

Laura Paulasaari

## **Ekologinen 3D-tulostettava asuste**

Opinnäytetyö

Kevät 2014

Liiketalouden ja kulttuurin yksikkö

Muotoilun koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Liiketalouden ja kulttuurin yksikkö

Koulutusohjelma: Muotoilun koulutusohjelma

Suuntautumisvaihtoehto: Lifestyle-muotoilu

Tekijä: Laura Paulasaari

Työn nimi: Ekologinen 3D-tulostettava asuste

Ohjaaja: Merja Juppo, Vuokko Takala-Schreib

Vuosi: 2014 Sivumäärä: 57 Liitteiden lukumäärä: 3

---

Tämän opinnäytetyön aiheena oli ekologisuus 3D-tulostuksessa ja sen hyödynnettävyys erityisesti asustesuunnittelussa. Työn tarkoituksena oli selvittää, kuinka 3D-tulostusta voi tehdä ekologisemmin ja mitä vaihtoehtoja kuluttajalle tällä hetkellä on. Työ tehtiin Young skills –osuuskunnalle.

3D-tulostuksella on mahdollisuus antaa todella paljon tulevaisuuden tuotantomenetelmille ja se vapauttaa tuotteiden muotoilua täysin uudella tavalla. 3D-tulostuksen avulla voidaan keskittyä enemmän esimerkiksi tuotteen esteettisyyteen ja ergonomiaan ilman, että tuote tarvitsee suunnitella ottaen huomioon muotien asettamia rajoituksia.

Ekologisuuden käsite on hyvin laaja ja se riippuu usein siitä, miltä kannalta asiaa katsoo. Vaikka 3D-tulostuksen avulla hukkamateriaalin määrä vähenee, on sen käyttämä energiamäärä 3D-tulostinten ekologinen ongelma. Tällä hetkellä kuluttajille on tarjolla rajatusti vaihtoehtoja ekologisista 3D-tulostusmateriaaleissa ja yksi ongelmista on, etteivät ekologisista materiaaleista ole saatu niin kestäviä, jotta ne olisivat kilpailukykyisiä suhteessa muihin epäekologisiin materiaaleihin. Toinen yleinen ongelma on, että uudet materiaalit on tehty sopimaan vain yrityksen omiin laitteisiin. Tulevaisuudessa uusien materiaalien kehittäminen saattaa perustua avoimempaan käytäntöön, jolloin uudet materiaalit soveltuvat paremmin erilaisiin 3D-tulostimiin ja kuluttaja saa tarpeeksi tietoa uuden materiaalin ominaisuuksista, jolloin niiden käyttöönotto on helpompaa.

Tuotteen ekologisuuteen voidaan vaikuttaa käyttämällä mahdollisimman vähän materiaalia, jolloin tuotteesta saadaan myös edullisempi. Tekemällä tuotteesta ontton, skaalaamalla pienemmäksi, kaivertamalla ja tulostamalla useampia kappaleita samaa aikaa voidaan säästää materiaalikuluisissa ja tuotantoajoissa, jolloin tuotteesta saadaan ekologisempi ja edullisempi.

Työhön suunniteltiin esimerkinomainen ekologinen asuste, jonka teemana oli skandinaavinen mytologia. Asuste suunniteltiin niin sanotusti rautalankamalliksi, jotta siihen kulutettaisiin mahdollisimman vähän materiaalia.

Avainsanat: 3-tulostus, 3D-malli, Ekologisuus, Asustesuunnittelu

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## Thesis abstract

Faculty: School of Business and Culture

Degree programme: Design

Specialisation: Lifestyle Design

Author/s: Laura Paulasaari

Title of thesis: Ecological 3D printed accessory

Supervisor(s): Merja Juppo, Vuokko Takala-Schreib

Year: 2014      Number of pages: 57      Number of appendices: 3

---

The goal of this thesis was to study ecological 3D printing and its usability particularly in apparel design. The purpose was to find how to make 3D printing more ecological and what choices does the consumer have at the moment. Thesis was done for Young skills –cooperative.

3D printing has a change to give a lot for the future of production methods and it releases the product design in a whole new way. 3D printing can be used, for example, to focus more on product aesthetics and ergonomics, without the need to design a product taking into account the limitations imposed by molds. Concept of ecodesign is very extensive and it often depends on the point of view. Although 3D printing reduces the waste material, it is the amount of energy used by 3D printers that is their ecological problem. At the moment, consumers have limited amount of alternative material choices for ecological 3D printing materials. One of the problems is that the ecological materials have not been able to design so durable, that they would be competitive in relation to other non-ecologically materials. Another common problem is that the new materials are made to fit only the company's own equipment. In the future, the development of new materials may be based on a more open practice, so that new materials are more suitable for a variety of 3D printers and the consumer can get enough information about the properties of the new greener material, in which case their implementation is easier.

Product ecology may be affected by using as little material, which makes the product also cheaper. By designing hollow parts, scaling down the model, engraving and printing multiple copies at the same time save can consumer save in material costs and production time, that makes the product greener and more cost efficient.

The exemplary ecological and 3D printed accessory wear was designed on the theme of Scandinavian mythology for this thesis. Wireframe model was chosen to be least material consuming giving model more interesting surface compared to completely solid surface.

Keywords: 3D printing, 3D model, ecological, accessorial design

## SISÄLLYSLUETTELO

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	1
Thesis abstract.....	2
SISÄLLYSLUETTELO .....	3
Kuvio- ja kuvaluettelo .....	5
Käytetyt termit ja lyhenteet .....	6
1 JOHDANTO .....	8
2 YHTEISTYÖKUMPPANI JA VIITEKEHYS .....	9
2.1 Yhteistyökumppanin esittely.....	9
2.2 Työn tausta ja viitekehys.....	9
3 TEKNIikka JA MUOTIMAAILMA.....	12
3.1 3D-grafiikka ja 3D-mallin rakentamisen perusteet.....	12
3.2 3D-tulostamisen perusteet .....	14
3.3 3D-tulostuksen edut .....	16
3.4 3D-tulostuksen käyttö.....	17
3.4.1 3D-tulostuksen mahdollisuudet muoti- ja asustesuunnitteluun.....	17
3.4.2 3D-tulostus saapuu catwalkeille.....	21
3.5 Vaikutus suomalaiseen asustesuunnitteluun .....	24
4 TEKNIikka JA EKOLOGISET ARVOT .....	26
4.1 Ekologisuuden määritelmä.....	26
4.2 Käytettävissä olevien materiaalien ominaisuudet ja ongelmat .....	29
4.3 Ekotulostus kierrättäen.....	32
4.4 Ekotuotteiden selviämismahdollisuudet .....	33
4.5 Tulevaisuuden ekotulostus.....	34
5 PROTOPRINTIN EKOTULOSTUS.....	36
6 EKOLOGISEN 3D-MUOTOILUN 6 SÄÄNTÖÄ.....	39
7 EKOLOGISEN ASUSTEEN SUUNNITTELU.....	40
7.1 Ideointi .....	40
7.2 Luonnostelu .....	41

7.3 Mallintaminen .....	43
7.4 Valmis konsepti .....	45
8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA .....	47
LÄHTEET .....	49
LIITTEET .....	53

## Kuvio- ja kuvaluettelo

Kuvio 1 Opinnäytetyön viitekehys .....	11
Kuva 1 Ensimmäinen 3D-tulostettu proto: Sinisorsan malli.....	9
Kuva 2 Mallissa näkyvät violetilla avoimet reunat .....	13
Kuva 3 Valmiin kappaleen tilavuusmalli .....	13
Kuva 4 Valmis 3D-tulostettu espressokuppi.....	14
Kuva 5 Malli pilkotaan kerroksiin, josta lopullinen tuote rakentuu .....	14
Kuva 6 Threeformin Lotus-toppi tehdään käyttäjänsä mittoihin ja 3D-tulostaen (Lotus top 9.7.2011).....	19
Kuva 7 Scherfdesignin kengissä ovat titaanikorot (Scherfdesign blogi 4.12.2013).....	20
Kuva 8 Iris van Herpenin pukuja (Crystallization 2010; Escapism 2011). .....	22
Kuva 9 Catherine Walesin asuja (Catherine Wales 2013). .....	23
Kuva 10 3D-tulostuksen avulla asut voidaan räätälöidä käyttäjänsä muotoihin (Duann 5.2.2013; Duann 10.12.2013).....	23
Kuva 11 PrintGreenin tulostusmassaa.....	31
Kuva 12 Solar sinterin täysin ekologisesti tuotettu ja 3D-tulostettu astia .....	35
Kuva 13 Ideointi kuvia.....	40
Kuva 15 Mallin pintaluonnos .....	41
Kuva 14 Mallin luonnoksia .....	41
Kuva 16 Ideakuvakollaasi mallista .....	42
Kuva 17 Harjoituksia 3D-mallin pinnan muokkaamisesta .....	43
Kuva 18 3D-mallin luonnoksia.....	44
Kuva 19 Valmiin 3D-mallin sivuprofiili .....	45
Kuva 20 Valmiin 3D-mallin päälikuva.....	45
Kuva 21 Valmis 3D-malli edestä ja takaa.....	46
Kuva 22 Valmiin 3D-mallin perspektiivikuva .....	46

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>2D</b>	Kaksiulotteinen. Sisältää kaksi ulottuvuutta: pituuden ja leveyden (Jokinen 2010, 1).
<b>3D</b>	Kolmiulotteinen kappale sisältää kolme ulottuvuutta: pituuden, leveyden ja korkeuden (Jokinen 2010, 1).
<b>CAD</b>	Eng. Computer Aided Design, joka suomennettuna tarkoittaa tietokoneavusteista suunnittelua (Lyhenneluettelo 2013).
<b>DWG</b>	2D ja 3D mallien yleistallennusmuoto.
<b>FDM</b>	Eng. Fused deposition modeling. Tulostusmenetelmä, joka on suhteellisen yleinen kotitulostimissa. (Faludi 2013) Tulostin toimii kuumaliimapistoolin tavoin ja pursottaa ke- lasta muovinauhaa.
<b>Inkjet</b>	Stratasyksen kehittämä tulostusmenetelmä, jossa tulostin tulostaa ohuen kerroksen polymeeri-mustetta ja kovettaa sen uv-valolla (Faludi 2013).
<b>Massaräätälöinti</b>	Sarjatuotannon ja räätälöinnin yhdistelmä, jolla pyritään tarjoamaan asiakkaille lähes massatuotannon hinnalla yksilöllisempiä tuotteita pilkkomalla tuotteen ominaisuudet osiin, joita vaihtamalla rajatuilla vaihtoehdoilla saadaan tuotteesta monia erilaisia variaatioita.
<b>STL</b>	3D-tulostuksessa yleisesti käytetty ns. alan yleistallennusmuoto, jota tulostimet usein käyttävät (France 2014, 5).
<b>Tilavuusmalli</b>	3D-mallien yksi perustyyppi yksinkertaisempien rautalan- kamallien ja pintamallien ohella. (Jokinen 2010, 2-3) Tila- vuusmalli kuvaa parhaiten kappaleen todellista ulkonäköä

ja pystyy ainoana näistä perustyypeistä kuvaamaan myös kappaleen poikkileikkaukset ja yksityiskohdat.



# 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on tutkia, miten ekologiset arvot voidaan yhdistää 3D-tulostukseen ja mitä erityisiä etuja tästä voisi olla Jurvan Young Skills – osuuskunnalle, jonka uusimpana palveluna on tarjota 3D-tulostusta. Työssä selvitetään, voiko esimerkiksi materiaaleja vaihtaa ekologisemmiksi ja millä muilla keinoilla 3D-tulostus voitaisiin tehdä entistä ekologisemmaksi. Työssä on tarkoitus tuottaa myös lyhyt ekologisen suunnittelijan ohjeistus.

Lisäksi työssä selvitetään, mitä uusia ulottuvuuksia ja mahdollisuuksia 3D-tulostus tuo tuotesuunnitteluun ja erityisesti muoti- ja asustemuotoiluun. Tutkimuksen lopuksi on tarkoitus tuottaa esimerkinomaisesti asuste mahdollisimman ekologisilla periaatteilla ja käyttää hyödyksi erityisesti tietoja, joita 3D-tulostus mahdollistaa asustesuunnitteluun.

Tiivistin tutkimuskysymyksiksi tälle opinnäytetyölle:

Miten ekologiset arvot voidaan yhdistää 3D-tulostukseen?

Mitä uusia ulottuvuuksia ja mahdollisuuksia tulostus tuo tuotesuunnitteluun?

## 2 YHTEISTYÖKUMPPANI JA VIITEKEHYS

### 2.1 Yhteistyökumppanin esittely

Young Skills on muotoilijoiden osuuskunta Jurvassa, joka sijaitsee Sisustuskeskus Sellan ja Seinäjoen ammattikorkeakoulun tiloissa ja tarjoaa asiakkailleen erilaisia muotoilu- ja tuotekehitysalan palveluita, kuten konseptisuunnittelua, 3D-mallinnusta, mallistosuunnittelua ja tuoteprototyyppien valmistusta. (Young Skills osuuskunta 2012) Young Skills osuuskunnan erikoispalveluihin kuuluvat myös vesileikkaus ja uutena palvelutarjontana myös 3D-tulostus.

Young Skillsin 3D-tulostin on tarkka Object 30 Pro, jonka materiaalitarronta kattaa tällä hetkellä valkoisen, mustan, harmaan, sinisen ja läpinäkyvän fotopolymeerit sekä korkeita lämpötiloja kestävä RGD525 materiaalin, joka sopii ihanteellisesti esimerkiksi erilaisten osien lämpötestaukseen paremman suorituskykynsä vuoksi (Objet30 Pro Specifications 2014).

Young Skillssin käytössä olevaa tulostinta myy Yhdysvalloissa toimiva Stratasys, joka on ollut alallaan edelläkävijä pitkän kokemuksensa vuoksi.

### 2.2 Työn tausta ja viitekehys

Kiinnostus 3D-tulostusta kohtaan heräsi noin vuosi sitten kun Jurvan Young Skills osuuskunta hankki 3D-tulostimen, jota pystyi käyttämään tuotesuunnittelun ja protojen teon tukena muotoilun opinnoissa. Tulostinta esiteltiin ja sen toimintaperiaatteista kerrottiin luennoilla, jolloin sitä oli pakko päästä kokeilemaan. Oli mahtavaa katsella itse mallinnetun tuotteen tulostusta ja pitää viimein kädessä ensimmäistä 3D-tulostettua protoa (Kuva 1). Halusin myös opinnäytetyöni keskittyvän



Kuva 1 Ensimmäinen 3D-tulostettu proto: Sinisorsan malli

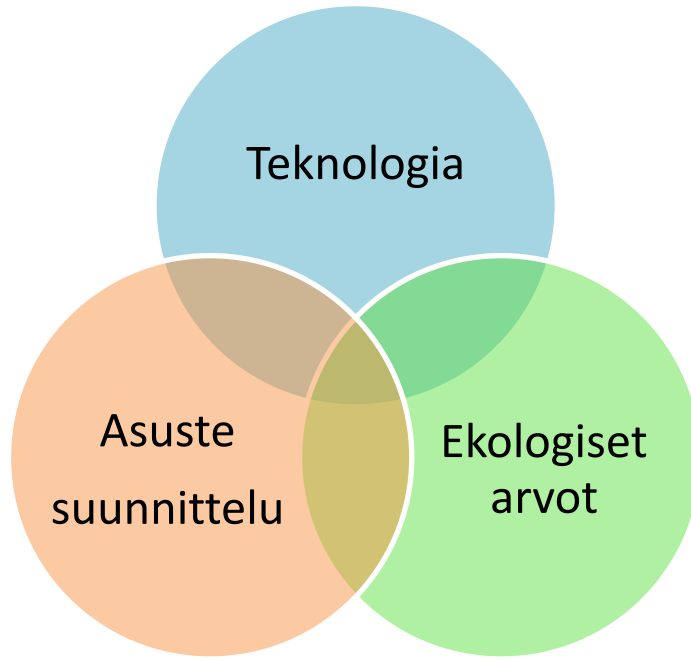
tälle alalle, joka oli uusi ja kiinnostava ja josta halusin lisää tietoa.

3D-tulostus on ollut mediassa esillä paljon syksystä 2013 lähtien. Laitteita on esitelyä niin TV:ssä kuin lehdissä. 3D-tulostuksen mahdollisuuksia ollaan kuvailtu rajattomiksi ja sen on arveltu uudistavan tuotantotavat täysin.

Halusin vielä rajata opinnäytetyön aihetta, sillä pelkästään 3D-tulostetuista tuotteista löytyy jo runsaasti tietoa. Arvostan paljon ekologisia arvoja ja olen pyrkinyt omilla ostopäätöksillä toteuttamaan sitä suosimalla luomua ja kotimaisia tuotteita. Olen kiinnostunut tuotteiden alkuperästä ja niiden ekologisesta jalanjäljestä. Ekologisesti katsoen tulevaisuuden skenaario, jossa 3D-tulostimet löytyvät jokaisesta kotitaloudesta ja josta voisi vaikka jokaiseksi illaksi tulostaa itselleen uudet kengät, epäilyttää. Tällä hetkellä käytetyt materiaalit kun ovat yleensä muoveja, joiden kierrätysmahdollisuudet ovat rajalliset. Mielestäni teknologia ja ekologisuus eivät kuitenkaan sulje toisiaan pois ja jos 3D-tulostuksen mahdollisuudet ovat rajattomat, halusin selvittää, kuinka rajattomat ne ovat ekologisesti katsoen.

Lifestyle-muotoilijana myös trendit ja muoti kiinnostavat ja halusin päästä suunnittelemaan opinnäytetyöhöni liittyen asusteen, jonka pystyisi tulostamaan 3D-tulostimesta, mutta tässä tapauksessa mahdollisimman ekologisesta.

Tämä opinnäytetyö keskittyy kolmen aihepiirin leikkauspisteeseen (kuvio 1), eli miten teknologia, ekologiset arvot ja asustesuunnittelu yhdistyvät 3D-tulostamisessa ja miten näistä tuloksista voisi olla hyötyä Young Skills –osuuskunnalle toteuttamaan myös heidän arvostamiaan ekologia arvoja.



Kuvio 1 Opinnäytetyön viitekehys

## 3 TEKNIikka JA MUOTIMAAILMA

### 3.1 3D-grafiikka ja 3D-mallin rakentamisen perusteet

Jokisen (2010, 1) mukaan kolmiulotteinen piirtäminen tapahtuu siihen tehdyillä erityisohjelmistoilla, jossa kuvassa on kolme eri ulottuvuutta: pituus, leveys ja korkeus. Se on 2D-kuvaa visuaalisempi ja realistisempi, sillä 3D-piirrosta voidaan tarkastella perspektiivissä, toisin kuin kaksiulotteista kuvaa, joka sisältää vain kaksi ulottuvuutta: pituuden ja leveyden. 3D-piirtämistä taas kutsutaan mallintamiseksi, sillä se on perinteisen piirtämisen sijaan tyypillisesti enemmän erilaisten geometristen muotojen kasaamista ja liittämistä sekä niiden muokkaamista, esimerkiksi rei'in, pyörityksin ja viistein kolmiulotteisessa avaruudessa.

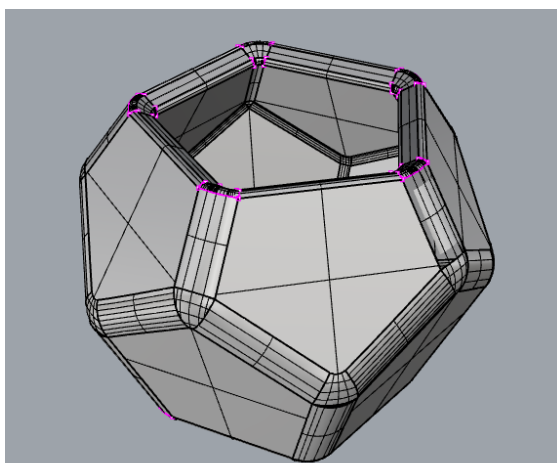
Ennen kappaleen viemistä tulostimeen, kappaleen täytyy olla tulostettava. Lipson ja Kuman (2013,12) mukaan suurimman haasteen tulostamiseen tuo laadukkaan mallin rakentaminen eli mallintajan taito tehdä mallista tulostettava. 3D-malli on suhteellisen helpompi saada aikaan, mutta tulostaessa kappale tarvitsee pelkkien pintojen lisäksi myös oikeanpaksuisia seinämiä. 3D-tulostin osaa tulostaa vain sille syötettyä informaatiota, joten jää mallintajan vastuulle tietää, ovatko esimerkiksi kappaleen seinämät tarpeeksi vahvat, ettei tuote hajoa heti tulostettaessa.

Osa huomioista tarvitsee tehdä jo ennen kappaleen mallintamisen aloittamista. Mallintajan tarvitsee esimerkiksi varmistaa 3D-tulostusalueen äärimitat eli kuinka suuri malli voi olla. 3D-tulostimien tulostuspinta-ala ja kapasiteetti vaihtelevat pienistä n.110\*110 mm mikrotulostimien tulostusaloista suuriin jättitulostimiin, jotka pystyvät tulostamaan jopa taloja (Tech Specs 2014; Khoshnevis 2012). Lisäksi tarvitsee tietää, missä muodossa 3D-tulostin pystyy vastaanottamaan tiedostoja, jotta tiedoston toleranssi, tarkkuus, voidaan asettaa halutulle tasolle (Preparing Rhino files for 3D printing 2009). Vaikka tulostimen ala on todellisuudessa jotain näiden esimerkki ääripäiden väliltä, on aina hyvä pyrkiä välttymään loppuvaiheiden yllätyksiltä.

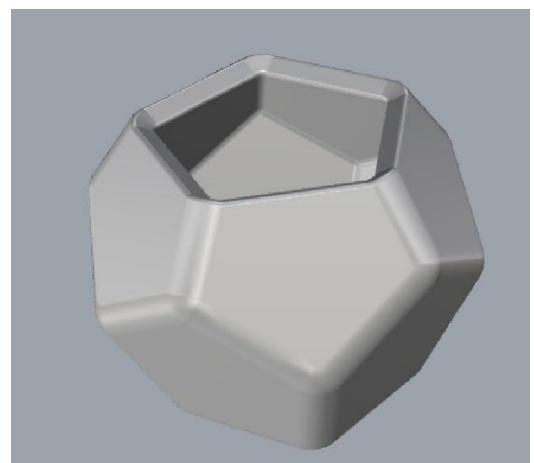
Tärkeimmät huomiot 3D-mallin kannalta sen tulostettavuudessa ovat huonot objektit (eng. bad objects) ja avoimet reunat (eng. naked edges). Ainakin Rhinoce-

ros-ohjelmiston voi asettaa varoittamaan, kun ns. huono objekti on tehty, jolloin mallintaja voi korjata sen heti eikä etsiä kyseistä huonoa objektiä lopuksi, jolloin se saattaa viedä suuren osan aikaa. Huono objekti on esimerkiksi suorakulmio, jossa yksi kulma on jäänyt auki. Tulostettavan kappaleen täytyy olla myös tiivis ja yhtenäinen. Mikäli mallinnus on avoin, on malli pelkästään pintaa ilman sisältöä eikä siis tulostettavissa. Avoin reuna saattaa syntyä esimerkiksi kun kaksi kappaletta eivät kohtaakaan täysin ja jokin reuna jää ns. ilmaan eikä malli ole enää tiivis (Preparing Rhino files for 3D printing 2009). Esimerkkikuvina on tässä kappaleessa käytetty omaa aikaisempaa projektia, jossa tulostin keraamisen espressokupin. Kuvassa 2 näkyvät kappaleen avoimet reunat, jolloin malli jää auki eikä ole tiivis, eikä näin ollen myöskään tulostettava. Kuva 3 esittää korjatun kappaleen tilavuusmallia.

Kun malli on koottu ja korjattu ja siitä on tehty täysin tiivis ja yhtenäinen, on aika alkaa tuoda mallia tulostimeen. Malli tallennetaan tulostimen ymmärtämään muotoon, joka selvitetään tulostimen asetuksista. STL-muoto on 3D-tulostuksessa hyvin yleinen, Young Skills –osuuskunnan Object 30 Pro lukee suoraan DWG-muotoisia malleja. Erillinen ohjelmisto pilkkoo mallin kerroksiin, jotta tulostin tulostaa, kuten kuvassa 4. Kerrokset ovat tosin vain millin murto-osan paksuja. Tyypillinen kerrospaksuus joitain millimetrin tuhannesosia, jolloin mallista voidaan saada todella tarkka (Objet30 Pro specifications 2014). Kuvassa 5 on valmis 3D-tulostettu espressokuppi, joka on tulostettu keramiikkamassasta.



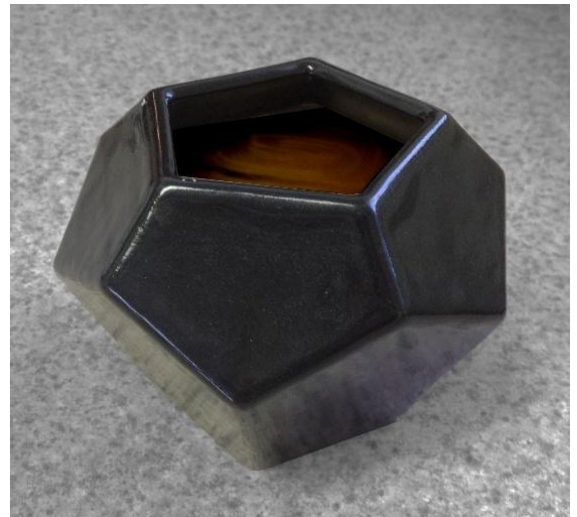
Kuva 2 Mallissa näkyvät violetilla avoimet reunat



Kuva 3 Valmiin kappaleen tilavuusmalli



Kuva 5 Malli pilkotaan kerroksiin, josta lopullinen tuote rakentuu



Kuva 4 Valmis 3D-tulostettu espressokuppi

### 3.2 3D-tulostamisen perusteet

3D-tulostimilla on jo lähes 30-vuotinen historia, mutta ne ovat tulleet suureen julkisuuteen vasta lähivuosina kehittyttyään tehokkaammiksi ja edullisemmiksi. Tämä on mahdollistanut myös sen, että yksityisillä kuluttajilla on mahdollisuus ostaa kotikäyttöinen 3D-tulostin. New Yorkin 2014 3D Printshow –messuilla esiteltiin esimerkiksi pieni, vain kilon painoinen M3D-mikroprintteri, jonka tulostusala oli 109mm \* 113mm ja hinta noin 150 euroa (Tech Specs 2014). 3D-tulostimien helppous on mullistanut tuotantotavat ja ne tulevat muokkaamaan arkipäiväämme yhä enemmän tulevaisuudessa. Tälläkin hetkellä 3D-tulostettuja kappaleita on ympärillämme yllättävän paljon, sillä esimerkiksi automme konepelti on muotoiltu 3D-tulostettujen protojen avulla ja tulostetut polvinivelet liikuttavat kansaa joka puolella maailmaa (Lipson & Kurman 2013, 9,13). Lääketeollisuus on ollut yksi merkittävimmistä 3D-tulosteiden käyttäjistä jo pitkään, seuraava alavaltaus voisikin olla muotiteollisuus.

Mutta miten itse 3D-tulostin sitten toimii? Barnat (2013, 3-4) kertoo toimintaperiaatteen on yksinkertaistettuna samanlainen kuin tavallisessa kotitulostimessa, jossa tulostin tulostaa paperiarkille kerroksen mustetta. 3D-tulostin on periaatteessa tästä vain kehittyneempi muoto, jossa lisätyn kerroksen jälkeen tulostin tekee uusia kerroksia kunnes kappale saa kolmiulotteisen muodon.

Lipson & Kuman (2013, 11-12) mukaan 3D-tulostamisen teknisempi nimi on "materiaalia lisäävä valmistus", joka kuvaa itse tulostusprosessia paremmin. 3D-tulostin toimii yhteistyössä tietokoneen kanssa, sen rooli tulostamisessa on ehkä tärkein, sillä se välittää tulostimelle kaiken sen tarvitseman tiedon. Itse tulostin toimii tietokoneen välittämien käskyjen perusteella ja sen suutinpää ruiskuttaa tai kiinteyttää jauhettua, sulaa tai nestemäistä materiaalia ohuen kerroksen. Kun edellinen kerros on sulanut, tulostin tulostaa sen päälle uuden ohuen kerroksen. Hyvin ohuista kerroksista alkaa vähitellen muodostua kolmiulotteinen kappale.

Osa koneista käyttää apunaan tukiaineita, osa rakentaa kappaleen ilman. Erilaisia laitteistoja on satoja ja niitä tulee jatkuvasti alan kehittyessä lisää. Jokaisessa laitteessa on hieman omanlainen toimintataktiikka, mutta laitteiden periaate rakentaa kappale ohuista kerroksista on kuitenkin kaikissa yleisesti sama, oli materiaalina sitten muovia, suklaata tai betonia (Barnatt 2013, 4).

Tässä työssä puhutaan pääasiassa kahdentyyppisestä 3D-tulostustekniikasta, FDM- ja inkjet-tekniikasta. FDM on lyhenne englannin kielen sanoista fused deposition modeling, joka tarkoittaa mallintamista sulatetuista kerroksista. Faludin (2013) mukaan FDM-tulostin toimii kuumaliimapistoolin tavoin ja se käyttää materiaalinaan kelassa olevaa muovinauhaa. FDM-tekniikka on yleinen kotitulostimisessa. Inkjet-tekniikka on FDM-tekniikan tavoin Stratasyksen kehittämä tulostustekniikka. Faludi kertoo inkjet-tulostimen levittävän ohuen kerroksen polymeerimustetta, jonka tulostuspään perässä tuleva suutin kovettaa uv-valolla. Muun muassa Young skills -osuuskunnan Objet 30 – tulostin käyttää hyödykseen inkjet-tekniikkaa.

Ennen tulostamista tarkistetaan, että kaikki osat ovat tiiviitä ja yhteydessä toisiinsa ja että mallissa ei ole tarpeettomia ulkonemia, jotka menevät helposti rikki. Tarvittaessa tällaisia ulkonemia voi tulostaa erikseen ja liimata kappaleeseen myöhemmin tai tehdä kappaleisiin erilliset liitoskohdat. Kappale voidaan tulostaa myös osina, mikäli tulostimen tulostusala ei riitä tai kappale tarvitsee koota mallin päälle, kuten esimerkiksi 3D tulostetut asut, jotka tavanomaisesti koostuvat useasta erillisestä kappaleesta.



### 3.3 3D-tulostuksen edut

Lipson & Kuman (2013, 20-23) tiivistävät 3D-tulostuksen pääperiaatteet 10 pääkohtaan:

- Monimutkaisuus on ilmaista. Kun perinteisillä tuotantotavoilla muotojen monimutkaisuus on vaivalloisempaa tuottaa ja näin myös kalliimpaa, 3D-tulostaen muodon monimutkaisuus ja yksinkertaisuus maksavat saman verran.
- Monimuotoisuus on ilmaista. Tulostaen voidaan tehdä mitä muotoja vain, vaikka jokaisella kerralla erilainen.
- Kokoonpanoa ei tarvita. 3D-tulostin pystyy tulostamaan valmiita muotoja, jossa on liikkuvia osia samalla kerralla näin lyhentäen esimerkiksi tuotantoaika.
- Varastokustannukset vähenevät kun tuotteet voidaan tulostaa kysynnän ilmaantuessa.
- Rajaton työkenttä, jota eivät rajoita työkalut.
- Pitkää kokemusta tuotannosta ei tarvita.
- Kompakti ja mukana kulkeva tuotanto.
- Vähemmän hukkamateriaalia tuotetta kohti.
- Monimateriaalisuus. 3D-tulostimet mahdollistavat erilaisten materiaalien tuottamisen samalla koneella, mutta tulevaisuudessa myös erilaisten materiaalien yhdistelyn samalla tulostuskerralla.
- Täydelliset fyysiset kopiot. Tulevaisuudessa 3D-skannerit ja 3D-tulostimet pystyvät toimimaan yhteistyössä niin, että fyysisiä kappaleita voidaan skannata, muokata tai parannella ja monistaa uudelleen.

Perinteinen tuotanto on ollut yleensä raakamateriaalin leikkuuta ja muottien avulla tapahtuvaa kappaleiden valamista. 3D-tulostaminen vapauttaa tuotannon tästä sekä käsin tapahtuvista miestyötunneista. 3D-tulostin rakentaa kappaleen kerros kerrokselta, jolloin sen muoto vapautuu myös muottien asettamista rajoitteista, jolloin kappaleen muotoilua rajoittavat enemmän materiaalin ominaisuudet kuin muotit. Aalto-yliopiston digitaalisen suunnittelun laboratorion johtaja Kivi Sotamaa kommentoi Helsingin sanomien (Perttu 2.2.2014) haastattelussa 3D-tulostuksen

vaikutuksia muotoiluun ja estetiikkaan. Sotamaan mukaan 3D-tulostuksella on mahdollisuus palauttaa muotokieleen jälleen monimuotoisuus, joka vallitsi käsityökaudella ennen teollistumista. Teollistumisen ja liukuhihnatuotannon vuoksi tuotteet ovat olleet edullisempia valmistaa koska ne ovat yksinkertaisempia, kun taas 3D-tulostus mahdollistaa monimutkaisten muotojen teon samalla hinnalla. Sotamaa uskoo, että ergonomia ja ornamenttiikka voivat palata takaisin 3D-tuloksen myötä.

Perinteisesti CAD-mallinnusohjelmilla mallinnettujen mallien lisäksi tuote voidaan nykyään myös 3D-skannata erityisillä siihen suunnitelluilla skannereilla tai tekemällä 3D-mallin valokuvista tai videosta. Tällä hetkellä esimerkiksi Autodesk tarjoaa 3D-mallin skannausta 123D Catch-ilmaisohjelmalla, jonka puhelinsovelluksella 3D-mallin voi luoda suoraan puhelimen kameran avulla ja siirtää tämän jälkeen tietokoneelle (Autodesk 123D 2013).

Yhä kasvava 3D-mallinnuksen ja –tulostuksen etu on sen jatkuvasti helpompi saatavuus. Tarjolla on kalliiden ohjelmistojen rinnalla myös ilmaisia mallinnusohjelmistoja, skannausohjelmien lisäksi, joita mallinnuksessa voidaan käyttää. Moss (2014) esitteli New Yorkin 3D-print show – messuilla monimutkaisten 3D-mallien kuvia, jotka kaikki oli luotu ilmaisohjelmilla. Tarkoitus oli osoittaa, ettei 3D-mallintaminen tarvitse kalliita, tai edes edullisia, ohjelmistoja kun tarjolla on myös täysin ilmaisia ohjelmistoja, joiden avulla voi saada yhtä laadukkaan lopputuloksen. Lisäksi itse 3D-tulostuksen voi ulkoistaa, jolloin laitetta ei tarvitse itse omistaa.

### **3.4 3D-tulostuksen käyttö**

#### **3.4.1 3D-tulostuksen mahdollisuudet muoti- ja asustesuunnitteluun**

3D-tulostuksella on mahdollisuudet vaikuttaa käänteentekevästi perinteisinä pidettyihin tuotantomenetelmiin, mutta mitä hyötyjä se tuo erityisesti muotiteollisuudelle? Shillito (2013,11) kysyi suunnittelijoilta, jotka tekevät työtään CAD-ohjelmien parissa hyödyntäen muun muassa 3D-tulostusta ja muita teknologioita, mikä uusissa teknologioissa inspiroi. Vastauksissa korostuivat muotoilun uudet mahdolli-

suudet, erityisesti se, että nykyteknologia mahdollistaa kappaleiden tuotannon, joita perinteisin menetelmin olisi mahdoton tehdä tai ne veisivät aivan liikaa aikaa. Töitä pystyy myös tuottamaan erilaisissa mittakaavoissa ja kerrannaisina, niitä voi muokata, korvata ja tulostaa uudelleen. Niiden avulla voidaan kehittää täysin uudenlaisia tuotteita ja konsepteja ja testata näitä vaivattomasti. Vastauksissa korostettiin myös uuden tason esteettisyyttä, joka ei rajoitu tuotantotapoihin.

” Inspiroivin asia näissä tekniikoita on, että voin nyt tehdä töitä, joita aikaisemmin en ole joko voinut tehdä käsin / tavanomaisien työkalujen avulla tai joihin minulla menisi niin kauan aikaa, että ne olisivat fyysisesti kannattamatonta tehdä. Tämä yksin stimuloi luovien mahdollisuuksien laajuutta minulle lisäten täysin uuden ulottuvuuden toimintatapoihini... Eri tekijät tuovat esille erilaisia ajatusprosessejaan kuitenkin käyttäen samoja ohjelmia ja järjestelmiä, jossa erityisesti korostuu teknologian massiivinen luova potentiaali” (Shillito 2013,11).

”Se on jotakuinkin sellainen (tunne), kuin seisoi uuden maailman reunalla, johon sinun on mahdollisuus osallistua” (Shillito 2013,11).

3D-tulostus mahdollistaa orgaaniset ja mielikuvitukselliset muodot. Uusissa muotimallistoissa on totuttu näkemään uusia muotoja ja innovaatioita, joilla pyritään erottumaan joukosta ja tarjoaa uutta esteettistä ilmettä. 3D-tulostus antaa mahdollisuuden suunnittelijalle käyttää enemmän mielikuvitustaan eikä rajoittautua vain materiaalien ominaisuuksiin ja rajoitteisiin.

Koska 3D-tulostimella on lähes yhtä kallista ja aikaavievää tehdä yksinkertaisia tai monimutkaisia muotoja, jotka vievät saman verran materiaalia, voidaan tuotteista tehdä yksilöllisempiä ja erikoisempia, sillä tuotteen teossa ei tarvitse ajatella massatuotannon tuomia säästöjä. Kappalehinta on aina sama riippumatta siitä, onko tuotantoerän suuruus 1 vai 100 kappaletta, sillä tulostin tekee kappaleen yksi kerrallaan ja kuluttaa jokaisella kerralla saman verran materiaalia. Tällöin tuotetta ei tarvitse suunnitella vain ajatellen suurimman tuotteen ostajakunnan mieltymyksiä, vaan tuotteesta voi olla erilaisia versioita ja suunnittelija pystyy toteuttamaan ehkä paremmin näkemyksiään.

Personointi on yksi 3D-tulostamisen etuja. Jokinen (2010, 12) esittää, että nykyaikainen varaloskannausteknologia, jossa asiakkaan keho skannataan nopeasti kolmiulotteiseksi pinnaksi, mahdollistaa tarkasti ja nopeasti tehdyt mittatilausvaatteet, joita voidaan valmistaa lopuksi lähes sarjatuotannon hinnalla. Koska skannattuja 3D-malleja on jatkuvasti helpompi tehdä, voidaan



Kuva 6 Threeformin Lotus-toppi tehdään käyttäjänsä mittoihin ja 3D-tulostaen (Lotus top 9.7.2011)

tuote personoida esimerkiksi asiakkaan mittoihin, jolloin tuloksena voidaan saada sekä yksilöllisen näköinen että istuva tuote, kuten esimerkiksi Threeform-yrityksen Lotus-toppi (kuva 6) tai kengät. Kun esimerkiksi korkokenkään on saatu mielenkiintoinen muoto, tiedostossa voidaan muokata vain kengän lestiä ja tulostaa uusia, eri kokoisia pareja. Uuden koon vuoksi kenkää ei siis tarvitse suunnitella jälleen uudestaan.

Myös Manninen (2013, 40) pitää 3D-tulostettujen moottoripyöräkypärien vahvuutena muun muassa muoteista vapautumista ja yksilöllisten ja monimutkaisten muotojen tekemistä samalla hinnalla kuin yksinkertaisten, joiden mahdollisuutena on parantaa istuvuutta. 3D-tulostukset voivatkin tuoda täysin uuden ulottuvuuden massaräätälöintiin, joka pyrkii tarjoamaan asiakkaille yksilöllisiä tuotteita lähes massatuotannon hinnalla antamalla asiakkaalle mahdollisuuden vaikuttaa joihinkin tuotteen ominaisuuksiin, kuten esimerkiksi kokoon, lisävarusteisiin tai väriin. Tämä on tulostettavissa tuotteissa helpompaa kun muutokset voidaan tehdä jo valmiiksi tehtyyn 3D-malliin.

3D-tulostus tuo vapautuksia tuotteisiin, joiden suunnittelussa perinteiset tuotantotavat asettavat haasteita, esimerkiksi kenkien korkojen tulee olla kestäviä ja kantaa käyttäjänsä paino, mutta niiden täytyy samalla olla kevyet ja mielummin myös tyylikkää. Metallit olisivat kestävyytensä vuoksi ideaaleja tähän, mutta ne tekevät tuotteesta liian painavan. Saksalaisen Scherfdesignin suunnitteleminen kenkien

koroissa (Kuva 7) on kuitenkin käytetty 3D-tulostustekniikkaa, jolla koron titaani voidaan tulostaa ohuista, mutta kestävästä seinästä, jotka ovat samalla sekä kestäviä, tyylikkäät että kevyet (Scherfdesign blogi 4.12.2013). Scherfdesign julistaaakin samaisessa blogimerkinässään protojen pikamallinnuksen olevan eilispäivää ja lopullisten tuotteiden pikavalmistuksen 3D-tulostimilla tätä päivää.



Kuva 7 Scherfdesignin kengissä ovat titaanikorot (Scherfdesign blogi 4.12.2013)

Kun tuotteessa on jo rakennettu toimiva 3D-malli, jonka käytettävää materiaalia saa myös 3D-tulostettavana tai materiaali voidaan vaihtaa vastaavaan 3D-tulostettavaan materiaaliin, vaikuttaa loogiselta jättää valmistus tulostimelle, joka pystyy työstämään tuotteita vuorokauden ympäri aina samanlaisin lopputuloksin. Inhimillisten tuotantovirheiden määrä vähenee, sillä kone pystyy suorittamaan mekaanista toistoa väsymättä.

Erityisesti pk-yrityksille 3D-tulostus voi tuoda suuria etuja kilpailumahdollisuuksien suhteen varsinkin kun 3D-tulostus on vielä nykyteknologialla suhteellisen hidasta, jotta siitä olisi massatuotantoon merkittävästi hyötyä. Kun valmistukseen ei tarvitse kuluttaa omia työtunteja, vapautuu enemmän aikaa suunnitteluun ja uusien tuotteiden kehittelyyn. Muotojen vapaus vapauttaa myös luovuutta. Tuotteiden monistaminen helpottuu ja tuotetta pystyy muokkaamaan esimerkiksi asiakkaan mieltymysten mukaiseksi tai kesken sesongin, mikäli tuotteessa huomataan puutteita tai kehittämismahdollisuuksia. Koska massatilausten hintaetua ei ole, tuote voidaan tuottaa kysynnän ilmaantuessa, jolloin rahaa ei tarvitse sitoa varastotuotteisiin. Myöskään suuria investointeja ei laitteistoihin tarvitse tehdä, sillä malleja pystyy edullisilla, jopa ilmaisilla, ohjelmilla luomaan ja tulostuspalvelun voi ulkoistaa, tässä tapauksessa esimerkiksi Young Skills:lle.

### 3.4.2 3D-tulostus saapuu catwalkeille

3D-tulostuksen hyödyntäminen muotimaailmassa on verrattain uutta, sillä myös 3D-tulostusteknologia on kaiken kaikkiaan hyvin uutta ja ollut julkinen puheenaihe vasta muutaman vuoden ajan. Trendi on kuitenkin kehittynyt nopeasti. Peels (2010) toteaa I.Materializen blogissa vuoden 2010 olleet ihmeellinen vuosi 3D-tulostuksen kannalta, silloin maailmanlaajuisesti tuhannet ihmiset aloittivat omien 3D-printtereidensä rakentelun, kymmenet tuhannet käyttivät 3D-tulostuspalveluja omien suunnitelmiensa tulostamiseen ja 3D-tulostimet olivat yhtäkkiä esillä TV:ssä ja sanomalehdissä. Koska 3D-mallien tuottaminen tehdään jatkuvasti yhä helpommaksi, lähes jokainen voi toteuttaa omia suunnitelmiaan. Kun 3D-tulostuksesta on tullut kasvava trendi, oli sen ilmestyminen muotiteollisuuteen vain ajan kysymys.

Heinäkuussa 2010 hollantilainen suunnittelija Iris van Herpen esitteli ensimmäiset 3D-tulostetut mallistonsa, jotka oli tehty yhteistyössä englantilaisen arkkitehdin Daniel Widrigin kanssa (Crystallization 2010). Puvut saivat suurta huomiota niiden uuden innovatiivisen tuotantotapansa vuoksi ja van Herpenistä on tullut yksi seura-tuimmista muotisuunnittelijoista 3D-tulostuksen alalla. Van Herpen on sittemmin hyödyntänyt 3D-tulostusta laajemmin mallistoissaan ja Times -lehti nimesi van Herpenin mekot 50 parhaan innovation joukkoon vuonna 2011.

Englantilainen Catherine Wales on myös luonut uraa erilaisilla visuaalisesti näyttävillä 3D-tulostettavilla asuilla, joissa suunnittelija on käyttänyt hyödykseen 3D-vartalokannereita, joilla asut istuvat hyvin ja sopivat käyttäjänsä vartalolle. Walesin (Catherine Wales 2013) tarkoituksena 3D-tulostetussa mallistossa on alun perin ollut kestävyysajattelu, sillä tulostaen vähennetään hukkamateriaalin määrää ja samalla vastataan paremmin kuluttajien tarpeisiin kun asut voidaan sovittaa täysin käyttäjälleen.

3D-tulostettuja asuja on alkanut näkyä myös suurten muotibrändien ja julkkisten päällä. Dita von Teesen 3D-tulostettu mekko oli ensimmäisiä mediahuomion kohteeksi joutuneita mekkoja. 17 palasta koostunut mekko oli koristeltu 13000 Swarovski kristallilla (Duann 5.3.2013). Shapeways ja Bradley Rotherberg tuottivat yhteistyössä Swarowskin kanssa Victoria's Secretille alusvaatteisiin sopivat asun,

joka 3D-skannereilla voitiin tehdä istumaan täysin mallin vartalolle ja koristeltiin myös miljoonilla Swarowskin kristalleilla (Duann 10.12.2013). Sitten 3D-tulosteiden trendi on näkynyt niin Niken mallistoissa kuin Lady Gagan juhlapuvuissa.

Tulevaisuudessa 3D-tulostuksen merkitys tulee varmasti vain kasvamaan muotiteollisuudessa. Tulostaen vaatteet ja asusteet voidaan personoida ja muokata käyttäjälleen, joka tuo niihin aivan uuden lisän. Käyttäjä voisi myös itse vaikuttaa lopputulokseen, joka tekisi tuotteesta vielä henkilökohtaisemman. 3D-tulostuksen avulla on mahdollisuus parantaa käyttömukavuutta ja ergonomiaa kun esimerkiksi kengät voidaan suunnitella juuri omaan jalkaan sopiviksi. 3D-tulostuksen avulla kuluttajan ei siis tarvitsisi sopia valmiiksi tehtyihin kokoihin, vaan kuluttaja voisi olla mukana räätälöimässä itselleen täydellistä vaatetta tai asustetta, joka korostaisi juuri omia muotoja. 3D-tulostus voisikin yhdistää käyttömukavuuden ja mielikuvitukselliset muodot, jolloin käyttäjän ei tarvitsisi tinkiä tyylistä eikä mukavuudesta.



Kuva 8 Iris van Herpenin pukuja (Crystallization 2010; Escapism 2011).



Kuva 9 Catherine Walesin asuja (Catherine Wales 2013).



Kuva 10 3D-tulostuksen avulla asut voidaan räätälöidä käyttäjänsä muotoihin (Duann 5.2.2013; Duann 10.12.2013).



### 3.5 Vaikutus suomalaiseen asustesuunnitteluun

3D-tulostuksella on mahdollisuudet antaa paljon muoti- ja asustesuunnitteluun, kuten aiemmissa kappaleissa on tullut ilmi. Teknologia mahdollistaa täysin uudenlaisen vapautumisen työkaluista ja valmistustavoista ja voi mahdollistaa pienyritykselle kannattavamman tuotannon, kun tuotteita ei tarvitse tilata varastoon vähimmäistiluserien tai määräalennusten vuoksi.

Yhdysvaltain presidentti Barack Obaman (Kansakunnan tila 2013) vuonna 2013 pitämässä Kansakunnan tila –puheessaan presidentti mainitsi 3D-tulostuksen mahdollistavan tuotantotavat tehdä lähes mitä tahansa. Obama kertoi puheessaan Yhdysvaltain tulevaisuuden mahdollisuuksista ja kuinka tuotanto on palaamassa nyt takaisin Yhdysvaltoihin Kiinasta ja Meksikosta. Obaman puheosuutta 3D-tulostuksesta on siteerattu alan artikkeleissa paljon, sillä niinkin tärkeän johtohahmon kuin Yhdysvaltojen presidentin maininta alan valtavasta potentiaalista nähtiin alalle suurena kunnianosoituksena ja se toi samalla alalle valtavasti mainostusta ja uutisarvoa. 3D-tulostuksen tuoma potentiaali on valtava ja sillä on mahdollisuus palauttaa tietotaitoa takaisin kehittyneisiin maihin. Alalle investoidaan maailmalla jatkuvasti enemmän ja alan mahdollisuudet on myös Suomi huomaamassa.

VTT:n tutkimusjohtaja Erja Turusen mielestä Suomessa on hyvät mahdollisuudet tehdä läpimurtoja 3D-teknologiassa, sillä suomalaiset ovat hyviä yhdistämään eri alojen osaamista (Toivonen 19.9.2013). Turusen mukaan Suomi ei ole kokonsaakaan puolesta massavalmistusmaa, vaan Suomi on ollut erityisen hyvä korkeanjalostusarvon tuotteissa. Samaa voitaisiin soveltaa myös asustesuunnitteluun. Suomi ei ole ollut perinteisesti halvan massatuotannon maa, vaan suunnittelussa on yleensä keskitytty hyvään muotoiluun ja tieto-aidon hyödyntämiseen. Tekniikan hallitseminen tai hyvien yhteistyökumppanien löytäminen voi antaa paljon myös suomalaiselle asustesuunnittelulle 3D-tulostuksen alalla.

Vaikka esimerkiksi Iris van Herpen on tullut tunnetuksi 3D-tulostetuista mekoistaan, suunnittelija itse tietää varsin vähän mallintamisesta. Herpenin (Howarth 2013) mukaan hän on antanut mallinnuksesta vastaamisen yhteistyökumppaneille, jotka ovat alansa asiantuntijoita, sillä hän ei itse hallitse sitä puolta täydellisesti. Suunnittelija itse tekee yksityiskohtaisen mallin, jonka mukaan mekko mallinne-

taan. Herpenin mukaan muotiala on hyvin sisäänpäinkääntynyt, sillä suunnittelijat tekevät usein yhteistyötä vain muiden suunnittelijoiden ja artistien kanssa. Herpen kertoo haastattelussa ihmettelevänsä, ettei yhteistyö tutkijoiden, tiedemiesten ja arkkitehtien kanssa vielä kuulu muotimaailmaan.

Yli ammattikuntarajojen tapahtuva yhteistyö voisi olla yksi suomalaisen muotialan muotoilun tulevaisuus. Mallintamista käytetään ja opetetaan laajalta ammattitutkintoon tähtäävissä koulutuksissa, mutta Herpenin mielipiteessä on hyvä ajatus. Ulkoistamalla mallintamisen, jota suunnittelija ei itse täysin hallitse, muotoilija voi keskittyä omiin vahvuuksiinsa kuten estetiikkaan ja ergonomiaan.

## 4 TEKNIikka JA EKOLOGISET ARVOT

### 4.1 Ekologisuuden määritelmä

Ekologisuus on todella laaja yläkäsite, jonka alle mahtuu monenlaisia nimikkeitä ja käytäntöjä. On ollut hankala erotella mikä tekee tuotteesta ekologisen ja mikä ekologisuuden kannalta siinä on tärkeintä: sen alkuperä, tuotantotapa, logistiikka, käyttökohde vai hävittäminen. On vaikeaa määritellä, millainen ekotuote on todella ekologinen ja miten vielä eettiset ja sosiaaliset periaatteet sekoittavat näitä arvoja. Jos tuotantotapa on ekologinen, voiko mainonnassa ekologisuudesta jättää kertomatta, että tuote on kiertänyt lentorahtina ympäri maapalloa erilaisissa kokoonpano- ja pakkaustoimipisteissä eikä se ole edes kierrätettävä.

Ekologisen designin kenttä on ollut varsin epämääräinen, sillä määrittelyitä on hankala rajata ja lähes jokainen yritys ja tuote on voitu nimetä ekologiseksi riippuen näkökulmasta. Vuonna 2010 Habitaren Eco Design –näyttelyn puheissa esitettiin, onko maatuva tuoli todella ekologinen kun sen suunnittelussa on ajateltu vain, miten siitä päästään eroon. Tuotteen mainonnassa voidaan painottaa ekologisia arvoja, vaikka se on alun perin suunniteltu heitettäväksi pois. Toisinpäin ajateltuna tuote voisi olla myös ekologinen tuotantotavoistaan ja materiaaleistaan johtumatta, mikäli tuotetta käytetään hyvin pitkään. Jos tuote ostetaan vain tarpeeseen ja sitä käytetään sen elinkaaren loppuun, voidaanko sanoa sen olevan ekologinen.

Ekodesign-keskusteluissa on alettu kokoajan enemmän keskittyä tuotteen todelliseen ekologiseen elinkaareen, johon ovat vaikuttaneet varmasti suurella osin kuluttajien yhä tiedostavampi asenne ja kulutuspäätökset. Yhä useampi yritys ilmoittaa nykyään tuotteensa alkuperän, vaikka valmistusmaata ei lain mukaan ole tuotteeseen pakko merkitä (23.6.2004/613 3 §). Vaateteollisuutta koskevat määräykset tuntuvat olevan kaukana 3D-tulosteiden maailmasta, mutta todennäköisesti samantyyppiset ongelmat ja pohdinnat koskevat tulevaisuudessa myös 3D-tulosteiden maailmaa. Vaikka tuote on itsetulostettu, kuinka moni tuotteiden tulostaja tietää, mistä heidän muovinsa on peräisin?

Tämä opinnäytetyö keskittyy paljon 3D-tulosteiden materiaaleihin, vaikka ekologisuus on paljon muutakin. Kuinka ekologista 3D-tulostus on ylipäätään?

Lipson & Kuman (2013, 200-201) vertaavat kahden identtisen muovilelun elämäntaakkaa, joista toinen on massatuotettu ja toinen 3D-tulostettu. Massatuotettu lelu on todennäköisesti aloittanut elämäntaakansa pieninä muovipelletteinä. Muovipellettien yleisenä ongelmana on, että osa niistä päätyy kuljetuksissa mereen, jossa niistä on paljon haittaa meren ekosysteemille. Suurin osa pelleteistä päätyy kuitenkin ruiskuvalukoneeseen, jonka jälkeen lelu kulkeutuu kokoonpano-osastolle tuhansien identtisten lelujen kanssa. Kokoonpano-osasto sijaitsee todennäköisesti Etelä-Kiinassa, jossa noin 80 prosenttia leluista tuotetaan, ja työntekijä kasaa lelun liukuhihnalla. Lelu matkustaa tämän jälkeen tuhansia kilometrejä laivoissa, junissa ja rekoissa päämääräänsä kauppaan, josta työntekijä purkaa lelun lähetyskuormasta ja laittaa sen kauppaan myyntiin.

3D-tulostetun lelun elämäntaaka on hyvin erilainen suhteessa massatuotettuun. Sen elämäntaaka on alkanut bitteinä, josta on muodostunut uniikki lelu, jonka asiakas on voinut yrityksen nettisivuilta ostaa. Lelu on sitten voitu tulostaa asiakkaan lähellä sijaitsevassa pienessä 3D-tulostuspalveluyrityksessä muovijauheesta ja lähettää asiakkaalle kotiovelle.

Lipson & Kuman (2013, 201) mukaan 3D-tulostuksen ekologisella jalanjäljellä on kuitenkin omat puolensa vaikka tulostaen tuotteet voidaan tehdä kotimaisissa palveluyrityksissä, joiden työoloja pystytään kontrolloimaan ja työympäristö ja tuote täyttävät säädökset. Tuotetta ei myöskään tarvitse turhaan varastoida lämmitettyyn halliin, vaan ainoastaan nettisivuille. 3D-tulostin kuluttaa silti Lipson ja Kuman mukaan jokaista tuotettua puolta kiloa kohti 10-kertaisesti sähköä suhteessa ruiskuvalukoneeseen. Ruiskuvalukone tuottaa loppujen lopuksi vähän sivutuotetta ja käyttää materiaalia säästävaisesti. Lisäksi suuren tilauserän lähettäminen yhteen paikkaan on ekologisempaa kuin monien eri tilauserien lähettäminen moneen eri paikkaan. Lipson ja Kuman esittävät, että mikäli 3D-tulosteiden tuotanto voitaisiin skaalata kansainvälisen tuotannon mittoihin, siinä ei olisi enää mitään vihreitä arvoja.

Myös Faludin (2013) mukaan 3D-tulostimien ekologisuus riippuu näkökulmasta ja tilanteesta. FDM-tekniikkaa käyttävillä 3D-tulostimilla voidaan saada aikaan vähemmän jätettä, mutta Faludin mukaan vain, jos malli ei tarvitse tukimateriaalia. Inkjet-tekniikkaa käyttävät koneet tuhlaavat kuitenkin Faludin mukaan noin 40% musteesta jo tulostusprosessissa eikä niiden tukiaine ole edes kierrätettävää – ainakaan vielä.

Faludin mukaan yllättävintä hänen tutkimuksessaan oli huomata, onko jätteen määrä edes olennaisinta verrattaessa 3D-tulostimia perinteisemmän tuotannon CNC-koneisiin, sillä ekologisia vaikutuksia tarkasteltaessa perinteisessä tuotannossa korostuu jätteen määrä, kun taas 3D-tulostimissa niiden käyttämä energia. Faludin mukaan inkjet-tekniikkaa käyttävät 3D-tulostimet olivat CNC-koneita epäekologisempia ja FDM-tekniikkaa käyttävät 3D-tulostimet taas näistä kaikkein ekologisimpia. Faludi kuitenkin korostaa, ettei tutkimustulos ole ehdoton, sillä todellisuudessa koneet kuluttavat merkittävästi turhaa energiaa joutoaikana, jolloin niitä ei käytetä. Koska joutoaikana hukatun energian määrä on jopa suurempi, mitä laitteiden keskinäiset ekologiset erot, Faludin mukaan ekologisin laite on tällöin se, jota pystytään hyödyntämään eniten. Mikäli tuote voidaan tulostaa kokonaan 3D-tulostimella, se on paljon ekologisempi kuin tulostaa kappaleen eri palaset eri laitteilla. Laitteiden jatkuva käyttö vähentää joutoaikaa, jota esimerkiksi laitteen jakaminen ja vuokraus vähentävät. Young Skills osuuskunnan 3D-tulostin pystyy siis olemaan ekologisempi tulostustekniikastaan huolimatta, kun sitä käytetään mahdollisimman usein. Vaikka tämä liittyy enemmän laitevuokrauksen myyntiin ja markkinointiin, on taustalla kuitenkin myös energian säästö ja ekologisempi käyttö kun joutoaikaa voidaan vähentää.

3D-tulostuksen ekologisuus on siis myös riippuvainen siitä, mihin sitä verrataan. 3D-tulostusta ei vielä nykypäivänä voi kunnolla verrata massatuotantoon, johon se ei ole vielä hitautensa puolesta tarkoitettu. 3D-tulostuksen avulla asiakas voi saada uniikin lelun yksityiseltä suunnittelijalta, mikä ei välttämättä olisi mahdollista massatuotannon keinoin, jos suunnittelijalla ei ole varaa investoida aluksi esimerkiksi muotteihin. Lelujen massatuotanto ja lelujen tuotanto 3D-tulostuksen avulla kuuluvat tällä hetkellä eri sektoreille, jossa massatuotanto kuuluu suurille ja 3D-tulostus enemmän pk-yrityksille, jotka tekevät pieniä tuotantoeriä ja haluavat vaih-

telua tuotteisiinsa. 3D-tulostus mahdollistaa yksityisten ja pienten yritysten tuotannon aloittamisen helpommin ja halvemmalla verrattuna massatuotantoon. Teknologia kehittyy kuitenkin koko ajan tehden tästä tekniikasta yhä kilpailukykyisempää ja uusia kehitysaskelaita otetaan alalla jatkuvasti, jolloin sitä voidaan mahdollisesti jossain vaiheessa soveltaa myös suuremman kokoluokan massatuotantoon.

Sähköä 3D-tulostimen käyttöön voidaan tietysti tehdä myös vesi- tai aurinkovoimalla ja niidenkin käyttö yleistyy jatkuvasti. Myös Stratasys (2014) kertoi blogissaan yhteistyöstään yhdysvaltalaisen Peppermint Energyn kanssa, joka suunnitteli ja tuotti kannettavan aurinkoenergiageneraattorin. Tällainen generaattori voi auttaa erityisesti kehitysmaissa pitämään ruuan ja lääkkeet viileänä tai antamaan virtaa esimerkiksi tietokoneelle tai 3D-tulostimelle. Myös tällaiset kannettavat vaihtoehdot voivat ratkaista esimerkiksi 3D-tulostimien nykyisiä ongelmia. Stratasys kertoo myös samaisessa blogimerkinnässään Peppermint Energyn laskeneen noin 180000 euron säästöt protojen ja lopputuotteen tulostamiseen verrattuna siihen, että yritys olisi kustantanut protojen ja lopputuotteiden muotit. 3D-tulostuksesta on siis tällöin ollut merkittävää hyötyä, sillä innovaatio olisi saattanut muuten jäädä tekemättä massiivisen alkuinvestoinnin vuoksi.

## **4.2 Käytettävissä olevien materiaalien ominaisuudet ja ongelmat**

Lipson & Kuman (2013, 82-83) esittävät 3D-tulostettavien materiaalien tämänhetkiseksi yleiseksi ongelmaksi niiden yhteensopimattomuuden eri merkkisten laitteiden kanssa. 3D-tulostimien valmistajat tarjoavat yleensä omia patentoituja merkki-kohtaisia 3D-materiaaleja. Lipson & Kuman mukaan ongelmaksi tulee tällöin, ettei kuluttaja uskalla kokeilla laitteellaan uusia halvempia (tai ekologisempia) materiaaleja, sillä pelkää menettävänsä takuun laitteen vääränlaisen käytön vuoksi. Toisaalta kun materiaalien kehittäminen on yrityksen vastuulla, laitteiden tarjoajat investoivat entistä enemmän uusien raakamateriaalien kehittämiseen, jotka Lipson & Kuman mukaan ajavat alan kehitystä taas eteenpäin.

Tällä hetkellä muovi on ylivoimaisesti yleisin tulostettava materiaali. Suurin osa 3D-tulostusmateriaaleiksi myytävistä muoveista on ABS tai PLA muoveja. Nämä ovat termoplastisia eli kestopuoveja, joita voidaan muovata lämmön ja paineen

avulla aina uudestaan, sillä muovin molekyylien yhdessä pitävä voima heikkenee lämmittäessä ja vahvistuu jäähdyttäessä (Kestomuovit 2014). Chilsonin (2014) mukaan Abs-muovi on kestävä materiaali 3D-tulostukseen, jossa on kuitenkin myös hieman joustoa. Sillä on korkea lämmönkesto ja se on helposti työstettävä materiaali, jonka vuoksi se on ehkä yleisempi ammattimaisessa käytössä kuin PLA-muovi. ABS-muovin 3D-tulostuksessa lähtevä voimakas haju ja kaasut ovat kuitenkin syy, miksi joissain kotitalouksissa saatetaan suosia enemmän PLA-muovin käyttöä. PLA-muovin etuja ovat laaja värivalikoima, pintakiilto ja tulostuksen aikana tuleva miellyttävämpi, makea tuoksu. Sitä käytetään usein elintarvikkeiden pakkauksissa. PLA-muovi on myös kestävä ja ABS-muovia jäykempää, jolloin se saattaa osoittautua hankalaksi materiaalivalinnaksi kokoonpanoissa. PLA-muovia pidetään kuitenkin ekologisempänä sen sisältämien kasvituotteiden vuoksi, mutta sen kierrätys voidaan tehdä vain teollisissa kompostointilaitoksissa.

Lipson & Kuman (2013, 82-84) mukaan muita yritysten yleisesti tarjoamia materiaaleja ovat myös metallit, keramiikka, syötävät ruoka-aineet (kuten suklaa) ja rajoitetuissa määrissä myös betoni ja lasi. Metalleista tulostettavia ovat muun muassa teräs ja titaani, jonka hyödyistä esimerkiksi kenkäteollisuuteen on kerrottu aiemmassa kappaleessa. Tulostetuissa keramiikka tuotteissa on samanlainen kiiltävä pinta ja samankaltaiset ominaisuudet kuin normaalisti poltetuissa keramiikkakappaleissakin. Lasin kehitys tulostettavaksi on ollut melko hankalaa, sillä materiaali hylkii vettä eikä näin liimaudu alla olevaan kerrokseen helposti. Lisäksi lasi on melko arvaamatonta altistuessaan korkeille lämpötiloille.

Tulostuspalvelu Shapeways tarjoaa melko kattavan valikoiman erilaisia yleisiä tulostettavia materiaaleja. 7 yleisimmin käytetyn materiaalin ominaisuuksien vertailu löytyy liitteestä 1. Taulukosta näkee esimerkiksi kuinka paksuiksi kappaleiden seinämät on vähintään määriteltävä erilaisilla materiaaleilla. Taulukosta voidaan vertailla myös eri materiaalivaihtoehtojen hintoja.

Erinäisiä kokeilevia materiaaleja 3D-tulostustarkoituksiin tulee koko ajan lisää. Laywoo-D3 esitteli jo vuonna 2012 tulostettavan puukomposiitin, joka on 40% kierrätettyä puuta ja joka tulostaa myös puun vuosirenkaat (Laywoo-D3 18.9.2012). Le FabShop esitteli Pariisin 3D Printshow messuilla innovaationsa tulostaa merilevää, joka olisi markkinoiden ensimmäinen täysin ekologinen tulostusmateriaali (Park

15.11.2013). Keskustelin New Yorkin 3D-Printshow –messuilla slovenialaisten opiskelijoiden kanssa, jotka esittelivät messuilla PrintGreen-ekotulostimen, joka tulostaa savesta, siemenistä ja vedestä tehtyä massaa (Kuva 11), joka alkaa kasvaa ruohoa pian tulostuksensa jälkeen. PrintGreenin edustajia haastatessa tuli ilmi, että tulostimella voidaan



Kuva 11 PrintGreenin tulostusmassaa tulostaa erilaisia muotoja ja siirtää ne lopulta kasvualustana toimivasta kankaasta esimerkiksi puutarhaan. Muun muassa PrintGreenin ongelmana on kuitenkin sama, jonka Lipson & Kuman mainitsevat materiaalien yleiseksi ongelmaksi: kyseisiä materiaaleja voidaan tulostaa vain yrityksen omilla modifioituilla tulostimilla.

Edellä mainitut esimerkit ovat kuitenkin kokeilevia materiaaleja ja tarkoitettu lähinnä kotikäyttöön. Ammattimaisiin laitteisiin ekologisten arvojen soveltaminen ei käy niin nopeasti, sillä materiaalin tulee käydä läpi vaativampi prosessi. Keskustelin 3D-PrintShow -messuilla eri 3D-tulostuspalveluiden, kuten Sculpteon ja I.Materializen, asiantuntijoita 3D-tulostuksen ekologisuudesta. Ekomateriaalien ongelmaksi mainittiin niiden kallis hinta ja huono kestävyys. Koska asiakkaille halutaan tarjota tasaisen korkealaatuisia tuotteita, ekomateriaalien tulisi läpäistä samat kestävyysvaatimukset kuin muidenkin. Lisäksi kysyntää ei ole vielä niin paljoa, että yrityksen kannattaisi ostaa harvoin kysyttyä materiaalia varastoon. On kannattavampaa pitäytyä yleisesti käytetyissä materiaaleissa kuten muoveissa, joita voidaan myydä suurempia määriä. Muun muassa tulostuspalvelu Shapeways tulostaa eri materiaalit eri laitteilla, eli jokaiselle materiaalille on oma tulostimensa. Uusien kokeilevien materiaalien hankkiminen ja käyttäminen vaatii tällöin suuremman panostuksen, sillä materiaalin lisäksi on hankittava myös tulostin. Tämä rajoittaa yritysten halukkuutta siirtyä käyttämään erilaisia materiaaleja, sillä se vaatii aluksi huomattavaa panostusta.

Osa tulostusyrietysten materiaaleista kerrottiin sisältävän joitain ekologisia osia, mutta ongelmana on niiden koossa pitävä liima, joka tekee tuotteesta mahdotto-



man kierrättää. Massassa oleva liima on kuitenkin materiaalin tärkeä elementti, jolloin materiaalia on hankala muokata ekologisemmaksi. Se vaatisi uusia materiaali-innovaatioita, joiden kehittäminen ei suoranaisesti ole tulostuspalveluyritysten vastuulla.

### 4.3 Ekotulostus kierrättäen

Yhtenä tulevaisuuden vaihtoehtoja ei ehkä ole vain uusien materiaalien kehitys vaan myös jo tulostettavien materiaalien muokkaaminen ekologisemmiksi esimerkiksi kierrätyksen keinoin. Koska muovi on yleisesti käytetyin tulostettava materiaali, jota voi olla hankala vielä tällä hetkellä korvata ekologisilla vaihtoehdoilla, sen elämänkaarta voidaan pidentää esimerkiksi kierrättämällä muovituotteet uudestaan tulostettavaksi materiaaliksi.

Filabot (Filabot –original, 2014; Filabot –reclaimer, 2014) oli ensimmäisiä yrityksiä, joka tarjosi kuluttajalle keinon tehdä 3D-tulostusmateriaalia kotona. Tyler McNamey, 20, kehitti idean yliopiston talviloman aikana ja ensimmäiset laitteet saatiin lähetukseen vuoden 2013 alussa. Yrityksen laitteilla pystyy tulostamaan uutta muovilankaa 3D-tulostimeen muovipelleteistä tai rouhimalla itse kotoa löytyvät ABS-, PLA- ja HIPS-muovit uudeksi materiaaliksi. Muovi menee suoraan kierrätykseen kun vanhasta muovipullosta voidaan tulostaa esimerkiksi uudet kännykän kuoret. Kun lankaa tehdään itse, sitä ei tarvitse ostaa muualta ja odottaa lähetystä. Lankaa voidaan myös muokata itse halutun väriseksi ja vanhat epäonnistuneet tulosteet voidaan kierrättää uudestaan. Tuotteen kierrätys on nopeaa ja laitteet käyttävät suhteellisen säästeliäästi sähköä, sillä ne kuluttavat saman verran sähköä kuin pöytäkone.

Keskustelin New Yorkin 3D-Printshow –messuilla Protoprint-yrityksen Kathrine Spielsin kanssa 3D-tulostuksen ekologisuudesta. Protoprint on uusi, vasta keväällä 2014 toimintansa aloittava ekologisten ja eettisten periaatteiden yritys, joka tarjoaa 3D-tulostinten materiaaliksi kierrätettyä muovia. Kyseinen materiaali on kerätty ja tehty Intiassa, jossa muovinkerääjät ovat yhteiskuntaluokkien alhaisinta kastia. Protoprintin tarkoituksena on antaa muovinkerääjille mahdollisuus kierrättää itse muovi suoraan 3D-tulostinten materiaaliksi, jolloin sen arvo kasvaa merkittä-

västi. Kun kerääjät voivat vielä itse myydä muovilangan, he ansaitsevat paljon enemmän, mikä mahdollistaa tälle yhteiskuntaluokalle hieman paremman tulevaisuuden. Spiels kertoi yrityksen olevan ensimmäisiä kaupalliseen tarkoitukseen olevia ekologisia ja eettisiä ratkaisuja ja kierrätetty materiaali on tällä hetkellä testattavana suurilla tulostuspalveluilla, jotka voisivat mahdollisesti ottaa kyseisen materiaalin tuotantoonsa. Lisää Protoprintistä voi lukea asiantuntijahaastattelusta.

#### **4.4 Ekotuotteiden selviämismahdollisuudet**

Clinen (2012, 208) mukaan ekologisen muodin kysyntä on kasvanut kun yhä suurempi osa kuluttajista on kiinnostunut vaatteensa tai ruokansa alkuperästä. Yhä useampi ostaa luomua ja lähiruokaa ja lähituotannon arvostus on kasvanut. Myös kiinnostus ekologiseen muotiin on kasvanut, vaikka tarjonta on vielä nykyään melko yksipuolista. Clinen mukaan ekologisen muodin ongelma on, että ekologisuus on sen itseisarvo eikä suinkaan design. Luomupuuvillasta tehty t-paita on usein ilmeeton ja yksinkertainen ja sitä myydään vain sen tuotantotavan ekologisuudella.

Cline (2012, 207-209) toteaa, että ainoa keino, jolla ekologinen muoti pystyisi tehokkaasti kilpailemaan ketjumuotijättien tarjoamien vaihtoehtojen rinnalla, on tarjota paremmin suunniteltuja, laadukkaampia ja yksilöllisempiä tuotteita. Näiden lisäksi tuotteet ovat ekologisia, mutta sen ei tarvitse olla niiden ensimmäinen – eikä välttämättä toinen – markkinointiargumentti. Vasta sitten ekologisuus pystyy tarjoamaan paremman vaihtoehdon halvemmille ketjutuotteille ja herättämään paljon suuremman asiakaskunnan kiinnostuksen. Clinen mukaan ostajan kannalta tuotteen tarjoamien muiden arvojen tulee olla niin vahvoja, että ne ylittävät sen tosiasian, että lähituotanto ja ekomateriaalien käyttö tekee tuotteesta lähes poikkeuksetta huomattavasti kalliimpaa.

Samat arvot ja keinot pätevät myös ekotulostukseen. Mahdollisuudet ovat tälläkin hetkellä kovin rajalliset mutta niihin voidaan vaikuttaa ostopäätöksillä. Ala kehittyy jatkuvasti ja tarjoaa varmasti jo täysin uusia ratkaisuja parin vuoden kuluttua. Kuitenkin ekologisten materiaalien käytön tulisi olla vain materiaalivalinta eikä koko tuotteen tarkoitus, varsinkin kun tulostamalla ekologiset materiaalit eivät ole välttämättä edes samassa suhteessa kalliimpia kuin vaateteollisuudessa. Estetiikan

huomiottajättäminen korostuu ekopuuvillaisessa t-paidassa, jonka kaavoituksiin ei ole laitettu paljoa ajatuksia, mutta samalla tavalla mahdollisesti myös ekotulostetussa 3D-mallissa. Tuotteen suunnittelu ja sen laatu tulisi aina olla pääosassa. Tällä hetkellä ehkä paras keino vaikuttaa tuotteiden ekologisuuteen on suunnitella tuote käyttäen mahdollisimman vähän materiaalia. Kappaleessa 7 on koottu 6 ohjesääntöä ekologisempaan 3D-tulostamiseen, joilla suunnittelija voi itse vaikuttaa käytettävien materiaalien määrään ja säästämiseen ja siten myös tuotteiden ekologisuuteen.

#### **4.5 Tulevaisuuden ekotulostus**

Hornen (Horne 2013) mukaan parasta ratkaisua 3D-tulostuksen ekologisuusongelmaan ei vielä ole ja ekologisten tulostusmateriaalien ongelma on niiden huono hinta-laatu –suhde. Erilaisia ratkaisuja kuitenkin kehitetään jatkuvasti alan yhteisöissä. Kehitteillä olevia alan muutoksia, jotka parantaisivat mahdollisuuksia tuottaa kappaleita ekologisemmin, ovat muun muassa 3D-tulosten ja –materiaalien ominaisuuksien selkeämpi tarjonta, yhteensovittavuus ja avoimet standardit. Tällöin kuluttajan ei tarvitsisi käyttää ainoastaan yrityksen valtuuttamia materiaaleja, vaan tulostimeen voitaisiin sovittaa muitakin erilaisia materiaaleja.

Kuten usein uusista teknologioista puhuttaessa, myös tulevaisuuden ekotulostuksen mahdollisuuksia voidaan kuvailla lähes rajattomiksi. 3D-tulostimet ovat tulleet suuren yleisön tietoisuuteen vasta suhteellisen vähän aikaa sitten, jolloin niiden kehittymiselle on vielä runsaasti tilaa. Varsinkin nykyään kun 3D-tulostinten ja materiaalien kehitys ei ole pelkästään suurten yritysten vastuulla vaan alan pienyrittäjiä ja alasta kiinnostuneita kehittäjiä tulee kokoajan lisää. Erilaisia uusia ideoita kehitellään jatkuvasti alan harrastajien ja yrittäjien foorumeilla. Kehitykseen ovat osallistuneet myös koulut ja osa alan uusista innovaatioista on lähtenytkin juuri kouluprojekteista tai koulun tukemana alkuun, kuten esimerkiksi haastateltu Proto-print-yritys.

Sosiaalisen kannattajaryhmän voimavaran huomaa esimerkiksi erilaisissa sosiaalisissa ryhmärahoituksissa. Tässä työssäkin aikaisemmin mainittu edullisia mini-printtereitä tuottamaan alkava M3D-yritys haki 50000 dollarin (36220 euron) alku-

pääoman rahoitusta yhteisörahoitus Kickstarter-sivuston kautta. Yrityksen tavoite täyttyi ennätysellisessä 11 minuutissa ja tunnissa yritys oli saanut jo miljoonan dollarin (720000 euron) yhteisörahoituksen. Uutta alaa kohtaan löytyy siis paljon kiinnostusta ja se houkuttelee niin uusia kehittäjiä kuin rahoittajia.

Faludin (2013) mukaan uudenlaista täysin ekologista tulostusinnovaatioita edustaa nykypäivänä muun muassa Markus Kayserin Solar sinter. Laite käyttää energiaan täysin aurinkovoimaa ja se tulostaa hiekasta auringon säteiden avulla lasia (Kuva 12). Laite on täysin ekologinen ja päästötön. Lisäksi materiaalia löytyy runsaasti.

Aalto-yliopiston digitaalisen suunnittelun laboratorion johtaja Kivi Sotamaan (Perttu 2014) mukaan ympäristö tulee hyötymään 3D-tulostuksesta kun tuotteet voidaan tehdä paikallisista materiaaleista kuten hiekasta, selluloosasta tai jätemuovista. Sotamaa kertoo kuitenkin, että vaikka teknologian murros on edessä, muutosten laadun parhaiten tietävät eivät kuitenkaan välttämättä kerro niistä, sillä se on heille rahanarvoista tietoa. Samaa tapaan myöskään 3D-tulostuksen ekologisia näkökulmia ei kaikkia pysty vielä ennustamaan, varmaa kuitenkin on, että teknologia kehittyy ja tuo mukanaan jatkuvasti täysin uusia ja innovatiivisia ratkaisuja.



Kuva 12 Solar sinterin täysin ekologisesti tuotettu ja 3D-tulostettu astia

## 5 PROTOPRINTIN EKOTULOSTUS

Tapasin Kathrine Spiesin New Yorkin 3D-Printshow –messuilla, jossa Protoprint oli esittelemässä innovaatiotaan. Pieni kulmapöytä kuvasi ehkä hyvin ekologisten materiaalien tämän hetkistä tilannetta, sillä tarjontaa on hyvin vähän eikä materiaalien ekologisuutta ole välttämättä tultu ajatelleeksi niin paljoa kun tekniikka on niin uutta. Keskustelimme 3D-tulostuksen ekologisuudesta kaupallisesta näkökulmasta ja Spiels kertoi Protoprintin tavasta ratkaista 3D-tulostuksen ekologisia ja eettisiä ongelmia. Spiels lupasi auttaa opinnäytetyössäni mikäli tarvitsisin apua ja lähettelimme messujen jälkeen sähköpostia aiheesta. Spiels vastasi järjestelmällisesti numeroituihin haastattelukysymyksiin 8.4.2014 käydyssä sähköpostikeskustelussa, joista kokosin tämän haastattelun. Esitetyt kysymykset löytyvät liitteestä 2.

Protoprint on Intian Puneista lähtöisin oleva yritys, joka tarjoaa reilun kaupan 3D-tulostusmateriaalia kierrätetystä muovista. Tavoitteena on tarjota intialaisille muovinkerääjille parempaa tulevaisuutta parempien tulojen muodossa. Muovinkerääjät kuuluvat Intian alimpiin kasteihin. Noin 2 miljoonaa intialaista muovinkerääjää erotelee päivittäin muovi- ja biojätettä kaatopaikoilla, josta he ansaitsevat päivässä alle euron. Kun saman kerätyn muovin voi kierrättää 3D-tulostusmateriaaliksi, sen arvo kasvaa merkittävästi. Protoprint tarjoaa tällaisia kierrätyspisteitä, jossa muovinkerääjät voivat suoraan itse puhdistaa, rouhia ja tulostaa keräämänsä muovijätteen tulostusmateriaaliksi. Kun kierrätetyn muovin voi myydä tällaisena uutena materiaalina, kerääjän päivittäinen tulo kasvaa noin 15-kertaiseksi. Tehtävä materiaali on käytännössä muovinauhaa, joka sopii FDM (Fused Deposition Modeling) –tekniikkaa käyttäviin laitteisiin, joka käyttää muovinauhaa kuumaliimapistoolin tavoin sulattaen massan, joka kovettuu tulostuksen jälkeen paikoilleen. FDM-tekniikkaa käyttävät yleisesti kotitulostimiksi luokitellut 3D-tulostimet, jonka vuoksi sen markkinatkin ovat suuremmat.

Spiels kertoo Protoprintin ajatuksen lähteneen siitä, että vaikka intialaisia muovinkerääjiä syrjittiin sekä sosiaalisesti että taloudellisesti, heidän keräämällään muovilla oli kuitenkin valtavasti luontaista arvoa. Lisäksi yritys löysi markkinaraon kierrätetylle muovilangalle suhteessa kierrättämättömään, neitseelliseen muoviin. Spielsin mukaan on melko ristiriitaista puhua 3D-tulostuksen materiaalisäästöistä

käytettäessä neitseellisiä muoveja, sillä vaikka 3D-tulostuksen avulla säästetään paljon valmistusvaiheen hukkamateriaaleissa, tulostus kuitenkin lisää hävitettävän muovijätteen määrää. Ennen Protoprintin perustamista markkinoiden kierrätysmateriaaleja kartoitettiin yrityksen toimesta, eikä niitä oikeastaan edes markkinoilta löytynyt. Seuraavaksi Protoprint aloitti suunnittelun, miten muovia kierrättämällä saisi uutta materiaalia. Projekti osoittautui yllättävän haastavaksi, sillä yritykselle oli haasteellista, miten kierrätetystä muovista saa yhtä vahvaa ja luotettavaa tulosjälkeä kuin kierrättämättömistä muoveista.

Suuri osa projektin tiimistä oli kotoisin Intiasta, jolloin yhteistyökumppaneiden ja oikeiden kontaktien hakeminen oli helpompaa. Protoprint alkoi tehdä yhteistyötä muovinkerääjien yhteistyöjärjestön kanssa ja koulutti pienen määrän paikallisia kerääjiä käyttämään laitteita ja tuntemaan käytännön ongelmat, koska projektin hallitseminen vain Yhdysvalloista käsin ei olisi onnistunut ilman paikan päällä olevia osaavia ihmisiä.

Vaikka yritys julkaisee tuotteensa vasta kesä/heinäkuun vaihteessa 2014, on yritys saanut jo paljon huomiota ja kiinnostusta. Ennakkotilauksia jälleenmyyjiltä ja yksityisiltä asiakkailta on tullut jatkuvasti enemmän, mitä enemmän yritys on ollut esillä muun muassa erilaisilla messuilla ja uutisissa.

Koska yleisenä vaihtoehtoisten materiaalien ongelmana on, että ne on tehty sopimaan vain yrityksen omiin laitteisiin ja monet 3D-tulostimia myyvät yritykset myyvät myös omia materiaaleja, kysyin myös Spielsin mielipidettä asiaan ja syytä, miksi Protoprint on päättänyt toimia toisin. Spiels kertoi uskovansa vahvasti avoimeen kehitystyöhön. Spielsin mukaan 3D-tulostuksen ei tulisi olla omistusoikeuksien tai patenttien takana, vaan mahdollisimman helposti kaikkien saatavilla ja hyödynnettävissä. Tämä tarkoittaa sitä, että myös materiaalin tulisi olla edullista ja ympäristön kannalta kestävä. Spielsin mukaan mitä universaalimmiksi ja yleisemmiksi materiaalit tulevat ja mitä helpommin samoja materiaaleja voidaan käyttää eri laitteissa, sitä helpompi niitä on tuottaa ja myydä. Protoprintin tapauksessa tämä auttaa enenemässä määrin siis muovinkerääjiä.

Muovilankaa käyttävä tulostin eroaa tekniikaltaan kuitenkin muun muassa Young Skills –osuuskunnan käyttämästä Objet-tulostimesta, joka käyttää inkjet-

tekniikkaa. Inkjet on myös Stratasyksen patentoima ja kehittämä tekniikka, samoin kuin FDM-tekniikkakin. Kysyttäessä laajenemismahdollisuuksista Protoprint aikoo jatkossakin kuitenkin pysytellä FDM-tekniikassa ja tarjota näihin laitteisiin sopivaa muovinauhaa, sillä FDM on kotikäyttöisistä laitteista yleisin käytetty tekniikka ja Protoprint näkee FDM-käyttöisten tulostimien markkinoiden vain kasvavan. Tulevaisuudessa on tarkoitus laajentaa tuotetarjontaa vain koskemaan nauhan paksuutta tai väriä, ei uutta tekniikkaa.

Tällä hetkellä Protoprint on vielä testausvaiheessa tuotteidensa suhteen, jotta voidaan varmistaa muovinauhan kilpailukykyinen laatu suhteessa kierrättämättömään muovinauhaan. Kierrätettyä muovinauhaa on testattu yrityksen tulostuslaboratoriossa kohta puolen vuoden ajan, jotta tuotteesta saadaan mahdollisimman tarkat tiedot, muun muassa suuttimien optimaalisesta lämpötilasta, syöttönopeudesta ja kerrospaksuudesta. Spielsin mukaan vaihtoehtoisten materiaalien käyttäjät eivät useinkaan saa minkäänlaisia laatutakuita tai ohjeistuksia laitteen asetuksista, jotka sopivat tulostettavaan materiaaliin, joten Protoprint on päättänyt omalle tuotteelleen tarjota mahdollisimman tarkat ohjeet, jotta niiden käyttö olisi helpompaa ja käyttöönotto kynnys alhainen.

Spiels mukaan Protoprint ei ole kohdannut mitään vaikeuksia korostaessa yrityksen ekologista ja eettistä imagoa eikä se ole ollut uskottavuustekijä -oikeastaan päinvastoin. Spiels uskoo, että Protoprintin tarjoamalla materiaalilla on loistavat mahdollisuudet menestyä kaupallisesti, sillä tuotteen lisäarvot ovat niin hyvät. Vaikka tuote on ekologinen, se on kuitenkin edullinen ja ominaisuuksiltaan vastaava verrattuna kierrättämättömään muoviin. Tulostusmateriaalin hinnan arvioidaan olevan samalla tai edullisemmalla tasolla kuin kilpailijoiden kun tuote saadaan viimein markkinoille kesällä 2014. Tuote tarjoaa silloin houkuttelevia lisäarvoja, joiden ansiosta se kiinnostaa suurta joukkoa potentiaalista asiakaskuntaa.

## 6 EKOLOGISEN 3D-MUOTOILUN 6 SÄÄNTÖÄ

Tuotteen tulostajalla on suuri merkitys siihen, kuinka ekologinen tuote on. Alla on listattu 6 muistisääntöä suunnittelijalle, miten tuotteesta voi tehdä entistä ekologisemman ja edullisemmän säästämällä kappaleen käyttämää materiaalia ja tuotantoaika (sähköä), jotka ovat suoraan suhteessa myös hintaan. Vaikka materiaalit eivät olisikaan kierrätettäviä, niiden kulutusta voidaan silti vähentää.

1. Älä tulosta turhaan. 3D-tulostin tulostaa vain mallissa olevan informaation, eikä osaa korjata mallintajan mahdollisia ajatusvirheitä. Tarkista, että kappale on tiivis ja esimerkiksi seinämien paksuudet ovat oikeanlaiset ennen tulostamista.
2. Tee tuotteesta ontto. Kappaleen keskelle ei tarvitse tulostaa turhaan materiaalia, mikäli sen seinämät ovat materiaalin vaatimuksien mukaiset (Design for cheaper 3D printing: scale, hollow, and carve 2014).
3. Skaalaa. Tuotetta ei tarvitse tulostaa tarpeettoman isona, mutta muista tarkistaa, että kappaleen seinien paksuus säilyy materiaalin seinämien paksuuden suosituissa rajoissa (Design for cheaper 3D printing: scale, hollow, and carve 2014).
4. Kaiverra. Kaivertaminen tekee tuotteesta kevyemmän ja säästää materiaalia (Design for cheaper 3D printing: scale, hollow, and carve 2014).
5. Asettele tulostusalalle. (France 2014, 5) Asettelemalla tuotteen sopivaan asentoon tulostamista varten, voidaan tukiaineen ja energian käyttöä säästää. Tukiainetta tarvitaan yleensä kun ulkonema ylittää 45 asteen rajan, jolloin sen käyttö lisää tulostus- ja viimeistelyaika ja kuluttaa materiaalia, joka on tarkoitus heittää pois. Asettamalla korkean kappaleen vaakatasoon pystytason sijasta nopeutetaan myös tulostusaikaa eli säästetään käytettyä energiaa.
6. Tulosta useampia kappaleita kerralla. Inkjet-tekniikalla tulostusaika on suunnilleen sama tulostaessa yhtä tai useampia kappaleita (Faludi 2013). Energiaa säästyy kun kappaleet voidaan tulostaa kerralla, jolloin niiden kappalekohtainen ekologinen jalanjälki voi jopa puolittua.

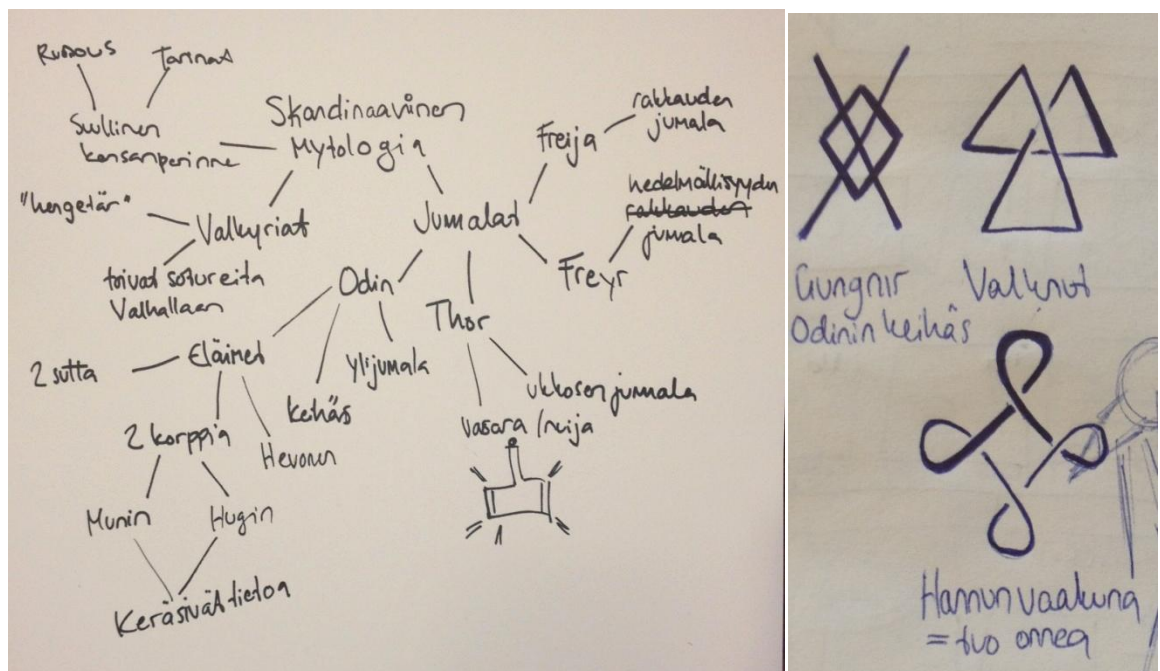


## 7 EKOLOGISEN ASUSTEEN SUUNNITTELU

### 7.1 Ideointi

Halusin toteuttaa opinnäytteeni tueksi esimerkinomaiseksi myös asusteen, joka olisi tulostettu mahdollisimman ekologisesti. 3D-tulostus mahdollistaa hyvin vapaat ja mielikuvitukselliset muodot. Koska asuste tuli vain itselle, sain suunnitteluun hyvin vapaat kädet ja halusin toteuttaa vaihtelunvuoksi jotain erilaista. Tavoitteena olisi saada aikaan näyttävän asusteen malli. Halusin vaihtelun vuoksi keskittyä historiaan ja antiikinajan ja rautakausien uskonnoista löytyi paljon inspiroivaa materiaalia. Halusin keskittyä skandinaaviseen mytologiaan osaksi siksi, että halusin tehdä jotain, joka liittyy osaltaan Suomeen. Vaikka erilaiset mytologiat ovat olleet jo hetken esillä niin TV:ssä kuin elokuvissa, halusin hieman leikitellä teemalla ja toteuttaa jotakin uudella tavalla.

Aloitin ideoinnin mindmapin teolla, johon keräsin erilaisia skandinaaviseen mytologiaan liittyviä asioita sekä piirsin erilaisia luonnoksia (kuva 13).



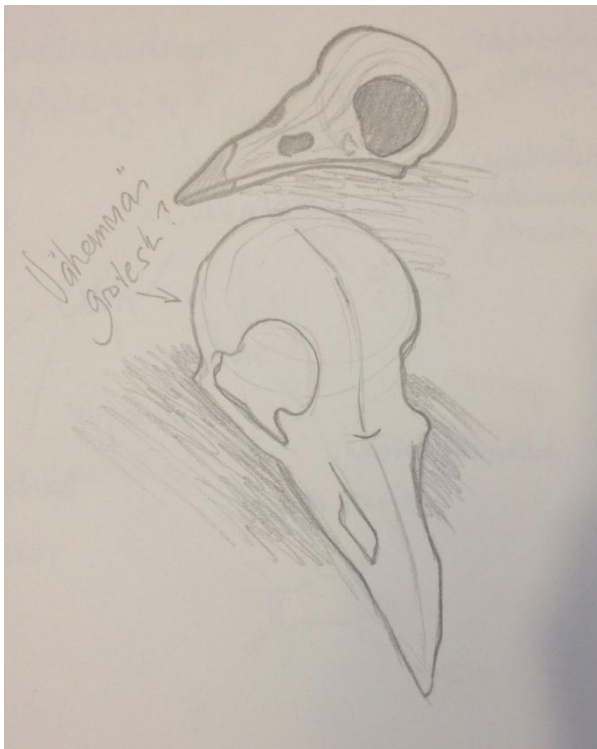
Kuva 13 Ideointi kuvia

## 7.2 Luonnostelu

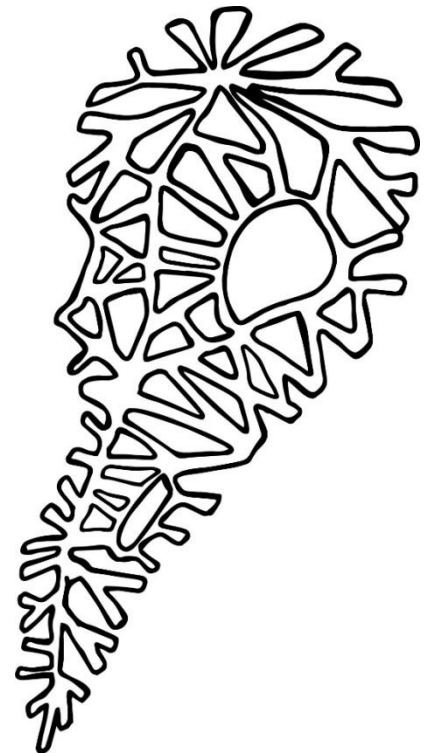
Päätin keskittyä jumaltaruston Odiniin ja Odinin kahteen korppiin, jotka keräävät jumalalle päivän tiedot ja toimivat ikäänkuin jumalan silminä. Korppien tarinan voi lukea liitteestä 3. Aloin luonnostella asustetta, joka kuvaisi kahta korppia olkapäillä. Halusin tehdä tästä tyylieltyemmän version ja pelkkä korpin pää voisi istua paremmin olkapäille pyöreään muotoonsa vuoksi (kuva 14). Lisäksi asusteen pystyisi istuttamaan sopimaan sopivasti olkapään muotoon.

Rakenteen tulisi kuitenkin olla myös mahdollisimman kevyt ja käyttää mahdollisimman vähän materiaalia, jotta sitä voitaisiin pitää ekologisena. Tasainen pinta oli melko tylsä ja ajattelin, että niin sanottu rautalankamalli, jossa kappale koostuisi tavallaan verkosta, tekisi kappaleesta paljon mielenkiintoisemman näköisen (kuva 15). Kuva 16 on kuvakollaasi lopullisesta tuotteesta.

Harjoittelin rautamallintekoa Blender-ohjelmistosta löytyvällä apinanpää-mallilla, jotta tietäisin, mitä kappaleessa tulee ottaa huomioon ennen alkuperäisen mallin rakentamista (kuva 17).



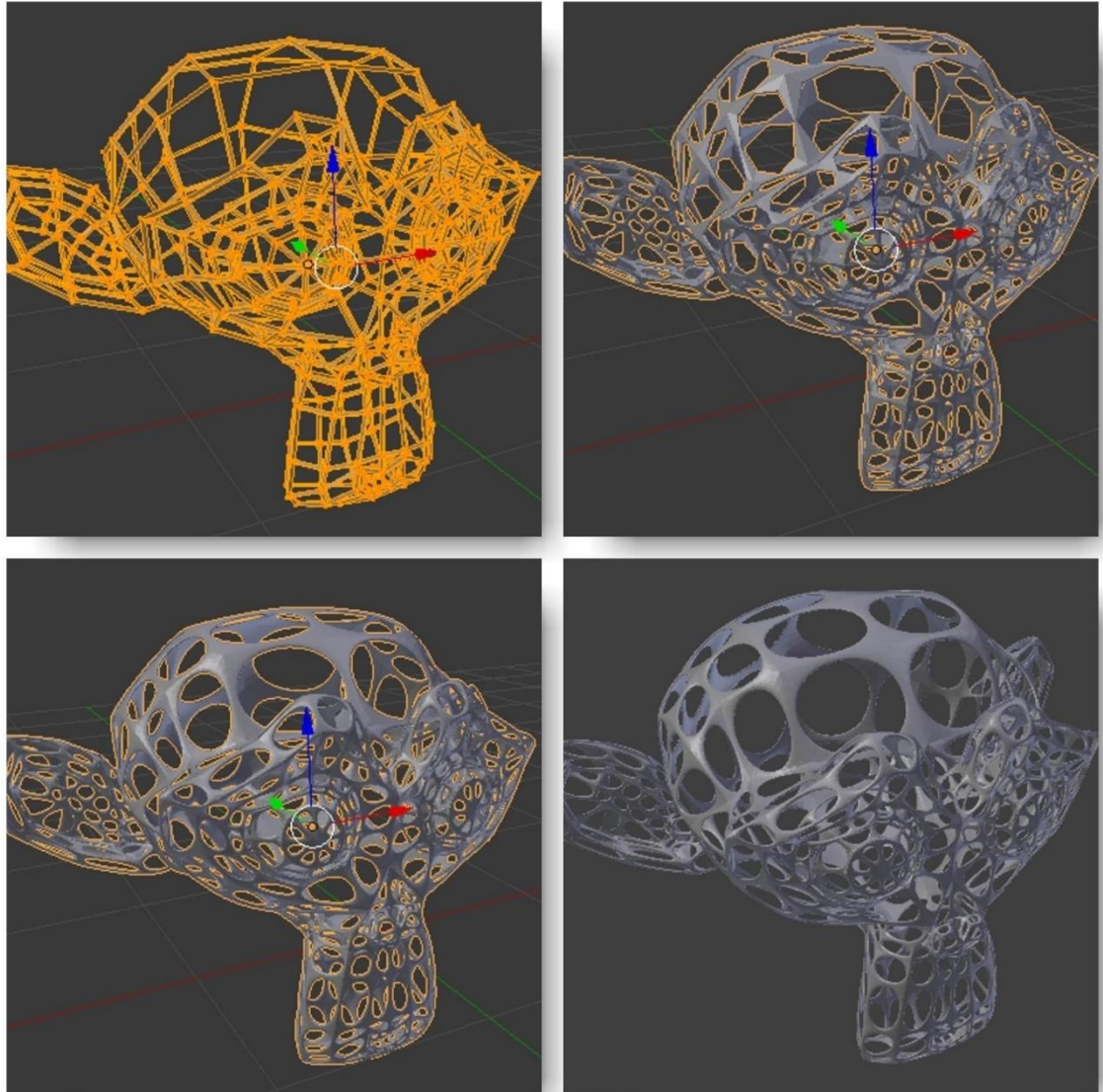
Kuva 14 Mallin luonnoksia



Kuva 15 Mallin pintaluonnos



Kuva 16 Ideakuvakollaasi mallista



Kuva 17 Harjoituksia 3D-mallin pinnan muokkaamisesta

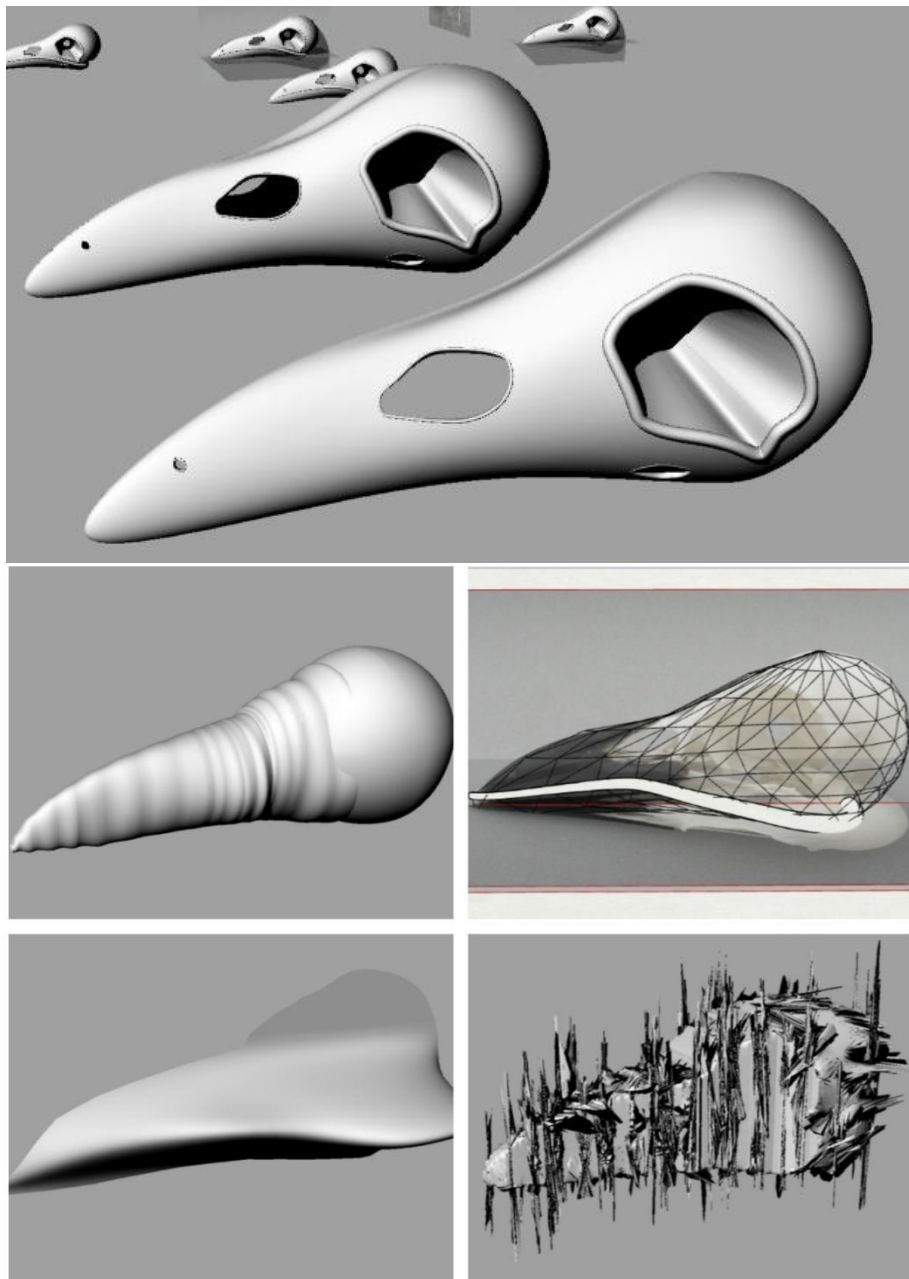
### 7.3 Mallintaminen

Tein mallinnuksen Rhinoceros-ohjelmistolla, sillä se oli ohjelmistoista tutuin.

Päätin tehdä korpimäisen kalloa muistuttavan 3D-mallin, johon keräsin aluksi eri kuvakulmista olevia kuvia, jotka toin Rhinoon avustaviksi mallikuviksi. Mallinnuksen alku vei ensin aikaa, sillä en saanut heti haluamani alkua mallille. Työn aluksi syntyi monta erilaista harjoitusmallia. Erilaisia automaattisia työkaluja apuna käyttäen lopputulos oli välillä hyvin mielenkiintoinen (kuva 18). Oikeanpuoleisessa

keskimmäisessä kuvassa näkyy myös mallissa käytetyt pohjakuvat korpin pääkal-  
lost.

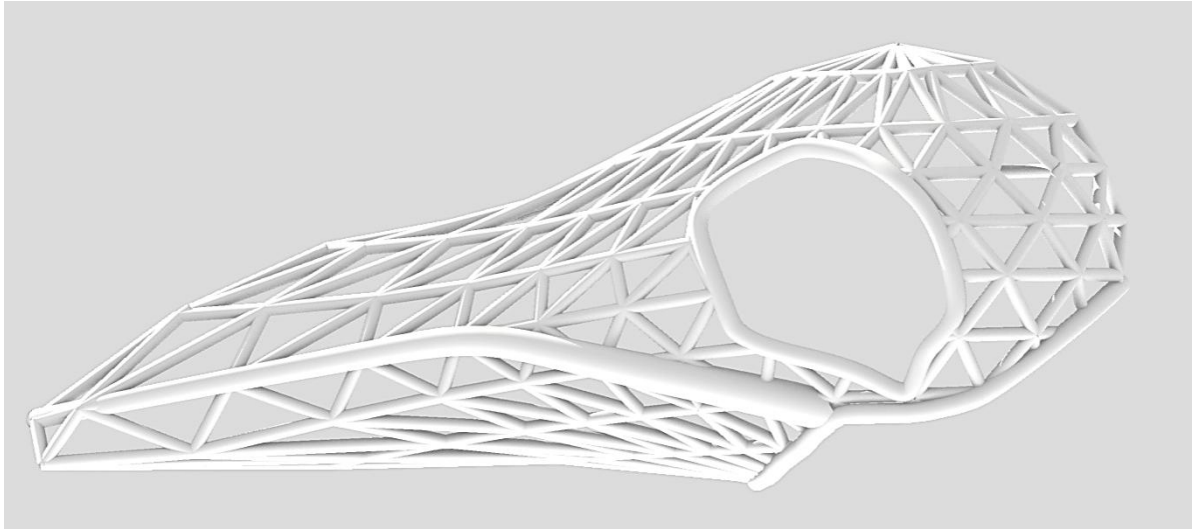
Epäsymmetristen viivojen sijaan päätin tehdä mallista symmetrisen, jotta se olisi  
muun muassa tarvittaessa helpompi tulostaa osissa. Saatuani sopivan pinnan ai-  
kaiseksi, pursotin jokaiselle viivalle paksuuden ja liitin viivat toisiinsa, jolloin malli  
olisi täysin tiivis ja tulostettava.



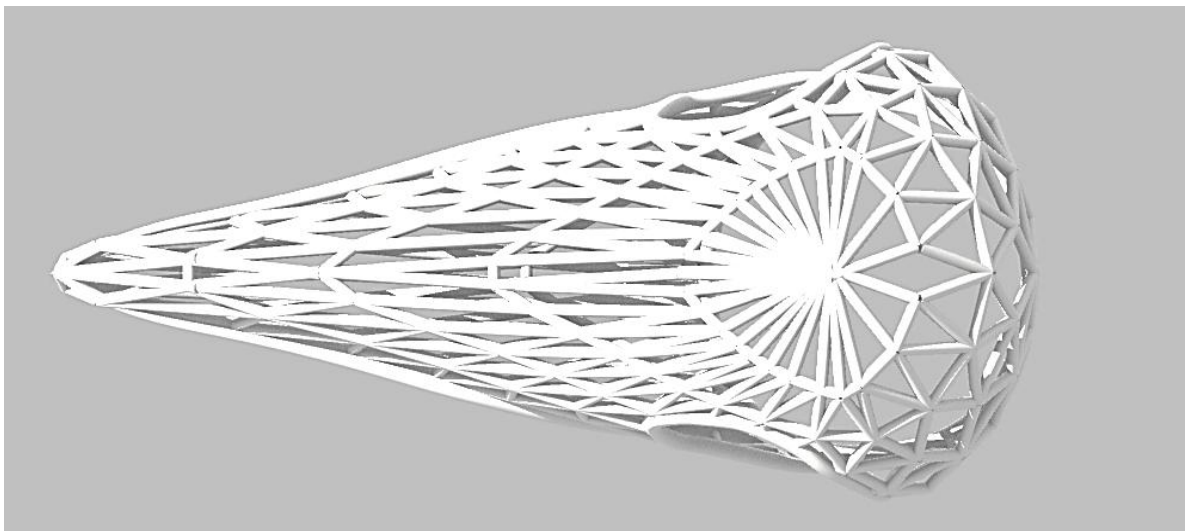
Kuva 18 3D-mallin luonnoksia

## 7.4 Valmis konsepti

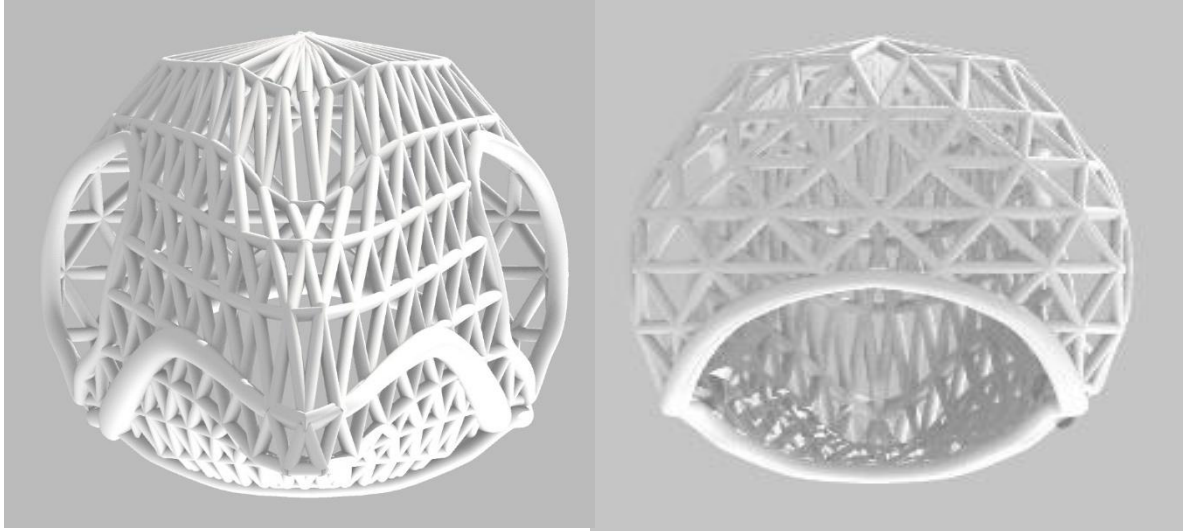
Valmiin konseptin kooksi tuli n 330\*150\*130 mm. Koko määräytyi sen mukaan, jotta se sopisi helpommin tulostusalustalle. Alkuperäiseen malliin leikattiin sopiva aukko, jotta asuste sopisi olkapäälle. Rautalanka-tyyppinen malli säästi huomattavasti tulostettavaa materiaalia. Kuvat 19-22 kuvaavat valmista konseptia eri kuvakulmista.



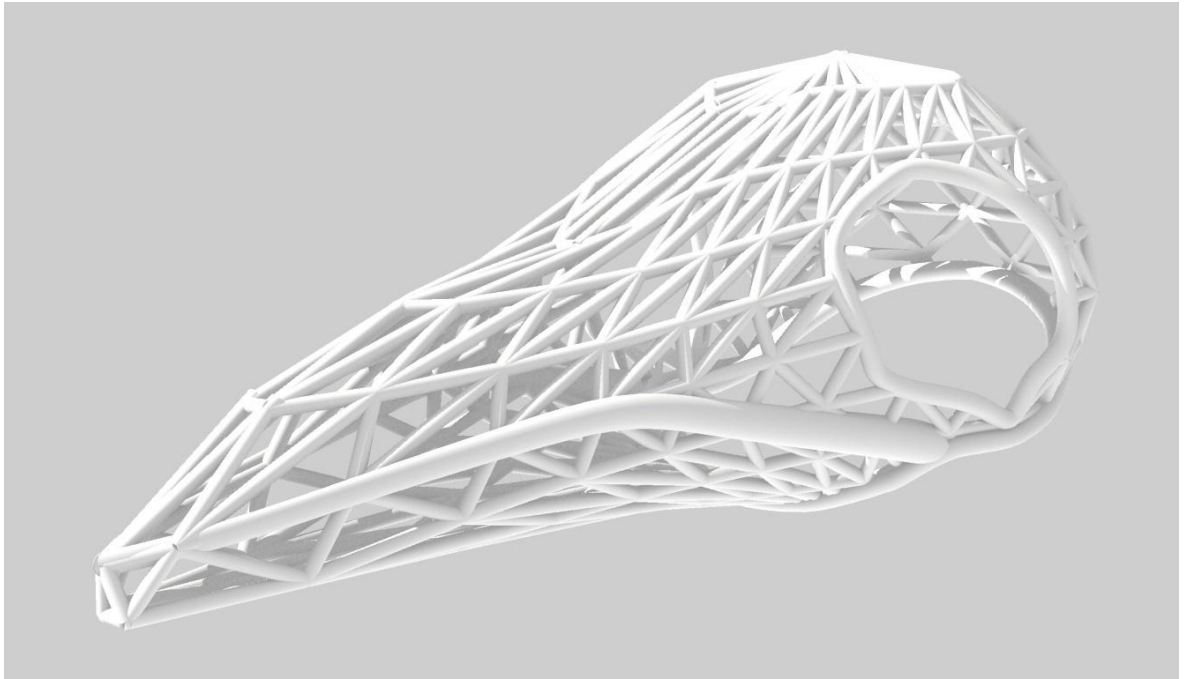
Kuva 19 Valmiin 3D-mallin sivuprofiili



Kuva 20 Valmiin 3D-mallin päälikuva



Kuva 21 Valmis 3D-malli edestä ja takaa



Kuva 22 Valmiin 3D-mallin perspektiivikuva

## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Työn tarkoituksena oli tutkia miten ekologiset arvot voidaan yhdistää 3D-tulostukseen ja mitä uusia ulottuvuuksia ja mahdollisuuksia tulostus tuo tuotesuunnitteluun. 3D-tulostuksella on hyvin odotetustikin mahdollisuudet antaa hyvin paljon tuotesuunnitteluun ja protojen tuottamiseen. Tulevaisuudessa 3D-tulostuksen merkitys lopputuotteiden tuotannossa varmasti vain kasvaa.

3D-tulostuksen avulla voidaan tuotteita suunnitella täysin eri tavalla kun muottien asettamia rajoituksia ei tarvitse ottaa huomioon. Tuotteessa voidaan myös paremmin keskittyä esimerkiksi ergonomisuuteen eikä tuotetta tarvitse suunnitella vain suurimman asiakasryhmän mukaan, sillä tuotteesta voi olla rajoittamaton määrä erilaisia variaatioita ilman suuremman tilauskoon tuomaa lisälennusta. Kappaleen monimutkaisuus ei myöskään tuo lisäkuluja suhteessa saman materiaalmäärän kuluttamaan yksinkertaiseen muotoon. 3D-tulostimet ovat kuitenkin vielä niin hitaita, ettei ne vielä sopeutune massatuotantoon. 3D-tulostimet voivatkin soveltua erityisesti pk-yrityksille, koska ne saattavat tarjota täysin uudenlaisen kilpailuedun kun tuotteen suunnittelu on paljon vapautuneempaa ja yksilöllisempää. Tulostimet myös vapauttavat tekijän tuotantotunneista, sillä kone pystyy työstämään kappaleita ympäri vuorokauden.

Ehkä suurin ongelma kappaleen tuottamisessa on kuitenkin mallintajan taito tehdä mallista tulostettava. Mallinnusohjelmat kuuluvat jo melko kiinteästi erilaisiin koulutusohjelmiin, mutta yksi tulevaisuuden mahdollisuus esimerkiksi tuotesuunnitteluun voi olla monialainen suunnittelu, jossa lopullisen mallinnuksen voisi ulkoistaa mallinnuksen ammattilaisella, jolloin suunnittelija voisi keskittyä tuotteen esteettisyyteen ja ergonomiaan.

3D-printterit ovat tulleet suuren julkisuuden kohteeksi vasta viime aikoina, vaikka tekniikka itsessään on jo vanha. Erityisesti Internet on yhdistänyt alan harrastjia ja ammattilaisia ja uusia innovaatioita kehitetään jatkuvasti. Työn edetessä oli yllättävää, kuinka vähän ekologisia vaihtoehtoja 3D-tulostukseen löytyi. Innovaatioita tehdään jatkuvasti ja ne ovat saaneet myös erityisen suurta tukea esimerkiksi yhteisörahoituspalveluissa. Vaihtoehdot ovat varmasti jo täysin erilaiset muutaman vuoden kuluttua. Uusien ekoinnovaatioiden yhtenä ongelmana on, että uudet ma-



terialit on tehty vain myyvän yrityksen omiin tulostimiin, jolloin materiaaleja ei ole mahdollisuus soveltaa erilaisiin tulostimiin, eivätkä kuluttajat uskalla kokeilla uusia yrityksen valtuuttamattomia materiaaleja tulostimiin takuun menetyksen pelossa. Uusien vaihtoehtojen etsiminen ja tukeminen kuitenkin helpottaa niiden yleistymistä. 3D-tulostimien yleinen ekologinen ongelma on niiden kuluttama sähkö, vaikka tulostin säästää hukkamateriaalia. Tulostin kuluttaa myös joutoaikanaan energiaa, jota sen mahdollisimman aktiivinen käyttö vähentää.

Ehkä suurimman ekologisen vaikutuksen saa kuitenkin aikaan itse mallintaja. Ottamalla ekologisuuden huomioon jo suunnitteluvaiheessa, saadaan lopputuotteesta ekologisen lisäksi myös edullisempi, sillä tavoitteena on säästää turhaa tulostusmateriaalia, tukiaineita ja tulostusaikaa, joka on lähes suorassa suhteessa kappaleen hintaan. Ottamalla huomioon kappaleen materiaalin rajoitukset vältetään tulostamasta kappaleita turhaan ja saadaan kerralla toimiva tulostettu kappale. Tekemällä kappaleesta onton, skaalaamalla ja kaivertamalla säästetään turhaa materiaalia. Asettelemalla kappaleen sopivaan asentoon tulostusalustalle voidaan säästää merkittävästi tukiainetta. Tämä tarkoittaa, että esimerkiksi kapea ja korkea kappale asetellaan alustalle poikittain. Myös useampien kappaleiden tulostaminen kerralla näyttäisi säästävän energiaa.

Pysyin työn aikataulussa suhteellisen hyvin, vaikka työhön tehtävän 3D-mallin teko vei yllättävän paljon aikaa. 3D-mallista ei työhön saanut tulostettuja kuvia, mutta tarkoitus on tulostaa kappale myöhemmin kun kierrätetyt muovimateriaalit tulevat markkinoille. Työn teko Yhdysvalloista käsin oli yllättävän joutuisaa, vaikka olin aluksi varautunut kohtaamaan suurempia ongelmia. Lähteet olivat kuitenkin pääosin nettilähteitä, sillä tuoreesta aiheesta ei ollut tarjolla vielä montaakaan kirjaa. Koululta saatu tuki auttoi pysymään muiden mukana, josta olen hyvin kiitollinen. Kokonaisuudessaan työ antoi paljon. Tapasin tätä tehdessä paljon mielenkiintoisia ihmisiä ja opin aiheesta paljon lisää, joka oli työni tavoitteeni.

## LÄHTEET

- 23.6.2004/613 3§. Valtioneuvoston asetus kulutustavaroista ja kuluttajapalveluksista annettavista tiedoista.
- Autodesk 123D. 2013. [Verkkosivu]. Autodesk. [Viitattu 26.2.2014]. Saatavana: <http://www.123dapp.com/>.
- Barnatt, C. 2013. 3D printing. Charleston: ExplainingTheFuture.com.
- Catherine Wales. 2013. [Verkkosivu & kuvat]. Lontoon taideyliopisto. [Viitattu 3.3.2014]. Saatavana: <http://showtime.arts.ac.uk/CathWales>.
- Chilson, L. 2014. [Blogimerkintä]. Protoparadigm. [Viitattu 15.4.2014]. Saatavana: <http://www.protoparadigm.com/blog/2013/01/the-difference-between-abs-and-pla-for-3d-printing/>.
- Cline, E. 2012. Overdressed –the shockingly high cost of cheap fashion. New York: Penguin Group.
- Crystallization. 2010. [Verkkosivu]. Iris van Herpen. [Viitattu 3.3.2014]. Saatavana: <http://www.irisvanherpen.com/haute-couture#crystallization>.
- Design for cheaper 3D printing: scale, hollow and carve. 2014. [Verkkosivu]. Shapeways. [Viitattu 25.2.2014]. Saatavana: [http://www.shapeways.com/tutorials/design\\_for\\_cheaper\\_3d\\_printing](http://www.shapeways.com/tutorials/design_for_cheaper_3d_printing).
- Duann, S. 10.12.2013. Victoria's Secret Snow Angel Spreads Her 3D Printed Wings. [Blogimerkintä]. Shapeways. [Viitattu 6.3.2014]. Saatavana: <http://www.shapeways.com/blog/archives/2383-victorias-secret-snow-angel-spreads-her-3d-printed-wings-video.html>.
- Duann, S. 5.3.2013. Revealing Dita Von Teese in a Fully Articulated 3D Printed Gown. [Blogimerkintä]. Shapeways. [Viitattu 6.3.2014]. Saatavana: <http://www.shapeways.com/blog/archives/1952-revealing-dita-von-teese-in-a-fully-articulated-3d-printed-gown.html>.
- Escapism. 2011. [Kuvat]. Iris van Herpen. [Viitattu 3.3.2014]. Saatavana: <http://www.irisvanherpen.com/haute-couture#escapism-couture>.
- Faludi, J. 2013. Environmental impacts of 3D printing. [Verkköjulkaisu]. Autodesk. [Viitattu 17.3.2014]. Saatavana: <http://sustainabilityworkshop.autodesk.com/blog/environmental-impacts-3d-printing>.

- Filabot –original. 2014. [Verkkosivu]. Filabot. [Viitattu 18.3.2014]. Saatavana: <http://www.filabot.com/collections/filabot-core/products/filabot-original>.
- Filabot –reclaimer. 2014. [Verkkosivu]. Filabot. [Viitattu 18.3.2014]. Saatavana: <http://www.filabot.com/collections/filabot-core/products/filabot-reclaimer>.
- France, A. 2014. Make: 3D printing. Sebastopol: Maker Media Inc.
- Horne, R. 2013. 3D Printing Plastics — Trials, Tribulations and A Need for Ethical Change. [Verkkajulkaisu]. 3D printing industry. [Viitattu 17.4.2014]. Saatavana: <http://3dprintingindustry.com/2013/11/21/3d-printing-plastics-trials-tribulations-need-ethical-change/>.
- Howarth, D. 2013. Everybody could have their body scanned and order clothes that fit perfectly. [Verkkajulkaisu]. Dezeen. [Viitattu 6.3.2014]. Saatavana: <http://www.dezeen.com/2013/04/24/iris-van-herpen-interview/>.
- Jokinen, A. 2010. 3D-ohjelmistot vaatetusteollisuudessa. [Diplomityö]. Tampereen teknillinen yliopisto. [Viitattu 25.2.2014]. Saatavissa: <http://dSPACE.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/6829/jokinen.pdf?sequence=3>.
- Kansakunnan tila. 2013. [Verkkajulkaisu]. Valkoinen talo. [Viitattu 15.4.2014]. Saatavana: <http://www.whitehouse.gov/state-of-the-union-2013>.
- Kestomuovit. 2014. [Verkkajulkaisu]. Muoke. [Viitattu 15.4.2014]. Saatavana: <http://www.muovimuotoilu.fi/content/view/147/211/>.
- Khoshnevis, B. 2012. [Verkkoluento]. TedTalks. [Viitattu 26.2.2014]. Saatavana: <http://www.youtube.com/watch?v=JdbJP8Gxqog>.
- Kuneinen, E. 2013. Review of materials that can be 3D printed at home. [Verkkajulkaisu]. 3D printing industry. [Viitattu 26.2.2014]. Saatavana: <http://3dprintingindustry.com/2013/01/07/review-of-materials-that-can-be-3d-printed-at-home/>.
- Laywoo-D3. 18.9.2012. [Verkkajulkaisu]. 3D printing industry. [Viitattu 6.3.2014]. Saatavana: <http://3dprintingindustry.com/2012/09/18/laywoo-3d-the-latest-on-3d-printed-wood/>.
- Lindow, J. 2002. Norse mythology : a guide to the Gods, heroes, rituals, and beliefs. New York: Oxford University Press.
- Lipson, H. & Kurman, M. 2013. Fabricated –The new world of 3D printing. Indianapolis: John Wiley & Sons, inc.

Lotus top. 9.7.2011. [Valokuva]. Threeform. [Viitattu 27.2.2014]. Saatavana: <http://threeformfashion.com/?p=56>.

Lyhenneluettelo. 2013. [Verkkosivu]. Kotimaisten kielten keskus. [Viitattu 25.2.2014]. Saatavana: <http://www.kotus.fi/index.phtml?s=2149>.

Manninen, S. 2013. 3D-tulostuksen soveltaminen yksilöllisesti istuvien moottori-pyöräkypärien valmistukseen. [Verkojulkaisu]. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Muotoilun yksikkö, teollisen muotoilun koulutusohjelma. Opinnäytetyö. [Viitattu 27.2.2014]. Saatavana: <http://www.theseus.fi/handle/10024/67297>.

Moss, T. 2014. 3D-muotoilija. Scheck and Sireless. 3D printed prosthetics: a digital solution to traditional problems. Luento. 3D Printshow- messut 14.2.2014. New York/ USA.

Objet30 Pro Specifications. 2014. [Verkkosivu]. Stratasys. [Viitattu 18.2.2014]. Saatavana: <http://www.stratasys.com/3d-printers/design-series/precision/objet30-pro>.

Park, R. 15.11.2013. Le FabShop Introduces A New, Seaweed-based 3D Printing Filament Material at The 3D Printshow in Paris Today. [Verkojulkaisu]. 3D printing Industry. [Viitattu 7.3.2014]. Saatavana: <http://3dprintingindustry.com/2013/11/15/le-fabshop-introduces-new-seaweed-based-3d-printing-filament-material-3d-printshow-paris-today/>.

Peels, J. 23.12.2010. [Blogimerkintä]. I.Materialize. [Viitattu 2.3.2014]. Saatavana: <http://i.materialise.com/blog/entry/2010-the-year-in-3d-printing>.

Perttu, J. 2.2.2014. Tutkija: Käsityön muodot ja estetiikka palaavat. [Verkoartikkeli]. Helsingin Sanomat. [Viitattu 6.3.2014]. Saatavana: <http://www.hs.fi/talous/Tutkija+K%C3%A4sity%C3%B6n+muodot+ja+estetiikka+palaavat/a1391232477313>.

Preparing Rhino files for 3D printing. 2009. [Verkojulkaisu]. Pennsylvanian yliopiston muotoilun yksikkö. [Viitattu 26.2.2014]. Saatavana: <http://www.design.upenn.edu/files/preparing-3D-print-files.pdf>.

PrintGreenin haastattelu. 14.2.2014. New York 3D Print Show.

Scherfdesign blogi. 4.12.2013. ERSTE HIGH HEEL ABSÄTZE AUS TITAN IN RAPID MANUFACTURING. [Blogimerkintä & valokuva]. Scherfdesign. [Viitattu 27.2.2014]. Saatavana: <http://scherfdesign.de/blog/>.

Shillito, A. 2013. Digital Crafts. Lontoo: Bloomsbury Publishing Plc.

Stratasyksen blogi. 10.1.2014. Stratasys 3D Printers Help Light Up the Developing World. [Blogimerkintä]. Stratasys. [Viitattu 27.2.2014]. Saatavana:

<http://blog.stratasys.com/2014/01/10/peppermint-energy-3d-printed-solar-generator/>.

Tech Specs. 2014. [Verkkosivu]. M3D. [Viitattu 26.2.2014]. Saatavana: <http://themicro3d.com/>.

Young Skills osuuskunta. 2012. [Verkkosivu]. Young Skills. [Viitattu 18.2.2014]. Saatavana: <http://youngskills.fi/>.

## **LIITTEET**

Liite 1. Materiaalitulukko

Liite 2. Kysymykset Protoprintin Kathrine Spielssille

Liite 3. Hugin ja Munin

## Liite 1 Materiaalitaulukko

Materiaalitaulukko kuvaa erilaisia tulostuspalvelu Shapewayn materiaaleja ja niiden erityisominaisuuksia.

Materiaali	Erytisomaisuudet	Hinta/ cm3 + käsittelykulut/ kappale	Seinämän paksuus	Vahvuus	Yksityis- kohtaisuus	Tasaisuus	Taipuisuus	Kierrätettävyyys
<b>Vahva ja taipuisa muovi</b>	-Kaikkein käytetyin, monikäyttöinen materiaali -Ohuena kerroksena hyvin taipuisa, paksumpina kerroksina vahva -Paljon väri- ja viimeistelyvaihtoehtoja	1,03€< + 1,1€	0,7mm	Korkea	Korkea	Keskiverto	Korkea	Ei
<b>Alumiidi</b>	-Muovikomposiitti, jossa mukana alumiinjauhetta, joka antaa kappaleelle kiiltävän pinnan	1,29€< +1,1€	0,8mm	Keskivert o	Keskiverto	Keskiverto	Matala	Ei
<b>Teräs</b>	-Ihanteellinen korumuotoiluun -Paljon viimeistelyvaihtoehtoja, mm. ruostumattomana, kullattuna tai matta mustana	5,88€< +4,40€	3mm	Korkea	Matala	Keskiverto	Matala	Ei
<b>Sterling- hopea</b>	-Ihanteellinen korumuotoiluun -Saatavana kiillotettuna ja kiilloittamattomana	14,7€< +22€	0,6mm	Korkea	Korkea	Korkea	Matala	Ei
<b>Messinki</b>	-Saatavana kiilloitettuna, kiilloittamattomana ja kullattuna (22k)	11,75€< +7,35€	0,6mm	Korkea	Korkea	Korkea	Matala	Ei
<b>Pronssi</b>	-Yksityiskohtaisiin kappaleisiin -Saatavana kiillotettuna ja kiilloittamattomana	11,75€< +7,35€	0,6mm	Korkea	Korkea	Korkea	Matala	Ei
<b>Keramiikka</b>	-Ruokaturvallinen ja vesitiivis lopputulos -Malli lasitetaan tulostuksen jälkeen	0,26€< +4,40€	3mm	Matala	Matala	Korkea	Matala	Kyllä

## **Liite 2 Kysymykset Protoprintin Kathrine Spielssille**

1. Why did Protoprint decided to offer the alternative filament?
2. Do feel that the market lacks more ecological and ethical materials?
3. How Protoprint has been received on the market? Do you feel that there was a demand?
4. How did the co-operation to India took off? Was there any major problems when setting this? Did somebody went to India to educate and teach and was it hard to separate what plastic could be used and what not?
5. Lot of filaments are designed just to fit the companies own machine. Why did you decided to make a filament fitting for major domestic 3D-printers?
6. Are you planning to widen your product range to printers using different techniques than FDM somewhere in the future or is it better to stick with FDM?
7. How about the filament properties: are the properties the same with other plastic on the market that are not recycled?
8. Do you deliver the filaments yet? And can they be ordered all over the world?
9. How do you see the Protoprints future, for example in 5 years? Do you feel that the demand for greener filaments is higher?
10. Can you estimate the filament costs? Will it be equal to virgin plastics or cheaper/ more expensive?
11. Have you faced any problems when offering ecological and ethical products?



### Liite 3 Hugin ja Munin

Skandinaavisen mytologian yksi keskeisistä hahmoista on Odin. (Lindow 2002, 186-188) Pääjumala Odin on tunnettu viisaudestaan, jonka avulla Odin myyttien mukaan asetti itsensä kaikkien luonnonkappaleiden hierarkian huipulle. Odinilla on myös useita eläimiä, kuten 2 sutta ja 2 korppia. Odinin korpit ovat nimeltään Hugin ja Munin ja niiden nimet tarkoittavat ajatusta ja mieltä. Nimet viittaavaat oletetusti shamaanien transsiin, jossa shamaanin uskotaan voivan vapauttaa ajatuksensa ja mielensä pois itsestään. Odin on mytologian mukaan myös opettanut viisaudellaan korpit puhumaan, jotta ne voisivat kertoa Odinille kaiken näkemänsä.

Lindow (2002, 187-188) viittaa vanhoihin runoihin selittäen korppien merkitystä:

Two raven sit on his [Odin's] shoulders and say in to his ear everything they see or hear. Their names are Hugin and Munin. He dispatches them at daybreak to fly over all the world and they return at breakfast time. From this he becomes wise about many events and thus he is called the Raven-god.

Kirjoittajan oma suomennus runosta:

Kaksi korppia istuu Odinin olkapäillä ja he kertovat hänen korvaansa kaiken mitä näkevät tai kuulevat. Heidän nimensä ovat Hugin ja Munin. Hän lähettää heidät lentoon aamukoitossa maailmojen yli ja he palaavat aamiaisen aikaan. Tämän ansiosta hän tulee viisaaksi monista tapahtumista ja siten häntä kutsutaan Korppi-jumalaksi.