tulostin Ison Omenan-kirjastossa, mutta Ultimaker 3 sopii ominaisuuksiltaan paremmin tarkkuutta ja monimutkaisia muotoja vaativaan miniatyyriprojektiin. Myös Myllypuron kirjastossa on 3D-tulostimia, malliltaan Ultimaker 3 ja Ultimaker 3 Extended, mutta valitsin Oodin sen sijainnin takia. Ison Omenan valitsin SLA-tulostimen takia.

Omien tulosteideni lisäksi tilasin yhden tulostuksen Shapeways-palvelusta. Halusin testata Fine Detail Plastic -materiaalia, ja verrata hinta-laatusuhdetta ja ajankulutusta tilatun ja itse tuotetun tulostuksen välillä.

5.2 Tulostus Shapeways-palvelun kautta

Tulostus Shapeways-palvelun kautta oli suhteellisen yksinkertaista. Palvelussa säädettiin mallin koko ja valittiin haluttu tulostusmateriaali (ks. kuva 44). Shapeways myös avuliaasti piilottaa osat mallista, jotka ovat liian pieniä tulostettavaksi valitussa koossa ja valitulla materiaalilla. Tulosteen hinta postikuluineen oli 25,20 euroa.



Kuva 44. Shapeways-palvelun käyttöliittymä.

Lopullinen malli saapui UPS-kuljetuspalvelun kautta n. viikon tilaamisen jälkeen. Malli oli reilusti suojattu ja pakattu huomattavasti tulostetta suurempaan pakettiin. Tuotteen turvallisuuden kannalta tämä oli hyvä, mutta muuten epäekologista. Malli itsessään oli hyvin siisti pienestä koostaan huolimatta, ja yksityiskohdat säilyivät kokoon nähden hyvin. Malli osoittautui kuitenkin huomattavasti aiottua pienemmäksi.



Kuva 45. Kuvassa vas. Shapeways-palvelusta tilaamani malli ja oik. omistamani tavalinen Fantasiapeleistä ostettu D&D-miniatyyri.

Palasin mittaamaan seitsemän omaa miniatyyriäni, ja tulokset vaihtelivat 35-38 mm välillä. Päätin tulostaa miniatyyrit jatkossa tässä koossa.

5.3 Tulostus Ultimaker 3 -tulostimella

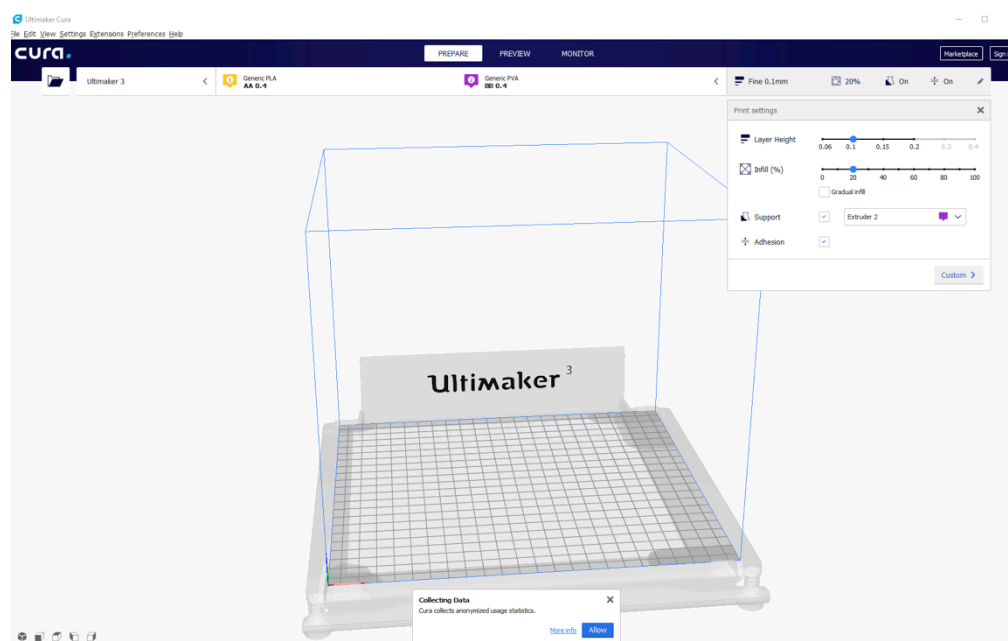
Helsingin keskuskirjasto Oodissa on kirjoitushetkellä varattavissa neljä 3D-tulostinta. Tulostimet ovat Ultimaker 3 -tulostimia, jotka ovat FDM-tulostimia. Varaaminen tapahtuu internetin kautta, osoitteessa varaamo.hel.fi. Tulostimet 1–3 voidaan varata kerrallaan enintään neljäksi tunniksi, tulostin 4 enintään kahdeksaksi tunniksi. Tulostimia voi varata yhden päivässä, ja samaan tulostimeen ei voi olla useaa voimassaolevaa varausta yhtä aikaa. Esim. tulostimen 2 voi varata yhdeksi päiväksi ja tulostimen 3 seuraavaksi päiväksi, mutta tulostinta 2 ei voi varata peräkkäisille päiville. Saman tulostimen voi varata jälleen varausajan mentyä ohi, tosin eri päivälle.

Tulostimien varaus on ilmaista, mutta tulosteissa on materiaalimaksu 0,70 € per tulos-te. Materiaaleina on saatavilla PLA:ta eri väreissä ja PVA:ta. Oodin tulostimien suuttimien halkaisija on 0,4 mm ja tulostuskerros 0,2-0,06 mm asetuksista riippuen. Tulostuksen maksimi koko on 215 x 215 x 200 mm.

Ennen tulostimien varausta on hyvä ladata Ultimaker Cura -ohjelmisto. Näin voi tutustua etukäteen tulostuksen asetuksiin ja selvittää tulostukseen kuluvan ajan varaamista varten. Huom. on hyvä varata ylimääräistä aikaa 15-30 min materiaalien vaihtamiseen ja mahdollisiin muihin toimenpiteisiin ja ongelmiin.

On hyvä ottaa huomioon, että Ultimaker Cura Oodissa lukee vain SLA-tiedostoja, joten ne on tuotava tässä muodossa. Ultimaker Cura omalla koneellani luki kuitenkin myös OBJ-tiedostoja, joten jos tulostustiedoston tekee jo kotona tai omalla kannettavalla tietokoneella, voi käyttää muutakin tarkoituksiinsa sopivaa tiedostomuotoa. Malli on oltava muistitikulla tulostinta varten, mutta kirjasto lainaa tulostukseen korvauksetta muistitikkua pyydettyä.

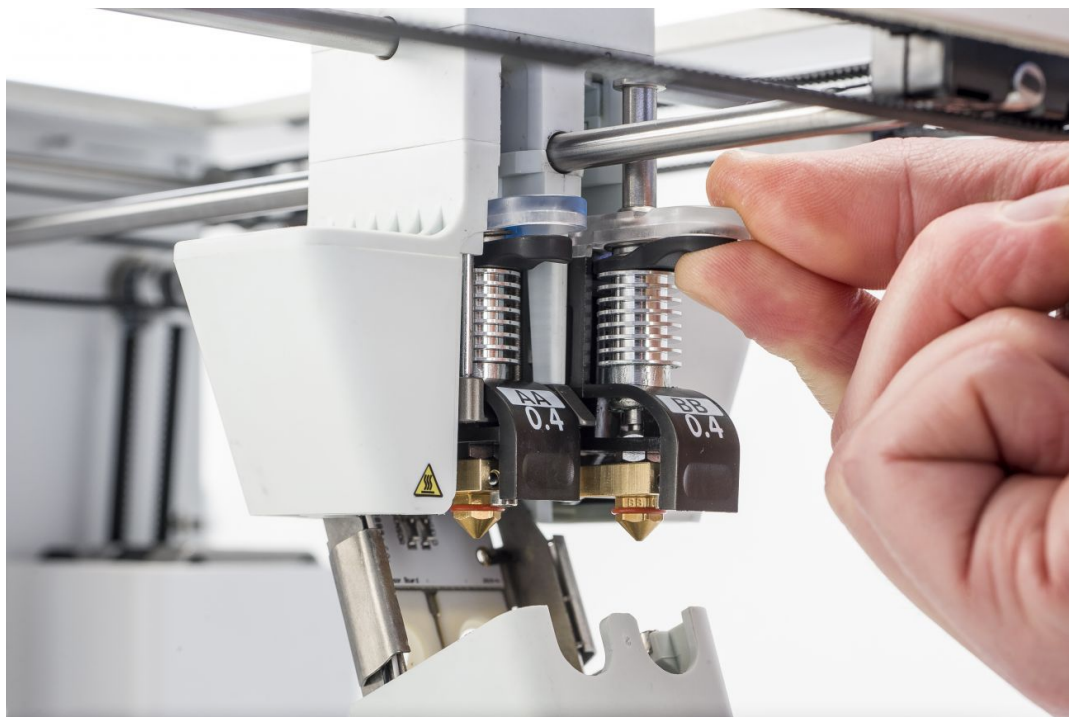
Tulostuksen kannalta on tärkeää ymmärtää termit Print core, Extruder 1, Extruder 2, Layer Height, Infill, Supports ja Adhesion.



Kuva 46. Kuvakaappaus Ultimaker Curan käyttöliittymästä. Huom. Ultimaker Cura koneeni on hieman eri versio kirjastolla saatavilla olevasta Ultimaker Cura -ohjelmistosta.

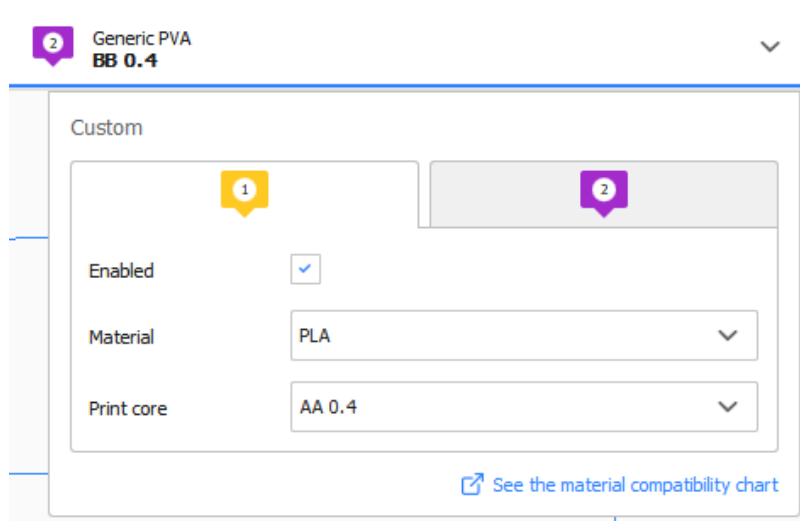
Print core, eli ns. tulostusydin on tulostimen osa, jossa muovi sulatetaan. Suutin on myös osa tulostusydintä. Kirjastolla on saatavilla ytimet AA.04 ja BB.04, joista AA.04 on PLA:lle ja BB.04 PVA:lle. Ytimet ovat tulostinpään kannen takana. Ultimaker Curassa määritellään tulostustiedostoon sekä tulostusytimet että materiaalit molemmille suuttimille. Sekä ohjelmisto että itse tulostin ilmoittavat, jos asetukset ja tulostimessa

olevat materiaalit ja suuttimet ovat ristiriidassa, joten virheiden välttäminen on suhteellisen helppoa.



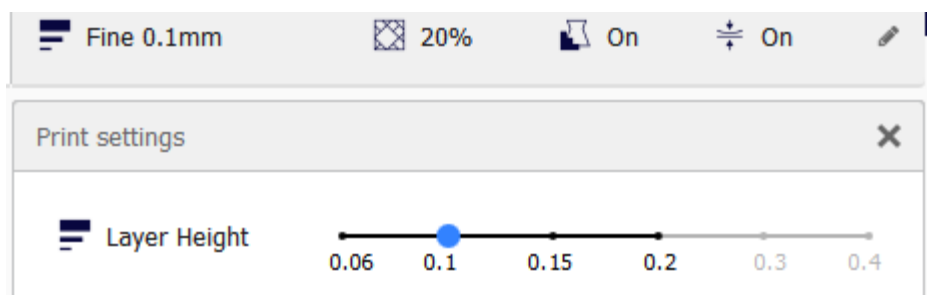
Kuva 47. Ultimaker 3 –tulostimen AA.04 ja BB.04 tulostusytimet tulostuspään sisässä.

Extruder 1 ja 2 ovat tulostimen suuttimet. Extruder 1 on edestä katsottuna vasemmanpuoleinen suutin, joka käyttää materiaalia 1, kun taas Extruder 2 on oikeanpuoleinen ja käyttää materiaalia 2 (ks. kuva 45). Tulostimen takana olevista filamenttikeloista ulommainen on materiaali 1, ja sisempi materiaali 2 (ks. kuva 7). Tässä työssä mallin pääasiallinen materiaali oli PLA:ta, ja se tulostettiin suuttimesta 1. Tukimateriaali oli PVA:ta, ja tulostettiin suuttimesta 2.



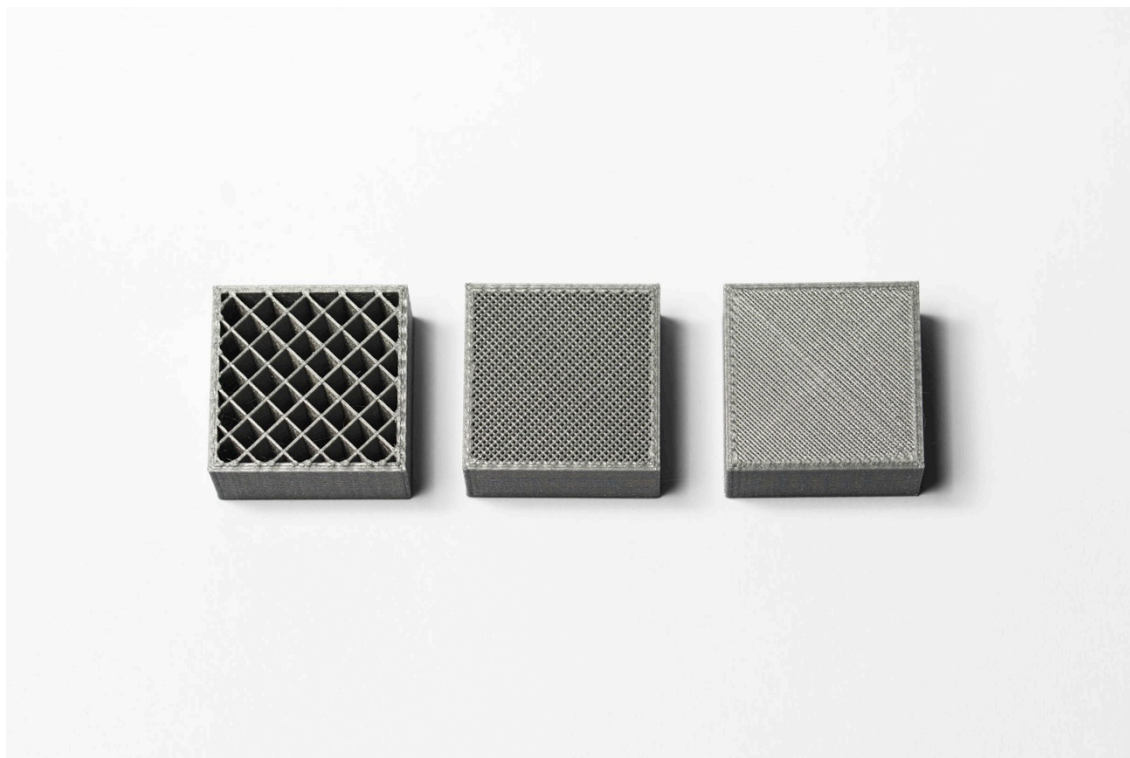
Kuva 48. Suuttimet Ultimaker Curan käyttöliittymässä.

Layer height on tulostuskerrosten paksuus. Mitä ohuempi tulostuskerros, sitä tarkempi työ mutta pidempi tulostusaika, ja toisinpäin. Tässä työssä tulostuskerros asetettiin korkeudelle 0,15 mm.



Kuva 49. Tulostuskerros asetetus Ultimaker Curassa.

Infill eli sisätäyttö määrittelee, kuinka paljon materiaalia tulee tulosteen sisään. Ultimaker Cura määrittelee automaattisesti täyttöasteen mukaan, miten tulostin tämän toteuttaa. Yleensä tulostin tekee tämän ristikon muodossa. Suurempi sisätäyttö tekee tulosteesta tukevamman ja kestävämmän, mutta lisää tulostusaikaa. Tässä työssä sisätäyttö asetettiin 20 prosentille.



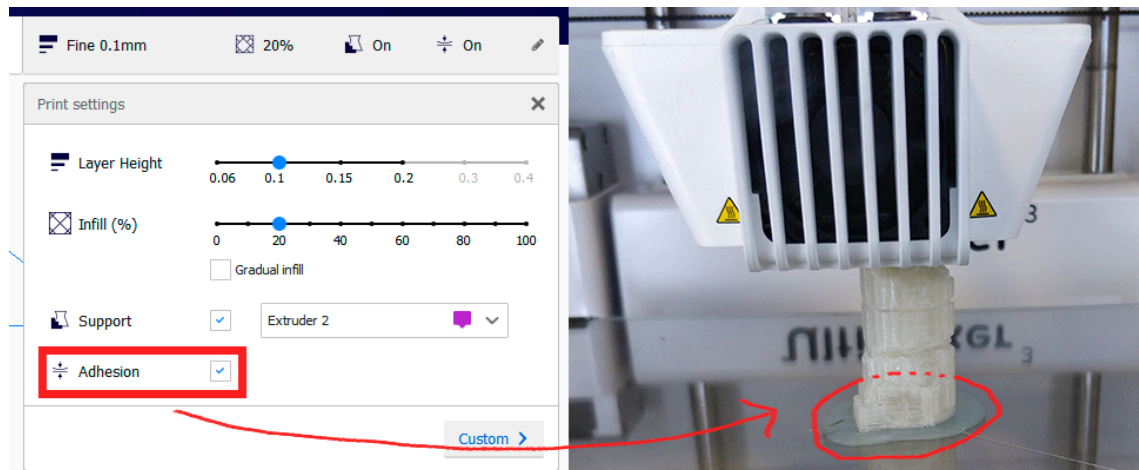
Kuva 50. Tuloste eri sisätäytön asteilla.

Supports tarkoittaa tukirakenteita. Ultimaker Curassa voidaan automaattisesti luoda tukirakenteet ja päättää, millä materiaalilla ja suuttimella tukirakenteet tehdään. Tässä työssä tukirakenteet luotiin automaattisesti ja määritettiin suuttimelle 2 materiaalilla PVA.



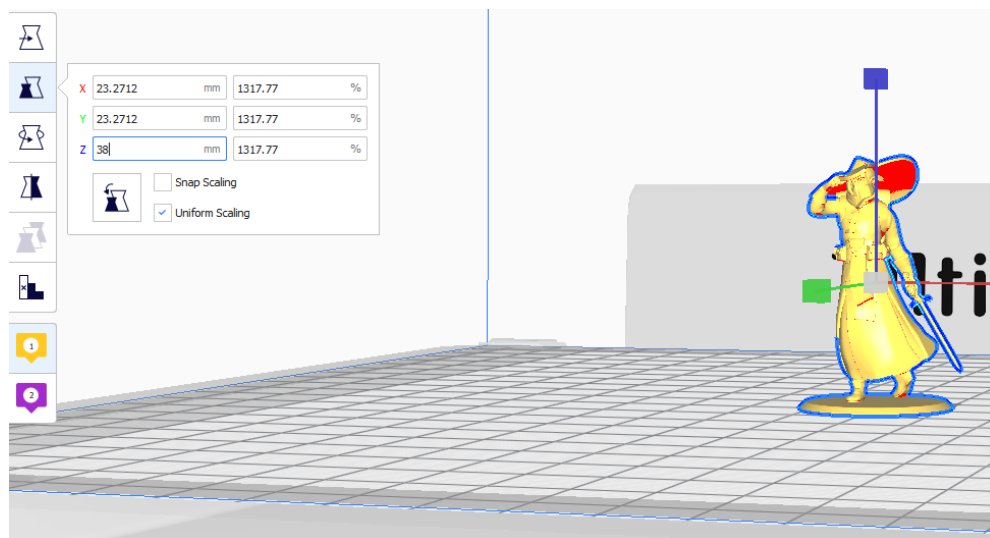
Kuva 51. Tukirakenteiden valinta Ultimaker Curassa.

Built Plate Adhesion tekee tulosteen ympärille yhden kerroksen paksuisen alueen, joka auttaa tulostetta tarttumaan rakennusalueeseen. Tämä voi estää tulostetta liikkumasta paikaltaan tulostuksen aikana ja näin estää tulostuksen epäonnistumisen. Tämä asetus oli käytössä tässä työssä.



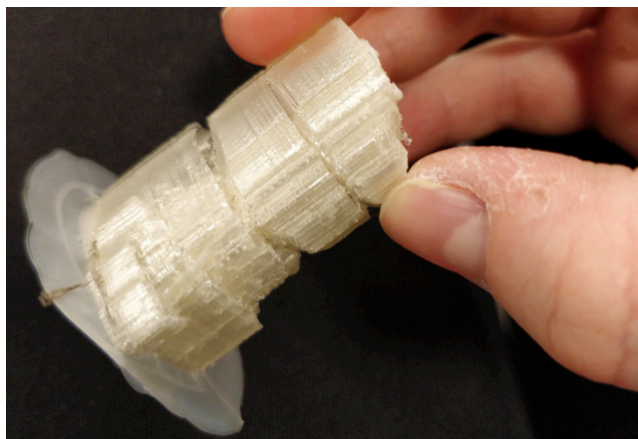
Kuva 52. Kuvassa vas. Build Plate Adhesion -asetus Ultimaker Curassa ja oik. miltä alue näyttää tulostettavassa mallissa.

Ultimaker Curassa voidaan myös siirtää, rotatoida ja skaalata mallia. Asetin mallin kooksi 38 mm saadakseni mahdollisimman suuren määrän yksityiskohtia säilytettyä.



Kuva 53. Mallin skaalaaminen Ultimaker Curassa.

Tulostin kaksi miniatyyriä samoilla asetuksilla, toisen harmaalla ja toisen valkoisella, helmiäismäisellä PLA-filamentilla. Tulostusaika molemmilla tulosteilla oli n. 1h 50min, ja onnistui ongelmitta. Sain apua tulostukseen ja ohjeistusta tulostimien käyttöön kirjaston työntekijöiltä Hannu Ikolalta ja Reetta Ramokselta.



Kuva 54. Tuloste ennen tukirakenteiden liuotusta.

Kuten aiemmin mainittu tässä työssä, PVA on vesiliukoinen tukimateriaali. Liuotukseen käy mikä tahansa sopivan kokoinen astia. Veden tulee olla lämmintä, mutta tulostusmateriaalin ollessa PLA:ta on suositeltavaa pitää lämpötila alle 35 asteen. Veden tulee missä tahansa tilanteessa olla alle 50 astetta. Liukenemista voi nopeuttaa pitämällä veden liikkeessä, ja irrottamalla tukimateriaali 10 minuutin jälkeen esim. pihdeillä. Jos jätevesi menee vedenkäsittelylaitokseen, vesi voi huoletta kaataa viemäriin liuotuksen jälkeen. Kun liuotusvesi on kaadettu viemäriin, hana kannattaa jättää valuttamaan kuumaa vettä 30 sekuntia putkiston huuhtelemiseksi. (Ultimaker a.) Tukimateriaali irtosi suhteellisen helposti käytyäni muutaman kerran illan aikana puisella tikulla irrottamalla materiaalia, ja jätettyäni sitten tulosteet veteen yöksi. Tukimateriaali pehmenee ensin liimamaiseksi, ja liukenee sitten vähän kerrallaan kokonaan.



Kuva 55. Tulosteet liukenemassa vedessä.

Tulostustarkkuus osoittautui turhan epätarkaksi: tulostuskerrokset olivat selkeästi näkyvillä, ja esim. miekan reuna oli jokseenkin epätasainen. Toisen miniatyyrin miekasta katkesi myöhemmin myös osa tavallisen käsittelyn yhteydessä, joten vastaavanlaiset ohuet osat ovat kenties turhan heikkoja. Koko oli nyt kuitenkin sopiva.



Kuva 56. Vas. harmaa ja helmiäismäinen tuloste, oik. Fantasiapeleistä ostamani D&D-käyttöön sopiva miniatyyri. Keskellä Shapewaysta tilattu tuloste.

Ohuemmilla tulostuskerroksilla ja/tai pienemmillä suuttimilla tulokset voisivat kenties olla paremmat.

5.4 Tulostus Formlabs Form 2 -tulostimella

Espoon Ison Omenan kirjastossa on varattavissa kolme SLA-tulostista, jotka on jaoteltu materiaalien mukaan: standard (suom. standardi), rigid (suom. jäykkä) ja durable (suom. kestävä). Kirjastotyöntekijä Pasi Koljonen suositteli standard-materiaalin käyttöä ja auttoi myöhemmin myös itse tulostuksessa kirjastotyöntekijä Mikko Heiskasen lisäksi. Tulostimen varaus tapahtui varaamo.espool.fi-sivuston kautta. Huom. seuraavat seikat: tulostus SLA-tulostimilla kirjastossa on sallittua vain valvottuna, ja normaalisti miniatyyrien ja figuurien tulostus on kielletty. Sain erityisluvan tulostaa miniatyyrin opinnäytetyötä varten.

Toisin kuin Oodin kirjastossa, tulostimilla ei ollut varausaika rajoituksia. Tulostimia pysyy myös varaamaan yhtä aikaa erityyppisiä, esim. SLA-tulostimen ja FDM-tulostimen varaus yhtä aikaa on mahdollista. Kuitenkaan samantyyppisiä tulostimia ei voi varata yhdelle päivälle useampaa kuin yhden. Tulostimissa ei ole varaus- tai materiaalmaksu-

ja. Tulostimen laserin pisteen koko on 140 mikronia, ja tulostimen tulostuskerroksen koko 25–300 mikronia (Formlabs b).



Kuva 57. Form 2 -tulostin Ison Omenan kirjastossa.

Formlabs Form 2:n ohjelmisto löytyi kirjastolta ja käsitteli sekä SLA- että OBJ-tiedostoja. Toisin kuin FDM-tulostimissa, SLA-tulostimissa ei voi säätää tulosteen täytöstettä. Ellei mallia tee ontoksi, tulostuu se täytettynä. Miniatyuri oli kooltaan sen verran pieni, ettei se ollut ongelma tässä työssä.

Tulostusaika oli n. 3 h 30 min. Jälkikäsitteily aloitettiin ensin pesemällä pois hartsi IPA-altaissa, ensin 10 minuttia yhdessä altaassa ja sitten 10 minuuttia toisessa altaassa. Sitten tukirakenteet postettiin pihdeillä. Sitten tuloste oli UV-käsiteltävä. Jätin oman työni kirjaston UV-kaappiin yöksi, mutta minua ohjeistettiin, että kirjaston UV-kaappia tehokkaampaa olisi asettaa malli suoraan auringonvaloon. Omaan asuntooni ei kuitenkaan tule suoraa auringonvaloa, joten UV-kaappi sopi paremmin tarkoituksiini.

Malli päättyi tahattomasti liian isoksi. Koko-ongelmista huolimatta tuloste tarjosi mahdollisuuden tarkastella SLA-tulostusta, ja miten sen ongelmat mahd. vaikuttaisivat pienempikokoiseen malliin.



Kuva 58. Vas. Ultimaker 3 -tulostimella tehdyt tulosteet. Oik. Formlabs Form 2 -tulostimella tehty tuloste.

Tukirakenteiden katkominen pihdeillä oli vaikeaa mallin tiukemmissa kohdissa, kuten hahmon jalkojen välistä pitkähelmaisen vaateen vuoksi, ja hahmon miekka kärsi tukirakenteiden poistosta. Nämä ongelmat olivat olemassa jo n. 65–70 mm:n korkuisessa mallissa, ja voitane olettaa, että pienemmässä mallissa ongelmat olisivat samat, tosin tämän varmistamiseksi olisi tulostus tehtävä pienemmässä koossa. Kuten FDM-tulosteessa, myös tässä miekka katkesi tavallisen käsittelyn yhteydessä. Voidaan siis päätellä, että vastaavanlaiset esineet tulisi jatkossa tehdä huomattavasti paksumpina.



Kuva 59. Tukirakenteiden jättämiä epätasaisuuksia miekassa ja mallin pinnassa.

Formlabs Form 2 -tulostin on kuitenkin ollut miniatyyritulostajien suuressa suosiossa, jopa siihen pisteeseen asti, että Ison Omenan kirjasto on kieltänyt miniatyyrien ja figuurien tulostamisen SLA-tulostimillaan. Tulostusjälki oli myös siistiä, ja tulostuserroksien jäljet lähestulkoon näkymättömät. Omasta kokeilustani huolimatta voidaan siis päätellä, että SLA-tulostimet soveltuvat hyvin miniatyyrien tulostamiseen. Kokemiani ongelmia voisi välttää ottamalla tukirakenteiden poisto paremmin huomioon mallintamisessa, esim. pieniä rakoja ja ohuita ulokkeita välttämällä. Voi myös olla, että pienemmässä tulosteessa tukirakenteet olisivat suhteessa pienemmät. Ison Omenan kirjaston tulostimet eivät kuitenkaan sovellu tavalliselle kuluttajalle miniatyyrien tulostamiseen aiemmin mainitun kiellon takia. Jos mallintajalla on kuitenkin saatavilla SLA-tulostin, on se vartenotettava vaihtoehto.

6 Pohdinta

Työn tavoitteena oli testata prototyypin tuottamista D&D-miniatyyristä käyttämällä pääkaupunkiseudun julkisia 3D-tulostuspalveluita. Työ sujui hahmon suunnittelun ja veistämisen kannalta jotakuinkin ongelmitta. 3D-veistämisen tekniikat olivat ennestään tuttuja, joten veisto ei itsessään ollut erityisen haasteellista. Joidenkin yksityiskohtien osalta olisi toki voinut toimia toisinkin, esim. mahdollisesti olisi ollut järkevää kokeilla myös aketonin helmaa Zsphere-rankaa tehdessä. Näin olisin saanut paremman kuvan veistoksen lopullisesta ulkonäöstä, veistoksen silhuetista ja veistoksen mittasuhteista.

Tulostimien käyttö osoittautui osittain ongelmalliseksi tuotantoprosessin luonteen vuoksi. Ultimaker 3 -tulostimilla, ainakin niin tiiviillä käytöllä kuin niitä esim. Oodissa käytetään, on taipumusta erinäisiin satunnaisiin ongelmiin tulostuksen aikana, kuten tulosteen irtoamiseen rakennusaluustasta ja suuttimien tukkeutumiseen. Yritin esim. tehdä vertailuksi miniatyyriä Ultimaker 3 -tulostimella matalammalla tulostuserroksella sekä Isossa Omenassa että Oodissa, mutta molemmilla kerroilla PVA-materiaali ei sattumalta toiminut ja mallia ei saatu tulostettua. Kirjastojen henkilökunta oli kuitenkin ystävällistä ja avulaista, ja kirjastoissa tulostaminen on osoittanut kaiken kaikkiaan positiiviseksi ja rakentavaksi kokemukseksi. Shapeways-palvelusta tulostaminen oli helppoa ja jälki laadukasta, mutta tulostaminen käy helposti hyvin kalliiksi eikä tulosteiden tilaaminen ulkomailta ole ekologista.

Työn teossa olisi voinut olla tarkempi aikataulutus, ja tulostamiseen valittuihin tulostimiin olisi mahdollisesti kannattanut tutustua vielä perinpohjaisemmin ennen veistämistä

ja tulostamista. Tulostusprosessin olisi varsinkin Formlabs Form 2 -tulostimen käytön osalta voinut dokumentoida tarkemmin. Ongelmat tulosteiden koossa (liian pieni ja liian suuri tuloste) myös vaikeuttivat tulosten vertailua.

Mahdollisuuksia muihin tutkimuksiin olisi esim. massatuotannon parissa. Tämä työ keskittyi yksittäisten kappaleiden tuottamiseen, mutta jos tavoitteena olisi useiden kappaleiden tuottaminen, olisi syytä tarkastella mahdollisuutta tulostaa yksi prototyyppi ja tehdä sen pohjalta sitten muotti, jonka avulla valaa tarpeellinen määrä kappaleita. Pääkaupunkiseudun julkisissa 3D-tulostuspalveluissa on myös enemmän vaihtoehtoja kuin tässä työssä oli halutun tulosteen kannalta järkevää tutkia. Voisi olla hyödyllistä koota kattavampi lista kaikista saatavilla olevista julkisista palveluista ja vertailla niiden saatavuutta, materiaaleja ja muita ominaisuuksia. Palveluita tulee myös jatkuvasti lisää, esim. Oodiin on suunnitteilla lisää 3D-tulostusmahdollisuuksia sekä materiaalien että jälkikäsitteilyn suhteen. Miniatyyreistä kiinnostuneen kannattaa myös harkita Heroforge-palvelun käyttöä. Heroforgen työkaluilla voi koota haluamansensa miniatyyrin valmiista kappaleista, ja tilata sitten kokoamastaan miniatyyristä tulosteen. Myös eri tulostusmateriaalien sopivuus miniatyyrien maalaamiseen on tutkimisen arvoista.

Työn teko oli hyvin palkitsevaa, ja olen sittemmin tehnyt useita muita 3D-tulosteita hyödyntämällä pääkaupunkiseudun julkisia palveluita. Aiheeseen tutustuminen oli suhteellisen mutkatonta, ja tarjoaa paljon mielenkiintoisia mahdollisuuksia sekä käytännön esineiden tuottamisen että taiteellisen ilmaisun puolesta.

Lähteet

Armstrong, C. Post processing for FDM printed parts. 3D Hubs. <<https://www.3dhubs.com/knowledge-base/post-processing-fdm-printed-parts>> (Luettu 22.4.2019)

Bazin, G. 1968. The History of World Sculpture. Secaucus: Chartwell.

Clas Ohlson. 3D-tulostin FlashForge Finder 2.0. <<https://www.clasohlson.com/fi/3D-tulostin-FlashForge-Finder-2.0/38-9154>> (Luettu 22.4.2019).

Cover, J. 2010. The Creation or Narrative in Tabletop Role-Playing Games. North Carolina: McFarland & Company, Inc., Publishers.

Crawford, J., Perkins, C., Wyatt, J. 2014. Dungeon Master's Guide. USA: Wizards of the Coast.

Digital School Technical Design College. A History of Computer Graphic Modeling. <<https://www.digitalschool.ca/a-history-of-computer-graphic-modeling/>> (Luettu 20.4.2019).

Earle, J. 1982. An Introduction to Netsuke. 2. painos. Lontoo: Victoria & Albert Museum.

Engländer, F. 2013. Perfect Posing – 1 – Listen to the character... and to physics. Animator Island. <<https://www.animatorisland.com/perfect-posing-1-listen-to-the-character-and-to-physics/?v=f0aa03aaca95>> (Luettu 17.3.2019).

Ewalt, D. 2013 Of Dice and Men: The Story of Dungeons & Dragons and The People Who Play It. New York: Scribner.

Fabian 2018. Top 10 3D Sculpting Programs – The Best Software for Creating Digital Sculptures for 3D Printing. 3D Printing Blog. <<https://i.materialise.com/blog/en/3d-sculpting-programs-for-3d-printing/>> (Luettu 22.3.2019).

Formlabs a. Materials for High Resolution Rapid Prototyping. <<https://formlabs.com/materials/standard/>> (Luettu 22.4.2019).

Formlabs b. Tech Specs. <<https://formlabs.com/3d-printers/form-3/tech-specs/>> (Luettu 22.4.2019).

Gizmodorks. 3D Printer Wood Filament. <<https://gizmodorks.com/wood-3d-printer-filament/>> (Luettu 22.4.2019).

Games, E. 2018. Fused Deposition Modeling (FDM) – 3D Printing Simply Explained. All3DP. <<https://all3dp.com/2/fused-deposition-modeling-fdm-3d-printing-simply-explained/>> (Luettu 17.4.2019).

Heginbotham, C. What is 3D Digital Sculpting? Concept Art Empire. <<https://conceptartempire.com/what-is-3d-sculpting/>> (Luettu 18.4.2019).

Hoffer, C. 2018. 'Dungeons & Dragons' Had Its Biggest Year Ever in 2017. Comicbook. <<https://comicbook.com/gaming/2018/03/14/dungeons-and-dragons-2017-sales/>> (Luettu 15.3.2019).

Hudson, B. 3D Hubs. How to design parts for FDM 3D printing. <<https://www.3dhubs.com/knowledge-base/how-design-parts-fdm-3d-printing>> (Luettu 21.4.2019).

Icv2 2018. Top 5 Roleplaying Games--Fall 2017. <<https://icv2.com/articles/markets/view/39857/top-5-roleplaying-games-fall-2017>> (Luettu 15.3.2019).

Knox, B. 2014. The Visual Rhetoric of Ladu Justice: Understanding Jurisprudence Through 'Metonymic Tokens'. Inquiries Journal 6(5).

<<http://www.inquiriesjournal.com/articles/896/the-visual-rhetoric-of-lady-justice-understanding-jurisprudence-through-metonymic-tokens>> (Luettu 19.4.2019).

Kondo, H. 2019. SLA Post-Processing – The Best Ways to Clean Resin 3D Prints. All3DP. <<https://all3dp.com/2/sla-post-processing-best-ways-to-clean-your-resin-3d-prints/>> (Luettu 21.4.2019).

Lee, P. 2016. Contemporary Assemblage – The Art of Found Objects. <<https://www.widewalls.ch/contemporary-assemblage-art/>> (Luettu 21.4.2019)

Lehtinen, K., FIRPA 2014. Trilingual Glossary. FIRPA ry, Finnish Rapid Prototyping Association. <http://www.firpa.fi/html/sanasto_html.html> (Luettu 22.4.2019).

Lonjon, C. 2017. The history of 3d printer: from rapid prototyping to additive fabrication. Sculpteo. <<https://www.sculpteo.com/blog/2017/03/01/whos-behind-the-three-main-3d-printing-technologies/>> (Luettu 22.4.2019).

Loughborough University a. Additive Manufacturing Research Group. About Additive Manufacturing. What is AM? <<https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/whatisam/>> (Luettu 22.4.2019).

Loughborough University b. Additive Manufacturing Research Group. About Additive Manufacturing. Sheet Lamination. <<https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/sheetlamination/>> (Luettu 21.4.2019).

Mackie, H. Bronze casting. <<https://hamishmackie.com/about-hamish/bronze-casting/>> (Luettu 3.5.2019)

The Miniature Page. Hobby Reference. <<http://theminaturespage.com/ref/scales.html>> (Luettu 15.3.2019).

PlasticsEurope. Thermoplastics. <<https://www.plasticseurope.org/en/about-plastics/what-are-plastics/large-family/thermoplastics>> (Luettu 20.4.2019).

Raise3D. Pro 2 3D Printer. <<https://www.raise3d.eu/products/pro2-3d-printer%20>> (Luettu 21.4.2019)

Redwood, B. Additive Manufacturing Technologies: An Overview. 3D Hubs. <<https://www.3dhubs.com/knowledge-base/additive-manufacturing-technologies-overview>> (Luettu 22.4.2019).

Steen, D. Post processing for SLA printed parts. 3D Hubs. <<https://www.3dhubs.com/knowledge-base/post-processing-sla-printed-parts>> (Luettu 21.4.2019).

The J. Paul Getty Museum. 4 Basic Sculpture Techniques. <http://www.getty.edu/education/teachers/classroom_resources/curricula/sculpture/background2.html> (Luettu 21.4.2019).

Tokiwa, Y., Calabia, B., Ugwu, C., Aiba, S. 2009. Biodegradability of Plastics. International Journal of Molecular Science 10(3730).
<<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2769161/pdf/ijms-10-03722.pdf>> (Luettu 22.4.2019)

Ultimaker a. How to dissolve PVA. <<https://ultimaker.com/en/resources/23089-how-to-dissolve-pva>> (Luettu 23.4.2019).

Ultimaker b. Ultimaker 3. <<https://ultimaker.com/en/products/ultimaker-3>> (Luettu 21.4.2019)

Ultimaker c. Ultimaker PVA. <<https://ultimaker.com/en/products/materials/pva>> (Luettu 22.4.2019)

Varaamo a. Espoo, Iso Omena.
<<https://varaamo.espooli.fi/resources/au6es2jpiwq?date=2018-08-26>> (Luettu 23.4.2019).

Varaamo b. Helsinki, Oodi. <<https://varaamo.helsinki.fi/search?search=oodi>> (Luettu 23.4.2019).

Varotsis, A. a. Introduction to FDM 3D printing. 3D Hubs.
<<https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-fdm-3d-printing>> (Luettu 20.4.2019).

Varotsis, A. b. Introduction to SLA 3D printing. 3D Hubs.
<<https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-sla-3d-printing>> (Luettu 20.4.2019).

Varotsis, A. c. Introduction to SLS 3D printing. 3D Hubs.
<<https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-sls-3d-printing>> (Luettu 22.4.2019).

Victoria & Albert Museum a. A History of the Portrait Miniature.
<<http://www.vam.ac.uk/content/articles/h/a-history-of-the-portrait-miniature/>> (Luettu 22.4.2019).

Victoria and Albert Museum b. Sculpture Techniques.
<<http://www.vam.ac.uk/content/articles/s/sculpture-techniques/>> (Luettu 21.4.2019).

Weiss, J. 2014. Dungeons & Dragons had its biggest sales in year 2017. SYFY WIRE.
<<https://www.syfy.com/syfywire/dungeons-dragons-had-its-biggest-sales-year-in-2017>> (Luettu 15.3.2019).

Winfield, R. 2002. The Classical Nude and the Limits of Sculpture. Revue internationale de philosophie 56(221), 443-460.

Wizards of the Coast. Forty Years of Adventure. <<http://dnd.wizards.com/dungeons-and-dragons/what-dd/history/history-forty-years-adventure>> (Luettu 22.4.2014).

Wohlers, T. 2005. Rapid Prototyping, Tooling & Manufacturing State of the Industry. <<http://www.wohlersassociates.com/history.pdf>> (Luettu 3.4.2019).

Wyatt, J., Schwalb, R., Cordell, B. 2014. Player's Handbook. USA: Wizards of the Coast.

Yeap, M. 2019. 6 Best 3D Sculpting Software Tools in 2019 (3 are free). All3DP. <<https://all3dp.com/2/6-best-3d-sculpting-software-tools-4-are-free/>> (Luettu 16.3.2019).

Kuvalähteet

Kuva 1. Hitchcock, D. 2008. The Venus of Willendorf. Don's Maps. <<https://www.donsmaps.com/willendorf.html>> (Luettu 22.4.2019).

Kuva 2. Schipperheyn, P. Peter Schipperheyn's Blog. Works in Progress. <<https://peterschipperheynsculptor.wordpress.com/works-in-progress/>> (Luettu 20.4.2019).

Kuva 3. Mackie, H. Bronze casting. <<https://hamishmackie.com/about-hamish/bronze-casting/>> (Luettu 20.4.2019).

Kuva 4. Kern, B. 2015. New Sculptures! Brett Kern Art. <<http://brettkernart.com>> (Luettu 22.4.2019).

Kuva 5. Lee, P. 2016. Contemporary Assemblage – The Art of Found Objects. <<https://www.widewalls.ch/contemporary-assemblage-art/>> (Luettu 21.4.2019).

Kuva 6. Varotsis, A. 3D Hubs. Introduction to FDM 3D printing. <<https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-fdm-3d-printing>> (Luettu 20.4.2019).

Kuva 7. Viljamaa, L. 2019.

Kuva 8. Varotsis, A. Introduction to SLA 3D printing. 3D Hubs. <<https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-sla-3d-printing>> (Luettu 20.4.2019).

Kuva 9. Wizards of the Coast 2015. Media resources. <<http://dnd.wizards.com/articles/media-resources>> (Luettu 22.4.2019).

Kuva 10. Viljamaa, L. 2019. Kuvassa olevat hahmokortit ovat Dungeons & Dragons Start Setistä. Hahmokortit TM & © 2014 Wizards of the Coast LLC.

Kuva 11. Senater, N. Netsuke Carver & Goldsmith. <<https://nikysenater.com/2013/04/21/sleeping-mouse/>> (Luettu 22.4.2019).

Kuva 12. Middle-Earth Strategy Battle Game. <<https://middle-earthstrategybattlegame.com>> (Luettu 22.4.2019).

Kuva 13. Viljamaa, L. 2019.

Kuva 14. Nickels, J. 2019.

Kuva 15. Viljamaa, L. 2019.

Kuva 16. Wyatt, J., Schwalb, R., Cordell, B. 2014. Player's Handbook. USA: Wizards of the Coast.

Kuvat 17-46. Viljamaa, L. 2019.

Kuva 47. Ultimaker. Print core installation. <<https://ultimaker.com/en/resources/23111-print-core-installation>> (Luettu 23.4.2019).

Kuvat 48-49. Viljamaa, L. 2019.

Kuva 50. Varotsis, A. Introduction to FDM 3D printing. 3D Hubs. <<https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-fdm-3d-printing>> (Luettu 23.4.2019).

Kuva 51-59. Viljamaa, L. 2019.