



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**RITVA YLI-ÖYRÄ**  
**3D-TULOSTUKSEN MAHDOLLISUUDET VAATETUKSESSA JA SEN KÄYTTÖ LÄÄKETIETEESSÄ JA RUOANTUOTANNOSSA**  
Diplomityö

Tarkastaja: Assistant Professor Mikko Kanerva

Tarkastaja ja aihe hyväksytty 26.4.2017

## TIIVISTELMÄ

**RITVA YLI-ÖYRÄ:** 3D-tulostuksen mahdollisuudet vaateuksessa ja sen käyttö lääketieteessä ja ruoantuotannossa

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 68 sivua

Toukokuu 2017

Materiaalitekniikan tutkinto-ohjelma

Pääaine: Kuitu- ja tekstiilitekniikka

Tarkastaja: Assistant Professor Mikko Kanerva

Avainsanat: 3D-tulostus, vaateus, lääketiede, ruoantuotanto

Työssä kerrotaan aluksi, mitä 3D-tulostus tarkoittaa sekä menetelmiä, joilla 3D-tulostusta voidaan tehdä. Kerrotaan lyhyesti myös vaateenvalmistuksen prosessista ”ideasta kuluttajille” ja mitä ongelmia siihen liittyy. Tietotekniikasta on saatu jo paljon apua prosessin eri vaiheisiin, mutta mallivaatteita tarvitaan vielä paljon. 3D-tekniikasta on tehty myös tutkimusta paitsi virtuaalisina esityksinä tietokoneen ruudulla, myös 3D-tulostettuina vaatteina. Työssä kerrotaan mitä ja millaisia vaatteita on 3D-tulostuksella saatu aikaan sekä millaisia tekstiilimäisiä tasorakenteita on tehty ja tutkittu. Kerrotaan vaatteiden tekemisestä ja tasorakenteiden tutkimuksesta. Aihepiirin suppeuden vuoksi on tarkastelu 3D-tulostuksen käyttöä myös lääketieteessä ja ruoantuotannossa, joissa sitä jo sekä käytetään että tutkitaan sen käyttömahdollisuuksia lisää.

Työn tarkoituksena oli tarkastella olisiko mahdollista valmistaa mallivaatteita 3D-tulostuksella missä päin maailmaa tahansa, kunhan vain on käytössä siihen sopiva tulos-tin ja muut välineet.

Tutkimusmenetelmänä oli kirjallisuustutkimus, jossa lähteinä on käytetty tieteellisiä artikkeleita sekä tekstiilialan ja 3D-tulostuksen ammattilehtiä. Tieteellistä kirjallisuutta ei tekstiilien osalta löytynyt. Kävin myös vierailulla Aalto-yliopistossa, jossa keskustelin Laboratory Manager Jussi Mikkosen ja Factory Manager Juhani Tenhusen kanssa.

Tavoitteena oli tutkia olisiko 3D-tulostus ratkaisu mallivaatteiden määrän vähentämiseksi, että turhia mallikappaleita ja siten myös tekstiilijätteen määrää saataisiin vähennettyä. Vielä ei 3D-tulostus ole kuitenkaan niin kehittyntä, että sillä pystyttäisiin valmistamaan mallivaatteita, jotka voisivat käydä myynnin mallivaatteina eli olla oikean vaateen kaltainen malli.

## **ABSTRACT**

**RITVA YLI-ÖYRÄ:** 3D Printing in Clothing and it's usage in Medicine and Food Production

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 68 pages

May 2017

Master's Degree Programme in Materials Science

Major: Fiber and Textile Science

Examiner: Assistant Professor Mikko Kanerva

Keywords: 3D printing, clothing, medicine, food production

At first, this work explains what 3D printing means, and what techniques are used. Also this work explains shortly about the process of cloth production, about “from idea to consumers”, and the problems you can face. Information technology has already helped in many phases, but there's still a strong demand for a wider array of clothing designs. A lot of experiments regarding 3D technology has been done not only virtually with computers, but 3D printing as well. This work tells you what and what kind of clothes have been 3D printed, and what kind of textile-like structures have been done and investigated. Because of the limited area of 3D printed clothing, this work also tells you about 3D printing in medicine and food production, where it has already been used and investigated much more.

The purpose of this work is to analyze if it's possible to produce model clothes with 3D-printing wherever you are, provided that you can use a suitable printer and other implements.

The research method is literacy research, and the sources are scientific articles, and textile and 3D printing trade magazines. Scientific literacy regarding textiles hasn't been found. I also visited in Aalto University and conversed with Laboratory Manager Jussi Mikkonen and Factory Manager Juhani Tenhunen.

The target was to investigate if 3D printing could be the solution to reduce the amount of model clothes so that useless prototypes and textile waste could be reduced. 3D printing is not yet developed enough, that it could be used to produce model clothes, which could be used as clothing samples in selling, and still look and feel like real clothes.

## ALKUSANAT

Työ on pitkiksi venyneiden opintojeni päätös. Ongelmina olivat liian herkästi yksityisasioiden päästäminen kirjoittamisen edelle sekä omat kieliongelmani lukiessani lähdeaineistoa. Asia on ollut hyvin mielenkiintoinen ja olen löytänyt paljon uutta mielenkiintoista tietoa. Välillä on tullut ongelmia, miten sanoa asia oikeasti suomeksi sekä miten kirjoittaa ja puhua ymmärrettävää ja hyvää englantia, mutta siihen olen saanut apua nuoremmalta pojaltani, kiitos siitä, koska ilman sitä olisin tehnyt paljon pitempään työtä kielen kanssa. Kiitos kuuluu myös puolisololleni hänen kärsivällisyydestään.

Työn valmiiksi saamisesta kiitän erityisesti Heikki Mattilaa hänen kärsivällisyydestään työtäni kohtaan. Samoin kiitän työni tarkastajaa Mikko Kanervaa sekä opintosuunnittelija Jenni Lassilaa ja opintosihteeri Leila Holmströmiä avusta ja opastuksesta, jota työn loppuunsaattaminen ja asioiden hoitaminen on vaatinut.

Tampereella, 10.5.2017

Ritva Yli-Öyrä

# Sisällysluettelo

1	JOHDANTO .....	1
2	TAUSTAA .....	2
2.1	3D-TULOSTUSTEKNIikka .....	2
2.2	VAATETUSTEOLLISUUDEN TOIMINTAKUVIOT .....	4
3	VAATETUS.....	6
3.1	TÄHÄN MENNESSÄ TEHDYT TUOTTEET.....	6
3.1.1	Iris van Herpen.....	6
3.1.2	Francis Bitonti.....	11
3.1.3	Bradley Rothenberg .....	15
3.1.4	Chromat.....	16
3.1.5	Katya Leonovich .....	17
3.1.6	Travis Fitch, threeASFOUR ja Stratasys .....	18
3.1.7	Alexis Walsh .....	20
3.1.8	Ohne Title.....	21
3.1.9	Jenna Fizel ja Mary Haung .....	22
3.2	3D TULOSTUKSELLA TEHTYJÄ TEKSTIILIMÄISIÄ PINTOJA .....	24
3.2.1	The Faculty of Textile and Clothing Techology-projekti .....	25
3.2.2	Technical Crafting-projekti.....	29
3.4	RUOTSISSA KEHITETTY SELLU VAATTEIDEN VALMISTUKSEEN .....	32
3.5	VIERAILU AALTO-YLIOPISTOSSA .....	33
3.6	RAKENTEITA JA MATERIAALEJA.....	35
3.7	ANALYYSI .....	36
3.8	TULEVAISUUDEN VISIOITA .....	36
3.9	YHTEENVETO .....	40
4	LÄÄKETIETEEN 3D-SOVELLUKSISTA .....	42
4.1	KOhteET .....	42
4.2	TUTKIMUS .....	46
4.3	TULEVAISUUS .....	47
4.4	YHTEENVETO .....	49
5	RUOAN 3D-TULOSTUS .....	51
5.1	TULOSTUSLAITTEET .....	52
5.2	TULOSTUSTEKNOLOGIAT .....	54
5.3	TUOTANNOSSA OLEVIA LAITTEITA.....	58
5.4	YHTEENVETO .....	59
6	LOPPUPÄÄTELMÄT .....	60

## TERMEJÄ JA LYHENTEITÄ

Body-skanneri	vartalon pinta kuvataan kolmiulotteisesti käyttämällä optista tekniikkaa yhdistettynä valoherkkiin laitteisiin, näin saaduista ihmiskehon pisteistä yhdistämällä luodaan ensin verkkomainen pinta ja sitten täytetään välit
CAD	Computer Aided Design, tietokoneavusteinen suunnittelu
CAM	Computer Aided Manufacturing, tietokoneavusteinen valmistus
CT	Computed Tomography, tietokonetomografia, 3D tietokonekerroskuvaus
Echocardiografia	sydämen kaiku- eli ultraäänitutkimus
filamentti	pitkä yhtäjaksoinen kuitu
MRI	Magnetic Resonance Imaging, magneettikuvaus
Plauen pitsi	englanniksi chemical lace, tälle ei ole hyvää suomalaista sanaa, tarkoittaa ”katoavalle pohjakankaalle tehty kirjonta”, koneommeltu pitsi tai sulatus-pohjapitsi
PLM	Product Lifecycle Management, tuotteen elinkaaren hallinta
RP-malli	Rapid prototyping, pikamallinnus
TEE	sydämen ultraäänitutkimus ruokatorven kautta

# 1 JOHDANTO

Suomi on korkeiden tuotantokustannusten maa ja teollinen vaatteiden valmistus on siirtynyt lähes kokonaan halvempien kustannuksen maihin. Tietotekniikalla on saatu säästöä ja apua koko prosessiin suunnittelusta valmiisiin vaatteisiin, mutta vielä joudutaan tekemään ylimääräisiä mallikappaleita, joita tehdään myös Suomessa, aikaa näihin kuuluu paljon. Entä jos mallikappaleita voitaisiin tehdä 3D-tekniikalla, niin jäisikö vapautuva valmistuskapasiteetti vaatteiden varsinaiseen valmistukseen ja ajan sekä rahan säästöllä vaatteet voitaisiinkin tehdä Suomessa? Tässä oli pohja tutkimukselle. Ajatuksen työhön sain professori Heikki Mattilalta TTY:lta (Tampereen teknillinen yliopisto).

Tutkin ensin tarkemmin, mitä 3D-tulostus tarkalleen ottaen on, miten se käytännössä toimii ja mitä sillä voi tehdä. Tästä osuudesta on kuitenkin vain lyhyt selvitys, koska se ei ole tämän työn varsinainen tarkoitus. Tutkin aiheeseen liittyen Internetiä ja tieteellisiä artikkeleita ja kirjallisuutta, jotta saisin yleiskäsityksen asiasta. Vaatetukseen, lääketieteeseen ja ruoantuotantoon liittyen tutkin suomenkielisiä tekstiilialan lehtiä sekä tieteellisiä artikkeleita ja kirjallisuutta. Selasin myös tähän liittyen Internetiä sekä sanoma- ja tekniikan alan lehtiä.

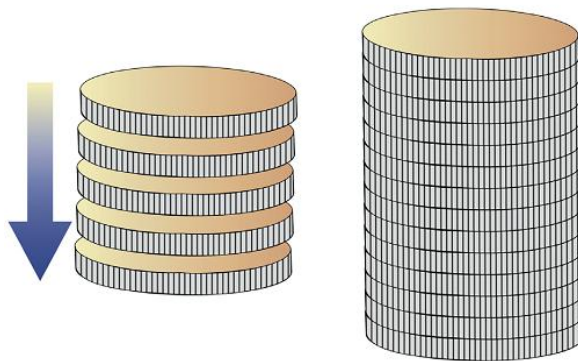
3D-tulostus on yleistymässä monilla eri aloilla ja tulostusmateriaalivalikoima on laaja. Vaatetukseen liittyen 3D-tulostus on haastavampaa kuin useimmilla muilla aloilla, täytyisihän lopputuloksena olla käyttökelpoinen, mukava ja pestävä lopputulos.

## 2 TAUSTAA

3D-tulostustekniikkaa tutkitaan ja käytetään monilla eri aloilla. Joillakin aloilla se on löytänyt paikkansa ja soveltuu niihin hyvin, toiset alat kuten vaatetus ovat haastavampia. Seuraavassa luvussa on kerrottu mitä 3D-tulostustekniikka käytännössä tarkoittaa ja millaisia tekniikoita siinä käytetään.

### 2.1 3D-TULOSTUSTEKNIikka

3D-tulostuksessa tekniikasta riippumatta periaatteena on, että materiaalia lisätään ohut kerros kerrallaan tulevaan tuotteeseen, kovetetaan ja kiinnitetään aiemmin tehtyyn. Jokaisen kerroksen lisäys on tietokoneella olevan mallin mukainen. Kun kerroksia on riittävästi, tuote on valmis. 3D-tulostuksesta käytetään myös nimitystä ainetta lisäävä valmistus (Tuomi, 2013). Kuva 2.1.1 on kaavakuva 3D-tekniikasta.



**Kuva 2.1.1.** Kaavakuva 3D-tulostustekniikan ideasta, jossa materiaalia tulostetaan ohut kerros kerrallaan toisiinsa kiinnittyen ja muodostaen kolmiulotteisen esineen. (Owais et al. 2014, s. 1394)

3D tulostuksella voidaan haluttaessa tehdä osia, jotka ovat esineessä mukana irrallisina, eivätkä siis ole kiinnittyneenä muuhun kokonaisuuteen, esimerkiksi irrallinen pallo toisen pallon sisään. Tulostettavan esineen tai tuotteen voi piirtää tietokoneelle CAD-ohjelmalla tai skannata kolmiulotteisena ja tallentaa valmiin suunnitelman CAD-kansioon, josta se on myöhemmin käytettävissä ja tulostettavissa. Tulostimet toimivat periaatteessa samoin kuin perinteiset laser tai mustesuihkutulostimet. Niissä voidaan käyttää esimerkiksi jauhetta, jolla tuotetta rakennetaan vähitellen kerros kerrokselta ja kovetetaan valikoitu alue laserilla tai 3D-kone antaa ohuen kerroksen nestemäistä hart-



sia ja käyttää tietokonekontrolloitua ultraviolettilaseria kovettamaan jokaisen kerroksen ennalta määrättyyn ristikkokuvioon. (Berman 2012 s. 155)

3D-tulostusta voidaan tehdä erilaisista materiaaleista: muovi, hartsi, erilaiset seokset, kuten nikkelpohjainen kromi ja kobolttikromi, ruostumaton teräs, titaani, keraami, yleensäkin kovettuvat materiaalit, nykyään myös ruoka (Berman 2012 s. 156). Yhdestä aineesta olevien materiaalien lisäksi käytetään myös komposiitteja, ja värillisiä tulosteita. Samaan tulosteeseen voidaan laittaa myös eri materiaaleja, erilaisia rakenteita ja mekaanisia ominaisuuksia. (Liu et.al. 2010, s.782) Joissakin tekniikoissa tuote on hauras ja se täytyy erikseen kovettaa tai kuumentaa. Pinnasta tulee hiukan röpelöinen, mutta pintaa kuumentamalla siitä saadaan sileä. Metalliesineet saattavat tarvita pronssin imeyttämisen esineen huokosiin ja pintaan. 3D-tulostuksessa syntynyt jäte on 95 - 98 %:sti kierrätettävissä (Berman 2012, s. 157).

Kun 3D tulostustekniikka 1980-luvulla keksittiin, se perustui stereolitografiaan (SL, Stereo Lithography) (Owais et al., 2014, s.1393). 3D tulostustekniikka on nopean valmistuksen eli RP:n (Rapid Prototyping) alalaji, vuonna 2010 julkaistun artikkelin mukaan kaupallisen nopean valmistuksen teknologiat ovat SL, sintraus (SLS, Selective Laser sintering), FDM (Fused Deposition Modeling) ja 3DP eli kolmiulotteinen tulostus (Liu 2010, s.782, Miettinen 2011, s. 11 ). Juha-Matti Miettisen mukaan nopean valmistuksen teknologioihin lasketaan myös Solid Ground Curing (Cubital), Laminated Object Manufacturing (LOM) ja Direct Shell Production Casting (DSPC) (Miettinen 2011, ss.12 - 16). Lähes jokaisella laitteistovalmistajalla on oma toimintatapansa, joiden periaatteena on muutama eri tyyppi: nestettä yleensä laserilla tai UV-valolla kovettavat, sulasta materiaalista lisäävät 3D-tulostimet, jauheesta sintraavat tai sitovat ja levystä leikkaavat, jotka ovat tyyppinä katoamassa. (Miettinen 2011, s. 16)

**Stereolitografiasta (SL, Stereo Lithography)** käytetään myös lyhennettä **SLA**. Siinä valokovettuvaa hartsia kovetetaan altaassa kerros kerrokselta, kovettamiseen käytetään tarkoitukseen sopivaa laseria. Materiaaleina tässä menetelmässä käytetään joko akryyli- tai epoksipohjaista valokovettuva hartsia. (Miettinen 2011, s. 12)

**Sintraus (SLS, Selected Laser Sintering)** menetelmässä ohut jauhekerros kuumennetaan laserin avulla, niin, että se sintrautuu tai sulaa kiinni edelliseen vastaavasti kiinnitettyyn kerrokseen. Soveltuu tarkkusvaluvahasta valmistettuihin valumalleihin. Materiaaleina käytetään polykarbonaattia, polyamidia ja polystyreeniä. (Miettinen 2011, s. 13)

**Fused Deposition Modeling (FDM)** on menetelmä, jossa lämpömuovautuvaa materiaalia pursotetaan suuttimen kautta edellisten kerrosten päälle. Tuotos jähmettyy erittäin nopeasti muodostaen kiinteän kappaleen. Materiaaleina ovat tarkkuusval- ja koneistet-

tava vaha sekä polyolefiinin ja polyamidin kaltaiset kestopuovut ja ABS-muovi. (Miettinen 2011, s. 14)

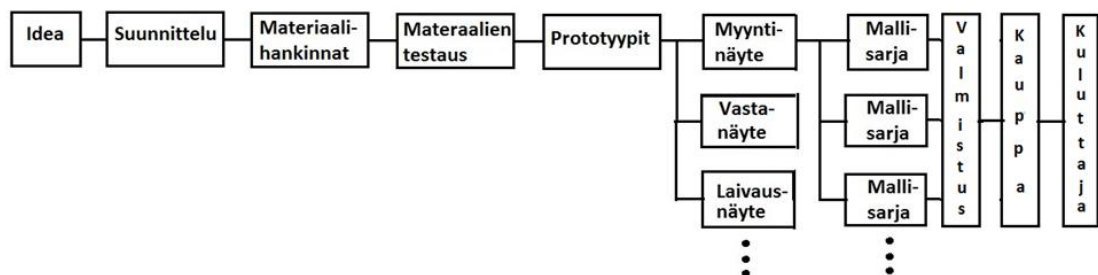
**Solid Ground Curing (Cubital)** -menetelmässä kovetetaan UV-valolla maskin läpi ohut kerros valokovettuvaa hartsia. Kovetus tapahtuu maskin valoa läpäisevien osien kohdalta. Valmistuvan kappaleen tukena käytetään vahaa, joka poistetaan lopuksi. (Miettinen 2011, s. 14)

**Laminated Object Manufacturing (LOM)** -menetelmässä malli valmistetaan liimamalla ohuita kalvoja päällekkäin ja leikkaamalla kukin kerros erikseen ääri viivojen mukaan laserilla. Yleisimmin kalvona käytetään polyeteenillä päällystettyä tavallista paperia. Liimaus tapahtuu kuumen valssin avulla aikaansaadulla lämmöllä ja puristuksella. (Miettinen 2011, s. 15)

**Direct Shell Production Casting (DSPC)** -menetelmässä tehdään keraaminen valumuotti. Menetelmässä ohueen kerrokseen keraamista jauhetta suihkutetaan sideainetta haluttuihin kohtiin muodostaen vähitellen valumuotin, jota sitten voidaan käyttää tarkkuusvalussa. (Miettinen 2011, s. 16)

## 2.2 VAATETUSTEOLLISUUDEN TOIMINTAKUVIOT

Ongelma, joka on työn lähtökohtana, on ”ideasta kuluttajalle” -prosessin pituus. Tekstiili- ja vaatetusteollisuudessa toimintoajat ovat pitkiä, ne alkavat ideasta ja päättyvät kuluttajalle. Koko prosessi on hidas ja työläs ja näin myös rahaa ja materiaaleja kuluttava. Suunnittelun jälkeen hankitaan tarvittavat materiaalit, jotka testataan ja joista valmistetaan useita prototyyppejä ja niistä valitaan sopivimmat. Valituista prototyypeistä valmistetaan näytteet, joista tehdään kustakin mallisarjat; kaikkiaan tuotteita voi olla useita satoja. (Mustonen et al 3/2013, s.12) Kuvasta 2.2.1 näkyy karkea kaavio prosessin kulkusta.



*Kuva 2.2.1. Tuotteen kulku ideasta kuluttajalle.*

Ongelmakohtina voitaisiin mainita ensin materiaalien hankinta, jossa voi mennä kauan, riippuen mistä ja miten tarvittavia materiaaleja saa ja lisäksi materiaaleja testatessa mahdollisten ongelmien vuoksi uudet materiaalit. Prototyyppejä joudutaan valmistamaan paljon jo ennen varsinaisen malliston luomista. Mallistosta tehdään lukuisia mallikappaleita ja näytekappaleita. Tulevan myynnin tarkka arviointi on vaikeaa ja sen vuoksi joitakin tuotteita jää ja toiset loppuvat kesken. (Mustonen et al. 3-4/2012; Blomberg) Erilaisten mallivaatteiden ompelu sitoo myös paljon työvoimaa, vaikka työtä nopeuttamaan olisikin paljon koneita ja laitteita.

Osaan näistä ongelmakohdista ja myös valmistuksen moniin vaiheisiin on saatu tietokoneesta apua ja nopeutettua tuotekehitysprosessia. Tähän mennessä sitä on käytetty muun muassa kaavoituksessa ja leikkuusuunnitelmien teossa. Tekniikan kehityttyä erilaisten animaatioiden teko on tullut myös mahdolliseksi ja niistä on tullut luonnollisemman näköisiä. Kehittyneellä tekniikalla pystytään tekemään virtuaalisia tuote-esittelyjä ja vaateen sovitusta tietokoneella luodun hahmon, avataren, päälle. Samoin etenkin kenkäteollisuudessa voidaan jalkineen rakenne esitellä kerros kerrokselta. Työkaluina virtuaalisessa suunnittelussa ovat muun muassa bodyskannerit, 3D-mallinnus, virtuaalinen vaatekaappi-ratkaisu, myynnin konfiguraattori, digitaalinen printtipaino, 3D-tulostin ja tuotetiedonhallintajärjestelmä (PLM). Vaateyritysten tuotesuunnittelu-aikaa ja näytekappaleiden määrää voidaan vähentää 3D-mallinnuksella, samoin parantaa niiden innovointia (Blomberg).

Tutkimusta 3D-tekniikasta tekstiili- ja vaateusteollisuuden tarpeisiin on tehty muun muassa huhtikuusta 2012 maaliskuuhun 2013 toteutettuna Virta-projektina. Projektin kohteena oli virtuaalinen tuotesuunnittelu ja -hallintaprojekti sekä tarkoituksena kartoittaa ja edistää virtuaalisovelluksien käyttöä tekstiili- ja vaateusalalla (Mustonen et al. 3-4/2012). Virtuaalisen suunnittelun piirissä on, esimerkiksi Adidaksella, tuotesuunnittelu, prototyyppi valmistus, myyntinäytteet ja esitteet sekä esillelaitto ja nettikauppa (Mustonen et al. 5/2012, s. 12). Kun asiakkaat otetaan tuotekehittelyyn mukaan, heidät sitoutetaan sekä tuotesuunnittelun laadun että innovatiivisuuden parantamiseen (Mustonen et al. 3-4/2012).

Nyt, kun on saatu lyhennettyä tuotekehitysaikaa, vähennetty prototyyppien ja mallikappaleiden määrää, viety tuotteet virtuaalisesti asiakasta lähelle, on vielä jäljellä mallikappaleiden nopeampi ja halvempi tuottaminen. 3D-tulostustekniikan tuominen myös vaateen valmistukseen voi olla tulevaisuuden visio, tässä työssä on tarkoitus tarkastella tätä mahdollisuutta tarkemmin

## 3 VAATETUS

Kuten edellisessä luvussa mainittiin, vaatteiden suunnittelu- ja valmistusprosessissa kuluu paljon kangasta ja aikaa. Kysyntää on vaikea ennustaa ja ennakoida tarkasti. Valmistetaan paljon tuotteita, jotka eivät lopulta mene kaupaksi normaalihinnalla ja ne joudutaan myymään alennettuun hintaan, turhat mallikappaleet menevät joko hävitykseen tai myydään ”outlet”-myymälöissä poistotuotteina alle tuotantokustannuksien. Materiaalihukka on kaiken kaikkiaan suuri, jätteen määrän ja kankaasta valmistettujen mallien vähentämiseksi tarvittaisiin uusia ratkaisuja. Tällaisen ratkaisun löytämiseksi voitaisiin tarkastella myös 3D-tulostuksen mahdollisuuksia tässä prosessissa.

3D-tulostus ei tarkoita samaa kuin tuotteen valmistaminen niin, että menetelmästä ja keinoista riippumatta lopputuloksena on kolmiulotteinen tuote, 3D-tulostetussa tuotteessa tai tässä tapauksessa vaatteessa voi olla myös saumoja. Esimerkiksi sinällään vaateen neulominen muotoonsa ja saumattomaksi ei ole 3D-tulostusta. Nyt täytyy miettiä myös sitä, voiko tuotetta nimittää 3D tuotteeksi, jos materiaalina on valmis ja valmiiksi värjätty lanka vai pitäisikö materiaalin olla vain raaka-aineena kaseteissa, joskin mahdollisesti värjätynä, ja prosessin kuluessa muotoutua lopputuotteeksi tai lopputuotteen näköiseksi kappaleeksi. 3D-tulostuksen ympärille on perustettu myös yrityksiä, jotka valmistavat toisten suunnittelemaa tuotteita. Vaatteen valmistusta 3D-tulostuksella on jo kokeiltu.

### 3.1 TÄHÄN MENNESSÄ TEHDYT TUOTTEET

Useat suunnittelijat ovat pyrkineet tekemään vaatteita tai asusteita 3D-tulostuksella, tuloksena on usein hyvin kotelomainen tai jäykkä lopputulos. Paitsi vaateen käyttökelpoisuus, haasteena ovat myös vaateen puettavuus ja pesu.

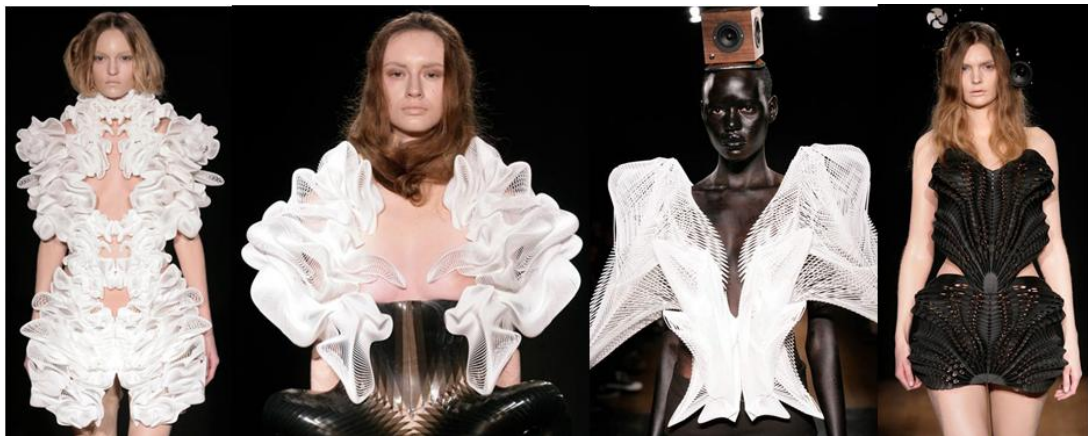
#### 3.1.1 Iris van Herpen

Yksi muodin esiintymislavojen vakiokävijä on alankomaalainen **Iris van Herpen** (Campbell-Dollaghan 2013), hänet tunnetaan uudenlaisten materiaalien käytöstä ja muotoilusta valmistusteollisuudessa. Vuosien kuluessa hän on muotoillut useita 3D-tulostettuja asuja. Ensimmäisen 3D-tulostettuja osia sisältävän kokoelmansa hän loi vuonna 2010 yhteistyössä lontoolaisen arkkitehdin **Daniel Widrigin** kanssa. Kokoelman osat olivat lähempänä haarniskaa kuin vaatetta ja osa kevät/kesä kokoelmaa (kuva 3.1.1.1). Kokoelman osan ennakoesittely oli Amsterdamin kansainvälisellä muotiviikolla (Amsterdam International Fashion Week) heinäkuussa 2010. (Howart 5.6.2013; Etherington 2010)



*Kuva 3.1.1.1. Iris van Herpenin, yhteistyössä Materialisen ja arkkitehti Daniel Widrigin kanssa, luoma 3D-tulostettu vaate.(Etherington 2010)*

Widrig ja van Herpen tekivät yhteistyötä myös vuonna 2011, jolloin tuloksena oli Escapism-kokoelma. Tavoitteena oli tehdä aiempaa kevyempi ja taipuisampi vaate. Kokoelma esiteltiin Pariisin muotiviikolla (Paris Fashion Week). Escapism on jatkoa Widrigin ja van Herpenin aiempaan yhteistyöhön. Widrigin mukaan työssä yritettiin lisäksi tutkia kehitetyn digitaalisen tekniikan vaihtoehtoja ja mahdollisuuksia sekä tietokoneavusteista valmistusta huippumuodin suunnittelun maailmassa. Mekot on valmistettu hyvin ohuista kuidun kaltaisista aineista (kuva 3.1.1.2). (Warmann 2011)



*Kuva 3.1.1.2. Asuja Escapism-kokoelmasta. (Warmann 2011)*

Tulostettujen kankaiden hienous tekee tuotteista kevyitä ja joustavia, samoin valmistus on taloudellista. Geometrinen muotoilu antoi suunnittelijalle laajemmat mahdollisuudet tuotteen luomiselle ilman kompromisseja puettavuuden ja mallin esiintymislavalla liikkumisen välillä. Kokoelman on valmistanut **.MGX Materialise** laser sintrauksella (SLS) polyamidista. (Warmann 2011)

Vuonna 2011 van Herpenin 3D suunnittelema musta pitsimekko valittiin yhdeksi vuoden 50 parhaasta innovaatiosta (kuva 3.1.1.3). Van Herpen kehitti mekon yhdessä 3D-

tulostuksia tekevän Materialisen ja itävaltalaisen arkkitehdin **Julia Koernerin** kanssa. Mekko näyttää päällä verkkokudotulta, itse asiassa se on muovista SLS-menetelmällä 3D-tulostettu ja nimeltään TPU 92A-1. Mekon materiaalia mainostetaan ensimmäisenä tulostuskelpoisena materiaalina, joka on sekä joustava että riittävän kestävä niin, että se voidaan pukea ja lisäksi pestä koneessa. Mekko on valmistettu osina ja siinä on käytetty laseria yhdistämään muovi- ja hartsipartikkeleita toisiinsa sekä värjätty mustaksi. (Rietveld 2013; Campbell-Dollaghan 2013)



*Kuva 3.1.1.3. Iris van Herpenin suunnittelema pitsimäinen mekko valittiin yhdeksi vuoden 2011 parhaasta innovaatiosta (Campbell-Dollaghan 2013).*

van Herpenin Voltage-kokoelmassa keväällä 2013, on hame-keepi -yhdistelmä (kuva 3.1.1.4), jossa on myös uutuuskangas. Se rakentuu kahdesta erilaisesta materiaalista, pehmeästä ja kovasta, jotka oli tulostettu yhdessä. Tavoitteena oli saada aikaan joustava ja toimiva tekstiili ja tämän työn onnistuminen antoi toivoa myös muihin mahdollisuuksiin saada vastaava lopputulos. (Rietveld 2013, Cambell-Dollaghan 2013)



*Kuva 3.1.1.4. Iris van Herpenin ja Neri Oxmanin suunnittelema hame-keeppi-yhdistelmä. (Campbell-Dollaghan 2013).*

Tekemisessä on käytetty tulostinta, joka sallii erilaisten materiaalien tulostaminen yhtä aikaa niin, että toiset osat ovat pehmeitä ja joustavia ja toiset, kovemmat osiot, muodostavat rakenteelle eräänlaisen tukirangan ja parantavat myös vaateen toimivuutta (Campbell-Dollaghan 2013). Vaate on lisäksi saumaton, yhtenä kappaleena tehty. Tässä työssä van Herpen on tehnyt yhteistyötä vaateen tulostaneen **Stratasysin** ja **Media Arts and Sciences MIT Media Labin** professorin arkkitehti **Neri Oxmanin** kanssa. (Rietveld 2013) Oxmanin mukaan pehmeys ja joustavuus inspiroivat heitä asun suunnittelussa ei vain asun ulkomuodossa, vaan myös toiminnassa. Uudet tekniikat tarjosivat heille mahdollisuuden tulkita perinteistä huippumuotia uudelleen teknisenä muotina, jossa käsintehty koristeet ja käsityö korvataan koodeilla. (Chalcraft 2013) Oxman on aloittanut tutkimuksen silkin koostumuksesta ja siitä kuinka silkkipyhosen toukka rakentaa kotelonsa, joka on pehmeämpi sisältä ja vahvempi ulkopuolelta. Hän vertaa silkkipyhosen rakentamaa koteloa, jonka valmistukseen on käytetty erilaisia kuvioita ja eri määriä silkkikuitua, useimpiin 3D-tulostimilla tulostettuihin tuotteisiin, jotka muodostavat saman yksinkertaisen rakenteen kerros kerrokselta. (Rietveld 2013) Oxmanin asiantunteumuksen kanssa he pystyvät kontrolloimaan myös värjäystä sisällyttämällä sen digitaaliseen kansioon niin, ettei väriä tarvitse lisätä myöhemmässä vaiheessa. (Howart 5.6.2013)

Vieraillessaan Sveitsissä **Cernin tieteellisessä tutkimuslaitoksessa** van Herpen sai idean vuoden 2015 kevään ja kesän mallistoon, joka koostuu erilaisista vaatteista, kenistä ja asusteista. Kokoelma sisältää muun muassa 3D-tulostetun läpikuultavan mekon, joka on päällystetty kristallimaisilla muodostelmilla, mekko on luotu yhteistyössä arkkitehti **Nicolo Casan** kanssa (kuva 3.1.1.5). (Howart 2014)



*Kuva 3.1.1.5. Läpikuultava kristallimaisilla muodostelmilla päällystetty mekko. (Howard 2014)*

Syksyn ja talven 2016 mallisto sisältää kaksi 3D-tulostettua mekkoa nimeltään Magma (kuva 3.1.1.6). Molemmat on tehty tulostamalla yhdessä lämpöherkkää polyuretaania (thermoplastic polyurethane, TPU) ja polyamidia muodostaen ”hienon verkon”. Yksi mekko on koottu 5.000 3D-tulostetusta elementistä. (Morby 2016)



*Kuva 3.1.1.6. Iris van Herpenin ”Magma”-mekot (Morby 2016).*



van Herpen panostaa suunnittelussaan yhtä paljon asujen ulkonäköön kuin valmistustekniikkaankin. (Rietveld 2013) Hänen töissään näkyvät abstraktit ideat ja uudet tekniikat, eivätkä ne sisällä uudelleen sepitettyjä vanhoja ideoita. van Herpenin mielestä 3D-tulostusprosessi on kiehtova ja hän uskoo, että on vain ajan kysymys milloin vaatteemme valmistetaan tällä tekniikalla. Hänen mukaansa tämä on erilainen tapa valmistaa ja suuri inspiraatioiden lähde uusia ideoita varten. Uutta materiaalia ei voi suunnitella joka kaudeksi, on hyvä jos kykenee luomaan uutta joka vuosi tai joka toinen vuosi. (Chalcraft 2013; Howart 5.6.2013) Vaatteiden lisäksi van Herpen suunnittelee 3D-tulostukseen myös erilaisia asusteita ja kenkiä.

### 3.1.2 Francis Bitonti

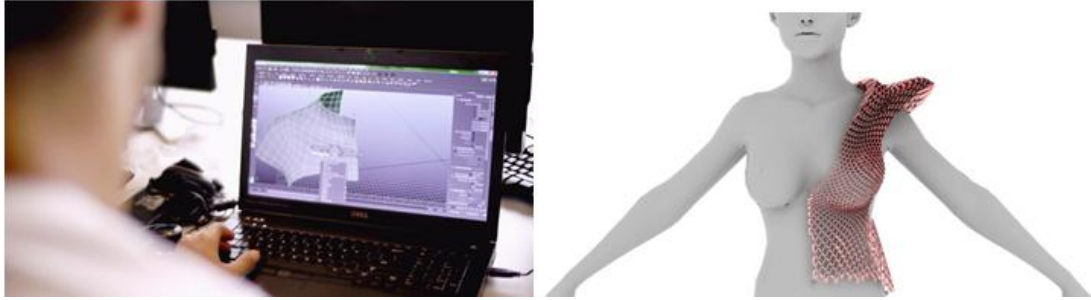
van Herpenin lisäksi on useita muotoilijoita, jotka tutkivat 3D-tulostuksen mahdollisuuksia muodin suunnittelussa. Yksi heistä on **Francis Bitonti**, joka yhdessä suunnittelija **Michael Schmidin** kanssa loi ja **Shapeways** tulosti 3D-tulostetun täyspitkän mekon burleskitaiteilija Dita Von Teeselle. Mekko on saumaton, verkkomainen, 3000 yksilöllisestä liikkuvasta osasta SLS-tekniikalla nylon-jauheesta valmistettu, mustaksi lakattu ja kristalleilla koristeltu. Mekon erikoisuutena muihin vastaaviin innovatiivisiin muotiluomuksiin verrattuna on täysin nivelletyt sektorit, mikä teki vaatteesta tekstiilimäisen ja mahdollisti käyttäjän liikkumisen. Mekon alla on ihon värinen silkkikorsetti ja sen ensiesittely tapahtui Ace Hotelissa New Yorkissa, maaliskuussa 2013 (kuva 3.1.2.1). (Howart 7.3.2013; Pallister 2014)



*Kuva 3.1.2.1. Bitontin ja Schmidin Dita Von Teeselle suunnittelema 3D-tulostettu mekko (Howart 7.3.2013; Pallister 2014)*

Mekon suunnittelu tapahtui täysin tietokoneen avulla. (kuva 3.1.2.2) Schmidt suunnitteli mekon ja Bitonti loi ajatukset ja suunnitelmat koneielelle. He pyrkivät tekemään mekkoon kaikkialla luonnossa esiintyvän kierteisen rakenteen, jotta muodostettu verkkora-

kenne voisi aaltoilla, liikkua ja laajentua vartaloa myötäillen. (Pallister 2014; Howart 7.3.2013)



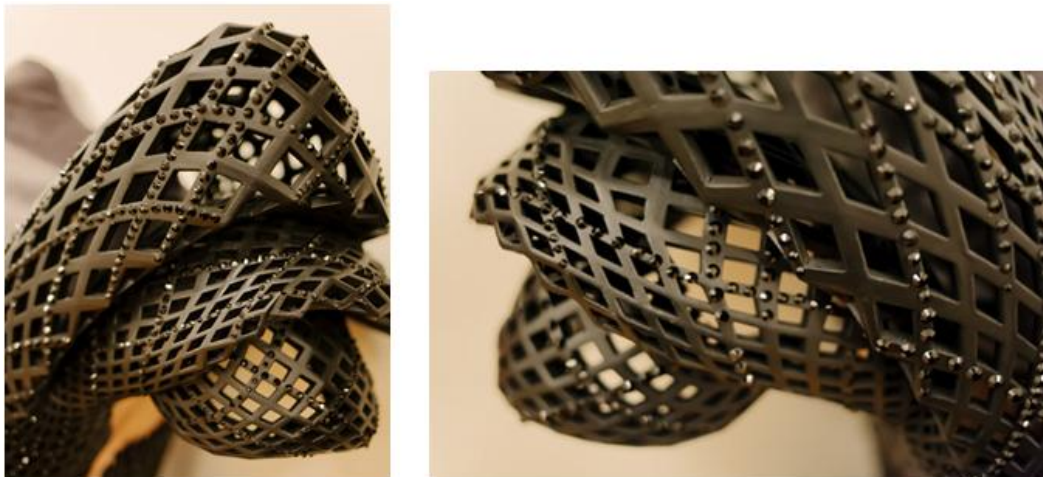
**Kuva 3.1.2.2.** Mekon suunnittelua ja muotoilua tietokoneen avulla. (Pallister 2014)

3D-tulostetut vaatteet valmistetaan suurimmaksi osaksi kappaleina. Von Teesen mekko tehtiin 17 sektorina, jotka puhdistettiin huolellisesti ja liitettiin toisiinsa käsin. (kuva 3.1.2.3) (Pallister 2014; Howart 7.3.2013)



**Kuva 3.1.2.3.** Von Teesen mekon osien valmistusta (Pallister 2014).

Mekko lakattiin mustaksi ja lisäksi siihen kiinnitettiin käsin 12.000 Swarovski-kristallia antamaan mekolle loistoa (kuva 3.1.2.4). (Pallister 2014; Howart 7.3.2013)



**Kuva 3.1.2.4.** Mekon olkapään rakennetta ja koristelua. (Howart 7.3.2013)

Bitontin mukaan tietokonepohjaisen suunnittelun ja 3D-tulostuksen kehittymisen vuoksi suunnittelijoiden työtä ei rajoita enää heidän materiaalituntemuksensa puute. Ei tarvitse eritellä, mitä voi jäljitellä ja mitä voi fyysisesti mallintaa. Se, minkä voi piirtää, voi myös tehdä. Ennen studiosa perustamista Bitonti toimi arkkitehtinä. Hän kokee taustastaan olleen hyötyä, kun hän suunnitteli vartalonmyötäistä mekkoa. Vartalonmyötäisen mekon ääriviivojen suunnittelu oli hänen mukaansa melko samanlaista kuin rakennuksen julkisivun suunnittelukin. (Pallister 2014)

Francis Bitonti työskentelee yhdessä myös opiskelijoiden kanssa. Bitonti johti studiosa työpajaa, New Skins Workshop. (Howart 10.3.2014) Hän esitteli opiskelijoille (2013) kolmiviikkoisen digitaalisen muodin työpajassa tietokoneen ohjelmistoa ja lisäävän valmistuksen välineitä. Bitontin mukaan projektin tavoitteena oli suunnitella menetelmä, kuinka tehdä tietokoneella muotoja, jotka voivat kattaa koko kehon. (Howart 24.9.2013)

Työpajatyöskentelyn aikana opiskelijat kokeilivat muodonrakennusta ohjelmistolla ja muodostivat suunnittelemaansa esineitä käyttämällä 3D-tulostinta. Opiskelijat saivat tuntuman tietokonemallinnukseen ja saivat aineellisia tuloksia **MarkerBotin**, 3D-tulostimen, välityksellä. Työpajan vieraat, muun muassa **Vito Acconci**, arvioivat työpajan tuloksia. Vieraiden suosikki oli 3D-tulostettu mekko, jonka suunnitelmat Acconci valitsi kehitykseen. Yhden ryhmän monimutkainen kuviointi yhdistettiin toisen ryhmän ääriviivoihin ja saatiin lopullinen suunnitelma, joka tulostettiin osina käyttämällä uutta joustavaa kuitua. Ajatuksena oli luoda eri osiin kehoa erilaista materiaalia. Tuloksena oli vaate, joka viittasi lihassyihin, verisuoniin ja valtimoihin, aivan kuin katselisi kehoa sisältä ulospäin. Mekolle annettiin nimeksi Verlan Dress (kuva 3.1.2.5). (Howart 24.9.2013; Howart 10.3.2014)



*Kuva 3.1.2.5. New Skin Workshopin tuottama 3D-tulostettu mekko. (Howart 24.9.2013)*

Bitontin työskentely New Skins Workshopissa tuotti myös toisen mekon, Bristlen, joka on kirkasta ja joustavaa PLA-kuitua. (kuva 3.1.2.6) Materiaali valittiin sen läpikuultavien ominaisuuksien ja valotaittokyvyn vuoksi. Hameosa on särmäinen ja reunustettu synteettisellä kaninturkillä. (Howart 10.3.2014)



*Kuva 3.1.2.6. New Skins Workshopissa suunniteltu Bristle-mekko. (Howart 10.3.2014)*

Hametta oli saatavana kaupallisesti MakerBotReplicator 2 pöytäkoneelle New Skins Winter Workshopin aikana. (Howart 10.3.2014)

### 3.1.3 Bradley Rothenberg

Suunnittelija Bradley Rothenberg on yksi **Bradley Rothenberg Studion** tutkijoista, studio sijaitsee Broadwayllä New Yorkissa. Heidän tarkoituksenaan on yhdistää 3D-tulostustekniikkaa ja muotia tuottaakseen 3D-tulostettuja tekstiilejä, koruja ja erilaisia vaatetuksen asusteita. He ovat työskennelleet siellä muutaman suurimman ja omaperäisimmän muotibrändin kanssa. Rothenberg oli mukana New Yorkin muotiviikolla (New York Fashion Week) syksyllä 2014, 3D-tulostettujen tekstiilien sarjassa. Hän oli tehnyt yhteistyötä muotoilijoiden **Katie Gallagherin** ja **Katya Leonovichin** kanssa kehittäen sarjan todella puettavia 3D-tulostettuja tekstiilejä, esimerkiksi leveäolkaimisia toppeja (kuva 3.1.3.1) ja erilaisia yksityiskohtia paitoihin ja jakkuihin (kuva 3.1.3.2). (Alec 12.9.2014)



*Kuva 3.1.3.1. Rotehenbergin suunnittelema 3D-tulostettu toppi. (Alec 12.9.2014)*



*Kuva 3.1.3.2. Jakun helmaan ja puseroon 3D-tulostuksella tehdyt koristeet. (Alec 12.9.2014)*

Näissä luomuksissa on käytetty joustavaa materiaalia, kuten lämpöherkkää, pehmeää ja joustavaa muovia tai lämpöherkkää polyuretaania. Mikroskooppisella tasolla näillä on oma verkkorakennemuotonsa aivan kuten oikeillakin tekstiileillä. Materiaalin paksuutta on vaihdeltu tarpeen mukaan vaatteen eri osissa, että on saatu lisättyä vaatteen joustoa. Bradley Rothenberg Studion **Elisa Richardsonin** mukaan valmistuksessa on käytetty SLS-tekniikkaa, koska se sallii eniten geometristä vapautta ja koska siinä eivät tukirakenteet ole välttämättömiä, joten he tekivät monimutkaisen lomittaisen muodon.(Alec 12.9.2014)

Leveäolkaiminen toppi tulostettiin 3D-tulostusyhtiö Materialisessa ja koristeet **Shapewayn** avulla. Yhden tällaisen topin tulostamiseen kului 30 minuuttia ja sen jäähdyttämiseen toiset 30 minuuttia. Ja kun kone voi työskennellä yhtäjaksoisesti täydellä teholla 12 tuntia, niin tuossa ajassa pystytään tulostamaan 24 toppia.(Alec 12.9.2014)

Näillä luomuksillaan Rothenberg on tavoitellut pääsevänsä käsiksi 3D-tulostuksen mahdollisuuksiin muuttamalla suunnittelua ja valmistusta. 3D-tulostuksen kehittämiseksi on tehty paljon suunnitelmia, mukaan lukien tulostusmateriaalien sekoittamisesta kudonta- ja neulosmateriaaleihin, tavoitteena kuitenkin koko asun tulostaminen.(Alec 12.9.2014)

### 3.1.4 Chromat

Vuoden 2015 New Yorkin muotiviikolla (NYFW) oli esillä Chromatin Momentum tuotesarja, joka on esimerkki 3D-tulostusteknologian siirtymisestä muotiteollisuuteen (Koslow 15.9.2015). Momentum oli Katya Leonovishin ”Kevät 2015”-tuotesarjan muodonmuutos 3D-tulostetuiksi puvuiksi (Koslow 16.2.2016). Teknologiajätti **Intelin** avulla Chromat on luonut asuja, jotka on tehty 3D-tulostuksella ja Intelin kehittyneellä teknologialla. Tuotesarjasta esiteltiin kaksi vaatetta, joissa oli käytetty Intelin tekniikkaa; Chromat Adrenaline Dressin ja Chromat Aeros Sports Bran. Tuotteet ovat yhdistelmä 3D-tulostustekniikkaa ja älykkäitä tekstiilejä. Adrenaline Dress pystyy aistimaan pukijan adrenaliinin saaden puvun laajentumaan sen 3D-tulostetusta muodosta (kuva 3.1.4.1). (Koslow 15.9.2015)



**Kuva 3.1.4.1.** Adrenaline Dress ja sen sisältämä Intelin tekniikka (The Intel Curie Module) (Koslow 15.9.2015).

Aeros Sports Bra sai innostuksensa tuulesta ja lentämisestä ja kykenee havaitsemaan ja reagoimaan hikoilemiseen, hengitykseen ja kehon lämpöön, joka auttaa ehkäisemään pukijaa ylikuumenemiselta urheilusuorituksen aikana. Adrenaline Dress on tulostettu neopreeni-nimisestä hiilikuidusta, joka on itse asiassa muotonsa muistava seos ja TPU:sta. Toisaalta Aero Sports Bra on valmistettu Lycrasta, verkosta, neopreenistä ja 3D-tulostetusta venttiileillä (myös muotonsa muistavaa sekoitusta) varustetusta etumuksesta. (Koslow 15.9.2015)

### 3.1.5 Katya Leonovich

Katya Leonovich on avantgarde-muotisuunnittelija, hän on suunnitellut paljon erilaisia somisteita ja 3D-tulostustekniikalla valmistetusta kankaista tehtyjä vaatteita. Leonovich on keskittynyt erityisesti kankaisiin ja hän on luonut erilaisia menetelmiä, miten saada aikaan joustava ja laskeutuva kangas, joka liikkuu kehon mukana. Pesunkestävyyttä vaatteille ei ole kuitenkaan luvattu, niin kuin ei useimmille muillekaan huippumuotivaatteille. Leonovich käyttää klassisia ja yksinkertaisia ääriviivoja, antaen kokoelmalleen hillityn vaikutelman. (Grunewald 2014)

Kankaiden joustavuus perustuu erilaisiin geometrisiin kuvioihin, jotka tulostetaan toisiinsa liittyneinä. Kuvioina on muun muassa nauhamainen mutkainen kuvio, joka liittyy joka puolelta toisiin samanlaisiin tai lomittaisista toisiinsa liittyvistä ympyröistä, jotka muodostavat yhtenäisen kuvion, joka taas on liittyneenä viereisiin samanlaisiin kuvioihin. Kuvioista on myös yksinkertaisempia malleja, joiden ajatuksena on, että ne tulostetaan liittyväksi muihin samanlaisiin kuvioihin. (Grunewald 2014) Erilaisista kuvioista ja niiden toimivuudesta löytyy video osoitteesta [https://youtu.be/dpLOY2l\\_BSI](https://youtu.be/dpLOY2l_BSI).

### 3.1.6 Travis Fitch, threeASF0UR ja Stratasys

Newyorkilainen suunnittelija **Travis Fitch** on tehnyt yhteistyötä **threeASF0URin** muotisuunnittelijoiden, **Gabi Asfourin**, **Angela Donhauserin** ja **Adi Gilin**, kanssa ja esitellyt kaksi 3D-tulostettua mekkoa heidän syksy/talvi näytöksessään. Mekot tehtiin käyttämällä Stratasysin teollisuustason Objet500 Connes 3D-tulostinta, joka tunnetaan kyvystään tulostaa samaan aikaan useampia värejä ja materiaaleja. Tässä näytöksessä oli heidän erikoistuneen ”Nano Enhanced Elastomeric” -tekniikkansa ensiesittely. Se on nanoteknologialla vahvistettu elastomeerinen 3D-tulostusmateriaali, joka on erityisen joustavaa ja lujaa. Materiaalia on kaupallisesti saatavana myöhemmin vuonna 2016. (Koslow 16.2.2016; Swack 2016)

Mekot Pangolin ja Harmonograph on suunniteltu heijastamaan biologisia muotoja ja luonnon muoto-oppia. Gilin mukaan mekkojen valmistamisessa oli tarkoituksena maksimoida Objet500 Connes3'n 3D-tulostuksen mahdollisuudet. Hänen mukaansa mekkojen kudoksen luonnetta ei olisi pystytty valmistamaan perinteisillä tavoilla. (Koslow 16.2.2016) Stratasysin Art Fashion Desing, Creative Director; **Naomi Kaempfer** sanoi, että heidän tavoitteensa 3D-tulostuksen kanssa on kannustaa muotoilijoita kuvittelemaan ilman rajoja ja antaa heille vapaus ajatella uudentyylisiä muodin ilmettä. He haluavat laajentaa ihmisten tapaa ajatella ja löytää uudelleen mikä on muodissa mahdollista. (Swack 2016)

ThreeASF0URin Pangolin-mekko oli muodostettu toisiinsa liittyvistä kuvioista ja näin oli tarkoitus matkia luonnollista eläimen tuntua. (Koslow 16.2.2016) Asfour selitti, että mekko on rengashaarniskamainen, jossa jokaisella kappaleella on tarkoitus ja se luo neljäulotteisen jouston - ylös ja alas, vasemmalle ja oikealle, eteenpäin ja taaksepäin. (Swack 2016) Pangolin-mekossa vaihtelevat myös läpinäkyvyys ja läpinäkymättömyys ja se koostuu 14 kuviopalasta. Kokonaisuus on muodostettu sekoittamalla monimuotoisesti interlock-kudosta ja matkimalla luonnollista eläimen tuntua. (kuva 3.1.6.1). (Koslow 16.2.2016; Swack 2016)





*Kuva 3.1.6.1. Pandolin Dress. (Koslow 16.2.2016)*

Objet Connex3 3D-tulostimen tarkkuus ja kyky vaihdella materiaalin ominaisuuksia, kuten jäykkyys ja värin asteittainen muuttuminen, tarjoavat suunnittelijoille mahdollisuuden geometriseen hallintaan, luoda monivivahteisia, harkitusti sijoitettuja muodonmuutoksia, kalvon huokoisuutta ja joustavuutta.(Swack 2016)

Hamonograph-mekko on yksilöllinen ja monimutkainen sekoitus geometriaa, biologiaa ja logaritmeja, se on muodostettu Fibonaccin kierteen kaltaisesta muodosta, joka kiertää kehon ympäri kolme kertaa, näyttäen geometriseltä sarjalta spiraaleja, jotka laskeutuvat kohti yleisöä.(kuva 3.1.6.2) (Koslow 16.2.2016)



*Kuva 3.1.6.2. Harmonigraph Dress. (Koslow 16.2.2016)*

ThreeASFOURin Gilin mukaan taiteilijoilla ja suunnittelijoilla on etuoikeus tutkia uusia teknisiä mahdollisuuksia ja niiden rajoja, sekä raivata rajoituksia tieltään. Hän jatkaa, että he esittelevät mielellään kehittyneimpiä 3D-tulostettuja mekkojaan, joita on tähän mennessä luotu, sekä kuvailevat yksilöllisiä mahdollisuuksia muodin, muotoilun ja teknologian yhtymäkohdasta. (Koslow 16.2.2016)

### 3.1.7 Alexis Walsh

Newyorkilainen **Alexis Walsh** oli esillä vuoden 2016 New Yorkin muotiviikoilla (NYFW). Hän esitteli 3D-tulostetut LYSIS kokoelman ja Spire Dressin. Hän oli oppinut 3D-tulostusta yhden teollisuusprojektinsa suunnittelukurssilla ja teki tieteellisen testin 3D-tulostuksen kanssa hetken päähänpistosta ja se on nyt hänen suosikkimenetelmänsä muodin luomisessa (Koslow 17.2.2016)

Walsh suunnitteli Spire Dressin yhteistyössä suunnittelija **Ross Leonardyn** kanssa. Mekko koostuu yli 400 yksittäisestä laatasta, jotka ovat kaikki SLS-menetelmällä 3D-tulostettuja, valmistus on tapahtunut Shapewayssa. Laatat on koottu yhteen käsin käyttämällä liittiminä pieniä metallirenkaita. Spire Dressin muodostavat laatat ovat saaneet idean tuomiokirkon tornien huipuista. Puvun muoto suunniteltiin algoritmijoukon avulla

käyttäen Grashopperia ja ennen valmistusta Shapewayssa Walch teki prototyypin MarkerBot-tulostimella (kuva 3.1.7.1).(Koslow 17.2.2016)



*Kuva 3.1.7.1. Spire Dress. (Koslow 17.2.2016)*

Walshin LYSIS-kokoelma on perinteisen muodin tekniikoiden sekä uudemman toteutetun 3D-tulostustekniikan sekoitus. Kokoelma sisältää 3D-tulostettuja kappaleita, jotka on ommeltu kankaalle käsin. Koristeet on valmistettu nylonista, kaikki kappaleet on kuivattu, hiottu ja viimeistelty käsin (kuva 3.1.7.2). Tämä kokoelma auttoi Walshia voittamaan ensimmäisen Shapeways Education Grantin ja oli ensimmäisenä esitelty newyorkcityläinen tulostusnäytös huhtikuussa 2015. (Koslow 17.2.2016)



*Kuva 3.1.7.2. Walchin LYSYS-sarja. (Koslow 17.2.2016)*

### 3.1.8 Ohne Title

Newyorkilainen, muotoilijoiden **Alexa Adams** ja **Flora Gill**, perustama naisten vaate-merkki, Ohne Title oli mukana NYFW:llä Microsoftin rahoittamalla syksy/talvi 2016

kokoelmallaan. Heidät tunnetaan muotimaailmassa neulonta ja virkkaustekniikoistaan ja heidän kokoelmansa on sekoitus 3D-tulostusta ja heidän perinteisiä valmistustapojaan muodostaen hienoja kokoonpanoja ja laskeutuvia 3D-tulostettuja rengashaarniskapukuja. (Koslow 18.2.2016)

Cill rakastaa ennalta arvaamattomia sekoituksia vanhaa ja futuristista valmistusta. Hän kertoi heidän katsoneen rengashaarniskan rakennetta inspiraatiota varten. He venyttivät rengashaarniskamaisia lenkkejä ja tekivät kalanruotomaisen rakenteen, yhdistäminen on tehty virkkaamalla (kuva 3.1.8.1) ja saatu aikaan häkkimäinen rakenne. Hänen mielestään oli mielenkiintoista työskennellä 3D-mallinnuksen ja tulostimien kanssa nähdessä mikä on mahdollista. (Koslow 18.2.2016)

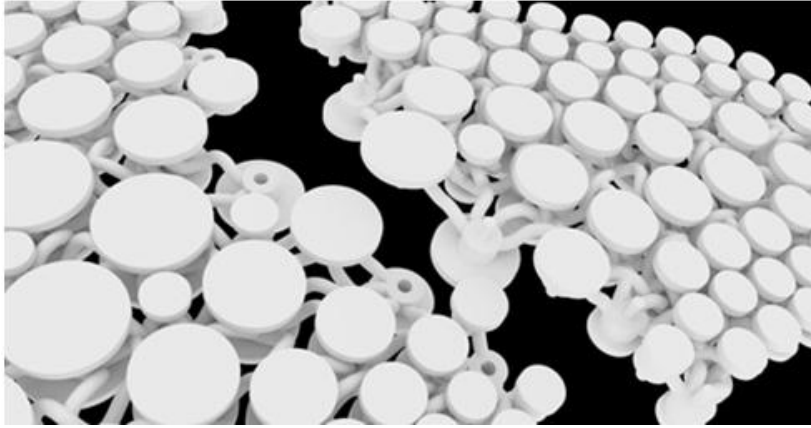


*Kuva 3.1.8.1. ”Häkkimekon” rakennetta ja osien yhdistämistä. (Koslow 18.2.2016)*

Ohne Titel on myös tulostettu Shapewayn Frosted Ultra Detail Acrylic Plasticista, mikä oli ensimmäinen kerta, kun tätä materiaalia käytettiin muotiluomuksessa. ”Häkkimekko” tarjoaa todisteen siitä, että uutta ja vanhaa teknologiaa ei tarvitse pitää erillisinä maailmoina, vaan neulonnalla ja virkkauksella on oma tehtävänsä 3D-tulostettujen osien yhdistämisessä. Ohne Titelin Flora Gill näkee yhtäläisyyksiä neulonnan ja 3D-tulostusteknologian välillä. (Koslow 18.2.2016)

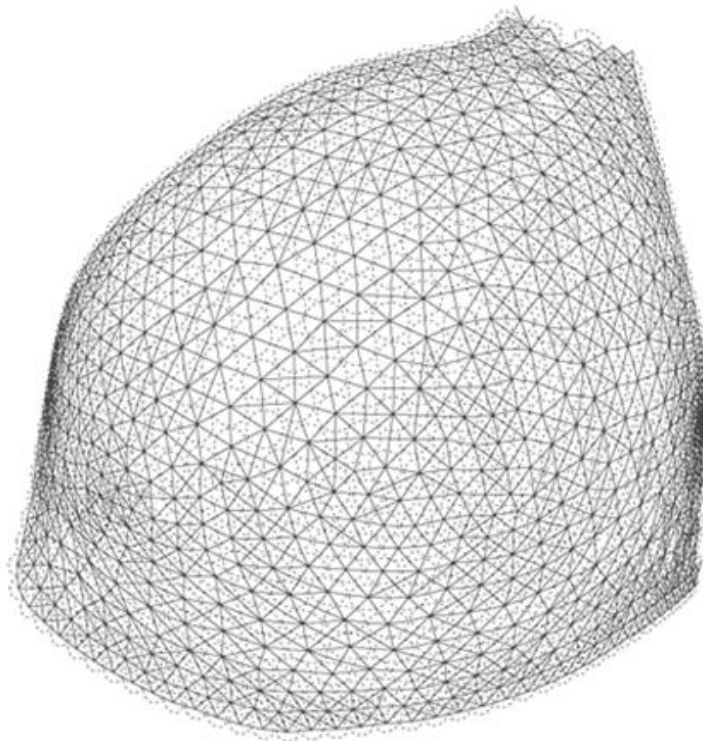
### 3.1.9 Jenna Fizel ja Mary Haung

Ensimmäiset 3D-tulostetut bikinit, N12, suunnittelivat ja valmistivat suunnittelijat Jenna Fizel ja Mary Haung **Continuum Fashionista** yhteistyössä Shapewaysin kanssa, vuonna 2010. Bikinit on rakennettu tuhansista erikokoisista pyörylöistä, joiden koko vaihtelee sen mukaan miten kaarevassa tai suorassa osassa ne ovat ja osat yhdistetään toisiinsa jousilla (kuva 3.1.9.1). Rakenteella saadaan aikaan joustava, muotonsa pitävä pinta, materiaalina on käytetty nylonia. Ajatuksena oli saada aikaan täysin 3D-tulostettu ready-to-wear -vaate, eli vaate valmis puettavaksi. (Etherington 2011)



*Kuva 3.1.9.1. Bikinit rakentuvat erikokoisista ympyröistä ja ympyrät toisiinsa liittävästä jousista. (Etherington 2011).*

Valmistus on aloitettu skannamalla ihmisen keho ja muodostamalla geometrinen verkko kuvio siitä, miten ympyrät vaatteessa sijaitsevat ja minkä kokoisia ne ovat. Haugin mukaan ympyröiden asettelu saatiin aikaan tilaustyönä tehdyn kirjallisen koodin avulla, siinä suunniteltiin pyörylät pinnan kaarevuuden mukaan (kuva 3.1.9.2). (Etherington 2011)



*Kuva 3.1.9.2. Suunnitelma ympyröiden asettelusta bikineihin. (Etherington 2011)*

Kuviointi aloitettiin sijoittamalla ympyröitä lähellä reunaa oleviin pisteisiin ja seuraava ympyrä yritettiin sijoittaa mahdollisimman lähelle edellistä. Asettelussa huomioitiin pinnan kaarevuus, syntyneisiin rakoihin sijoitettiin pieniä ympyröitä, jotta pinnasta saatiin peittävä. Ympyräkuviointisysteemin tavoitteena on mukauttaa se mahdollisimman

paljon mihin tahansa pintaan ja missä tahansa koossa, että sitä voitaisiin soveltaa muihinkin vaatteisiin. (Etherington 2011)

Kuten kuvasta 3.1.9.3 näkyy, bikinien housuosat kiinnitetään toisiinsa sivulla olevilla hakasilla ja yläosassa edessä on myös hakanen, selän ja niskan takana on ”nauha”. Bikininit ovat ensimmäiset nettimyynnistä saatavat 3D-tulostetut vaatekappaleet. (Etherington 2011)



*Kuva 3.1.9.3. N12 bikininit (Etherington 2011).*

Fizel suunnittelee ja ohjelmoi ja hän on kiinnostunut perinteisten käsityötaitojen uudelleentulkinnasta ja valmistuksesta käyttäen tietokoneellisia työkaluja. Haungilla on BA Design and Media Arts UCLA:sta ja MA Copenhagen Institute of Interaction Designista (CIID) ja hän on työskennellyt vuorovaikutuksen suunnittelussa Local Projektissa New Yorkissa. Hänen toinen huomattava työnsä sisältyi Rhyme&Reasonin LED mekkojen kokoelmaan sekä TYPEFACE-tietokoheohjelmistoon, joka sisältää kasvojen tunnistusta ja painoasua. (Etherington 2011)

Monilla suunnittelijoilla on joko pelkästään tai vaatteiden lisäksi erilaisia 3D-tulostettuja asusteita ja pukujen somisteita, joillakin, kuten Iris van Herpenillä myös kenkiä. 3D-tulostettujen tuotteiden rakenneratkaisut vaihtelevat ja ovat kehittyneet ajan myötä.

## **3.2 3D TULOSTUKSELLA TEHTYJÄ TEKSTIILIMÄISIÄ PINTOJA**

3D tulostuksella aikaansaadut rakenteet ovat ominaisuuksiltaan erilaisia, kuin perinteisesti valmistetut tekstiilirakenteet, valmistuuhan tekstiili eri suunnassa. Muutama tutki-

jaryhmä on yrittänyt valmistaa perinteisen tekstiilin näköistä pintaa uusien menetelmin. Tekstiilimäiseltä vaatteelta vaaditaan joustavuutta, mukavuutta, pehmeyttä ja pesunke- toa, joita tähän mennessä tehdyissä vaatteissa ei ole täysin saavutettu.

### 3.2.1 The Faculty of Textile and Clothing Technology-projekti

Saksalaisten tutkijoiden ”The Faculty of Textile and Clothing Technology”-projekti, **Niederrhein University of Applied Sciences**ista, pyrki selvittämään onko eri asia val- mistaa tekstiili kerros kerrokselta 3D-tulostuksella, vai perinteisesti säie säikeen yli pu- ristuen. Tutkimusryhmään kuuluvat **R.Melnikova**, **A.Ehrmann** ja **K.Finsterbusch** tavoittelevat keinoitekoista uudelleenmuodostettua tekstiilirakennetta käyttämällä 3D- tulostusteknologiaa. He keskittyivät tekstiilityyppiseen kuviointiin, jonka voi yhdistää perinteisiin tekstiileihin tai jopa korvata ne. He käyttivät helposti saatavilla olevaa tek- nologiaa, 3D graafinen ohjelma Blender™ – käytetty suunnitteluvaiheessa, Netfabb - käytetty tarkastamaan ja korjaamaan suunnitelmia ennen tulostusta, FDM 3D-tulostinta – kaikkiin FDM-pohjaisiin kokeiluihin. SLS kokeissa he kääntyivät Shapewayn puo- leen.(Alec 27.10.2014; Melnikova et al. 2014 s.2)

Ensimmäisten kokeiden tarkoituksena oli jäljitellä kolmea erilaista tekstiilirakennetta: erityisesti kudeneulottua singleneulosrakennetta, jossa voidaan käyttää villaa, useasta materiaalista valmistettuja malleja ja pitsikuvioita. Tulokset saavutettiin käyttämällä erilaisia materiaaleja. Kaikki rakenteet tulostettiin ilman peruspohjaa, siitä huolimatta tulostus on periaatteessa mahdollista myös joustavilla tekstiilimateriaaleilla, riippuen materiaaliyhdistelmästä ja tulostimen asetuksista. FDM 3D-tulostimen kanssa käytettiin PLA:ta (pidentymä ennen murtumista n. 4 %) sekä pehmeätä PLA:ta (PLA+pehmenin, pidentymä ennen murtumista n. 200 %). FDM prosessin ja SLS tulostimen yhdistelmä työstettiin Shapewaysillä, materiaalina käytettiin nylonia nimeltä ”White strong & fle- xible”. Tutkijat käyttivät myös saksalaisen keksijän **Kai Parthyn** monikäyttöistä PO- RO-LAY-filamenttikuitua, joka koostuu lukuisista lujista, mutta joustavista ja jopa imukykyisistä filamenteista. Tämän kokemuksen vuoksi saksalaiset tutkijat käyttävät myös BendLay’tä (butadine), joka on kovempi kuin pehmeä PLA, sitkeä, taivutettavissa oleva ja vähemmän hauras kuin ABS (akryylnitriitti butaani styreeni) sekä Layfeltia, joka on myös hyvin luja, mutta voi hyvin helposti pehmetä jos sen upottaa veteen. ABS suljettiin pois ensimmäisen testin jälkeen, koska testi näytti vajavaisia ominaisuuksia testattaessa tekstiilipohjaisia malleja. (Alec 27.10.2014; Melnikova et al. 2014 s.2)

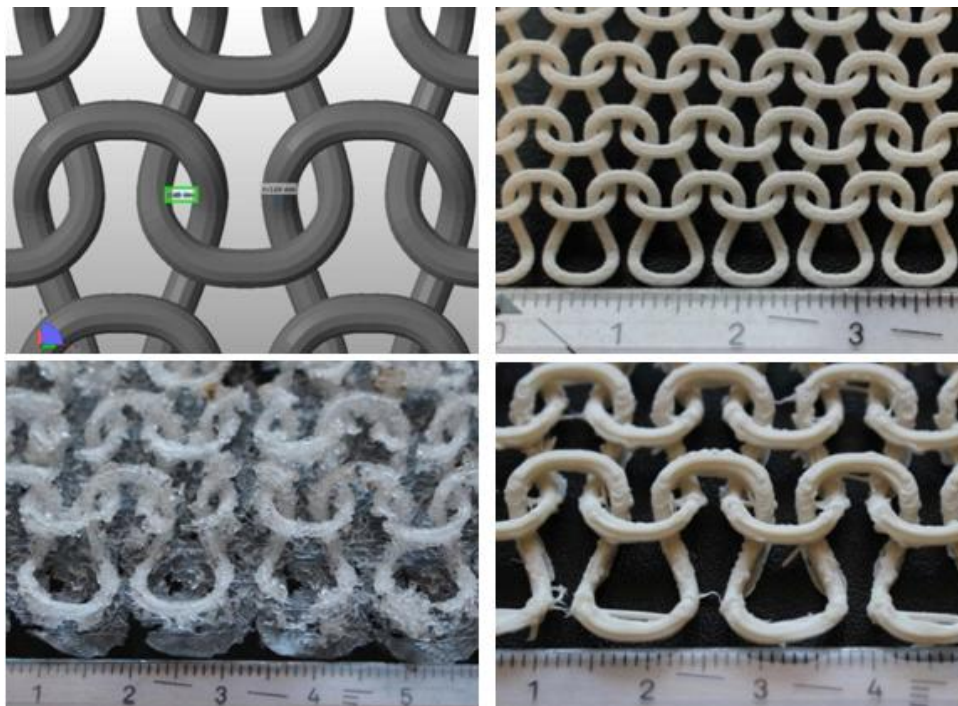
#### 3.2.1.1 Kudeneulosrakenne

3D-tulostettu kudeneulosrakenne perustuu CAD-mallin kehittämiseen yhdessä Blender- ja Adobe-piirustusohjelmien kanssa. Ulkonäöltään ja periaatteiltaan tulos muistuttaa kudeneulosta, mutta materiaalin jouston puuttuminen johtaa selvästi erilaisiin mekaani-

siin ominaisuuksiin, kuten joustavuuteen, kuin perinteisistä tekstiilimateriaaleista ja perinteisellä tavalla tehty neulos. (Alec 27.10.2014; Melnikova et al. 2014 s.2)

Kehitettyyn CAD-malliin SLS-teknologiaa käyttämällä minimi ”langan” paksuus on 0,8 mm ja minimietäisyys naapurilangasta on 0,4 mm. Syntyvä malli monistaa periaatteessa kudeneuloksen ulkonäön, mutta johtaa erilaisiin mekaanisiin ominaisuuksiin, kuten joustoon. SLS-prosessissa on myös se heikkous, että sillä ei yleensä voi tulostaa kuin yhdellä materiaalilla kerrallaan, monella materiaalilla tulostamisessa täytyy jokainen materiaali tulostaa erikseen ja liittää myöhemmin yhteen. (Alec 27.10.2014; Melnikova et al. 2014 s.2)

Myös FDM-teknologian todettiin olevan sopimaton, koska FDM-tulostin tarvitsi työskennellessään työtä tukevan rakenteen muodostaessaan kudeneulosvaikutelman Bendlay-filamentista. Tukimateriaali voi olla samaa tai eri materiaalia kuin mallissa itsessään, tuentaa on vaikea toteuttaa. Mallia täytyi myös suurentaa, että saavutettiin materiaalin vähimmäispaksuus (tässä 1,88 mm) ja välttyttiin rakenteen murtumiselta, tästä huolimatta rakenteet olivat vielä liian hienoja tulostettaviksi suunnitellusti eikä ollut vielä mahdollista muodostaa yhtä suhteellisen kelvollista mallia. Sama rakenne tulostettiin käyttäen pehmeää PLA:a ilman tukirakenteita ja se antoi huomattavasti paremman lopputuloksen (kuva 3.2.1.1.1).(Alec 27.10.2014; Melnikova et al. 2014 s.2)



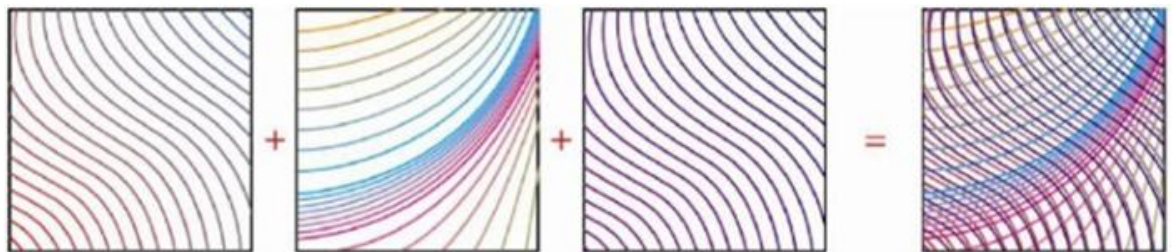
**Kuva 3.2.1.1.** Vasemmanpuoleisessa yläkuvassa on CAD-malli Blender™:llä tulostettavasta kudeneulosrakenteesta, alakuvassa Bendlaystä tulostettu versio tukirakenteen kanssa. Oikeanpuoleisessa yläkuvassa SLS-teknikalla tulostettu rakenne, alakuvassa on tulostuksessa käytetty pehmeää PLA:a ilman tukirakennetta. Viivain kuvaa mittasuhteita. (Alec 27.10.2014; Melnikova et al. 2014 s.2)



Pehmeästä PLA:sta tulostettu kudeneulospinta muistuttaa ominaisuuksiltaan jo materiaalsina joustavuuden puolesta enemmän perinteisesti valmistettua kudeneulospintaa, kuin SLS-tekniikalla tulostettu malli. Tutkijaryhmä uskoo, että tämänkaltainen joustava materiaali voisi olla tulevaisuudessa ratkaisu oikeiden tekstiilien tulostukseen. Heidän mukaansa ABS on usein osoittautunut liian hauraaksi haluttuihin hienorakenteisiin ja kovaa PLA:a ja nylonia käytetään SLS tulostuksessa ja ne voivat olla liian kovia tyyppilisten tekstiilisovellusten käyttöön. Makroskooppisessa tarkastelussa pehmeällä PLA:lla valmistetussa mallissa on karheutta, kun taas luonnonkuiduista valmistetussa mallissa sitä on mikroskooppisessa tarkastelussa. Tutkijoiden mukaan tutkimuksessa saatujen kokemusten perusteella näyttää, että yksinkertainen yleisen tekstiilirakenteen vastine ei voi olla ihanteellinen tapa tuottaa 3D-tulostettua tekstiilimateriaalia. (Alec 27.10.2014; Melnikova et al. 2014 ss.2,3)

### 3.2.1.2 Kerroksellisia rakenteita

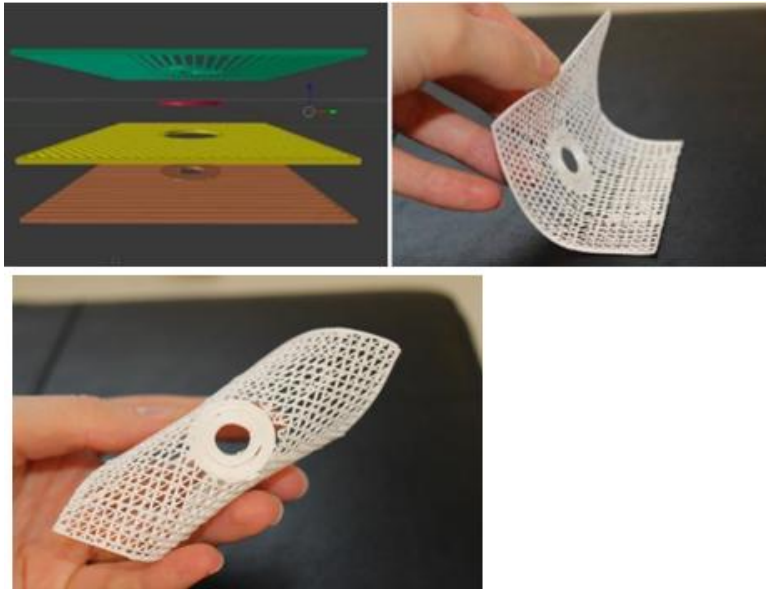
Tutkimuksessa testattiin myös kerroksellisia rakenteita. Tuloksena saatiin hyvin mielenkiintoisia tekstiilityyppejä rakenteita. Kuvassa 3.2.1.2.1 on kolme erilaista kerrosta ja niiden tuottama tulos. (Alec 27.10.2014)



**Kuva 3.2.1.2.1.** Kolmesta erilaisesta kerroksesta FDM:llä aikaansaatu rakenne. (Alec 27.10.2014)

Tässä tutkittiin myös, voidaanko yksittäiset langat sijoittaa suhteellisen avoimeen rakenteeseen ilman tukirakennetta. Suunnitelmasta tehtiin mallikappale ja todettiin, että alapuoli on hauras ja langat voivat mennä joskus poikki, ainakin jos minimihalkaisija 0,4 mm säilytetään. Tämän kokeen tuloksen perusteella tutkijat eivät tavoittele tällaista enää uudelleen. (Alec 27.10.2014; Melnikova et al. 2014 s.4)

Tutkijat tarkastelivat myös monimateriaalisia malleja ajatuksena, että mikään vaate ei koostu vain yhdestä materiaalista, etenkin jos siinä on kiinnittimiä tai vastaavaa. Monesta materiaalista tulostettaessa käytetään useampia suuttimia ja silloin saadaan eri materiaalit yhteen ja samaan tuotteeseen. Kuvassa 3.2.1.2.2 on suunnitelma kolmikerroksisesta rakenteesta, jossa kahden kerroksen välissä on vahvikerengas (punainen), sekä valmis 3D-tulostettu malli. Kerrokset on valmistettu pehmeästä PLA:sta ja vahvike rengas kovasta BenLaysta ja se tulee viimeistelyn jälkeen osaksi ylempää ja alemmää kerrosta. (Alec 27.10.2014; Melnikova et al. 2014 ss.5,6)



*Kuva 3.2.1.2.2. Suunniteltu kolmikerrosmalli vahvikerengaalla sekä tulostettu taipuisa malli. (Alec 27.10.2014)*

Tämäntyyppisellä tekniikalla on mahdollista luoda monesta aineesta koostuvia tekstiilejä 3D-tulostuksella. Tekniikka on vielä kokeiluasteella, eikä sillä vielä pystytä tuottamaan tuloksia, jotka ovat yhtä tiheitä ja vahvoja, kuin puettavien tekstiilien tulee olla. (Alec 27.10.2014; Melnikova et al. 2014 s.5)

### 3.2.1.3 Pitsikuviot

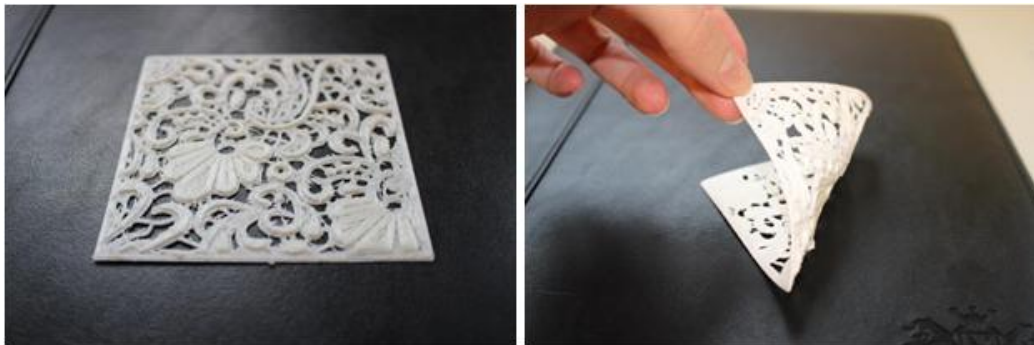
Pitsikuvioita muodostettaessa oli käytetty inspiraationa tunnettuja Plauenin pitsejä (kuva 3.2.1.3.1), joissa on aiheena enimmäkseen kukka- ja ympyräelementtejä sekä näitä yhdistäviä osia.



*Kuva 3.2.1.3.1. Vasemmalla esikuvapitsi kuvattuna ”netfabbissa” ja oikealla pitsin tulostettu vastine. (Alec 27.10.2014; Melnikova et al. 2014 s.4)*

Pitsin tulostus oli aloitettu osittain avoimella peruskerroksella, joka ei kuitenkaan sisältänyt yhtään vapaana kelluvaa aluetta. Tulostus FDM:lla oli ongelmaton, mikäli yhdistävät langat olivat halkaisijaltaan riittävän suuria. (Alec 27.10.2014; Melnikova et al. 2014 s.4)

Useimpiin pitsikuvioihin käytettiin pehmeää PLA:a, välttämään kovemman materiaalin käytöstä johtuvia perusyhteyksien murtumaongelmia. Kokeellisena polymeerinä käytettiin LayTekkksiä, yhtä PORO-Layn neljän erilaisen huokoskoon filamenttia. LayTekkks on kova filamentti, Kai Parthyn (CC-Productsista Colognesta) tuottama. Filamentti viehdään tulostussuuttimelle ilman ongelmia, joita pehmeillä filamenteilla useilla FDM-tulostimilla voi esiintyä. Tulostuksen jälkeen malli laitettiin lämpimään veteen muutamista minuuteista tuntien ajaksi, jolloin materiaalin kova osa alkaa tuhoutua pehmentäen kappaletta sitä enemmän mitä kauemmin kappale oli upotettuna veteen (kuva 3.2.1.3.2). (Melnikova et al. 2014 s.5)



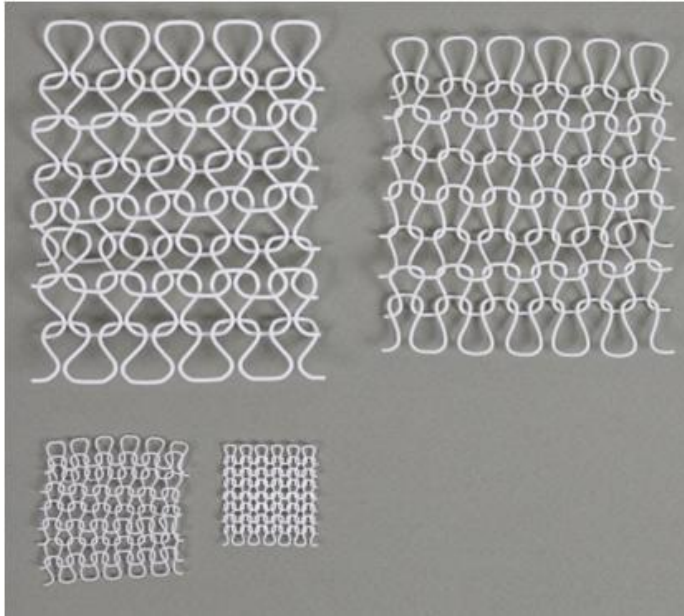
*Kuva 3.2.1.3.2. Vasta tulostettuna kappale on kova, oikeanpuoleisessa kuvassa kolmen tunnin liotuksen jälkeen pehmentynyt kappale. (Alec 27.10.2014; Melnikova et al.2014 s.5)*

Pitsimalli kolmella tai useammalla kerroksella voi koostua pehmeän PLA:n lisäksi kovasta PLA:sta tai BendLaysta valmistetuista osista. Edellä esitellyt materiaalit mahdollistavat uudenlaisen kuosin ja rakenteen kehittämisen vaatetuksen ja yhdistämisen alueille, sallien uuden suunnittelun sekä uudenlaisen toimivuuden, jota ei voi saavuttaa perinteisillä tekstiilikuiduilla.(Melnikova et al. 2014 s.6)

### 3.2.2 Technical Crafting-projekti

Kaksi **Manchester School of Art**:sta tulevaa tutkijaa, **Mark Beecroft** ja **Laura McPherson**, ovat yhdistäneet monitieteellisen ja käytännöllisen tiedon, digitaalitekniikan ja tekstiilit, ja tehneet yhteistyössä Technical Crafting-nimisen projektin. Projektin ajatuksena oli saada aikaan useita joustavia ja puettavia tulevaisuuden tekstiilinäytteitä käyttämällä 3D-tulostusta. Heidän työnsä perustana olivat neuloksen mikroskooppiset muodot, jotka muodostetaan 3D-tulostuksella neulomisen sijaan. (Alec 9.11.2014)

Kuvassa 3.2.2.1 on näytteitä heidän tekemistään kokeiluista. Beecroft vakuuttaa, että nämä neulotuilta näyttävät 3D-tulostetut näytteet ovat jo joustavan tasoisia ja hienon rakenteensa puolesta miellyttäviä vaatteiksi (Alec 9.11.2014).



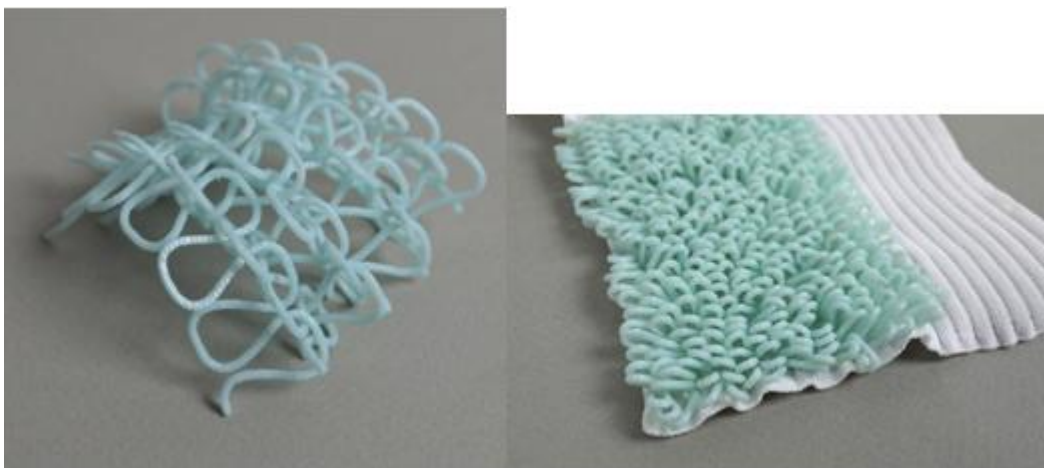
**Kuva 3.2.2.1.** 3D-tulostuksella tehtyjä mallikappaleita, joissa on jäljitelty kudeneulosta (Alec 9.11.2014).

Neuloksen muodot suunniteltiin 3D-tulostusta varten käyttämällä Autodesk 123D -suunnitteluohjelmaa. Alun perin he testasivat näytteitä, jotka oli tulostettu HP Design Jet - tulostimella, mutta tulos oli epätydyttävä. Parempaan tulokseen eli parempaan liikkuvuuteen ja joustavuuteen jokaisessa kappaleessa tarvittiin korkeampitasoinen 3D-tulostin, minkä vuoksi he turvautuivat SLS 3D-tulostustekniikkaan. Tämän ansiosta he saivat paremman tuloksen ja paljon joustavammat kappaleet. (Alec 9.11.2014)

Beecroft ja McPherson pysyivät periaatteessaan tuottaa neulotun pinnan kaltaista loppu-tulosta ja kutsuivatkin työtään uuden ja vanhan tekniikan sekoitukseksi. He toivovat, että tällä tavoin 3D-teknologia tulee täysin hyväksytyksi ja toimivaksi osaksi tekstiilien muodostuksessa. He kokeilivat erilaisia kappaleita, joita oli tulostettu nylonista sekä SLS- että FDM-tekniikalla ja yhdistivät perinteisesti tehtyä neulosta 3D-tulostuksen kanssa (kuvat 3.2.2.2 ja 3.2.2.3). (Alec 9.11.2014)



**Kuva 3.2.2.2.** SLS-tekniikka, materiaalina nylon, neulos yhdistettynä 3D-tekniikkaan. (Alec 9.11.2014; Technical)



**Kuva 3.2.2.3.** FDM-tekniikka, materiaalina nylon, vasemmalla 3D-tulostettu ja oikealla yhdistetty neulos ja 3D-tekniikka (Alec 9.11.2014; Technical)

He selvittivät myös erilaisia vaihtoehtoja, kuten värityksen ja lämmön asettumista, ja mitä nylonin muotojen käsittelymahdollisuudet tuovat esille. Värien mukaan ottaminen vaikutti myös lankojen ja materiaalien valintoihin.

### 3.4 RUOTSISSA KEHITETTY SELLU VAATTEIDEN VALMISTUKSEEN

Ruotsissa on kehitetty sellua, jota voi tulostaa 3D-bioprintterin avulla. Sillä voi tulostaa mitä tahansa esineitä, vaikka vaatteita. **Chalmersin teknillisen korkeakoulun tutkijat, Wallenbergin puuosaamisen keskukselta**, kehittivät biotulostimen ja he odottavat, että sellutulostimen tuotteista tulee vaihtoehto muovisille ja metallisille esineille. (Paukku 2015)

Tavallinen sellu on ominaisuuksiltaan erilainen kuin muovi ja metalli, koska se ei sula, joten tulostamiseen tarvittiin erilainen laite. Raaka-aineena on hydrogeeliä, joka on 95 - 99 prosenttisesti vettä, geeli sitoo sellun. Haasteena oli myös saada kuivattua tulosteet niin, etteivät ne muuta kolmiulotteista muotoaan ja se onnistui jäädytyksellä (kuva 3.4.1). Tulostettavan esineen muotoa voi ohjailta säätämällä sellun kuitujen suuntaa tulostuksen aikana. Tällä menetelmällä voi valmistaa myös ohuita biokalvoja. (Paukku 2015)



*Kuva 3.4.1. Sellusta tulostettu pieni tuolin mallikappale. (Paukku 2015)*

Muovipohjaiset tulosteet voidaan käyttää uudelleen, kun tuote sulatetaan, mutta se on kuitenkin uusiutumaton raaka-aine. Sellun etuna on, että se on uusiutuvaa raaka-ainetta. Lisäksi valmis tuote sitoo hiilidioksidia ja on biohajoava. Professori **Paul Gatenholmin**, jonka erikoisalaa Chalmerissa ovat biopolymeerit, mukaan tämä tarjoaa aivan uuden mahdollisuuden Ruotsin metsäteollisuudelle. Hänen mukaansa selluloosasta voitaisiin tulostaa esimerkiksi vaatteita. Samoin antureita sisältävien pakkausten, kehon lämpöä sähköksi muuttavien tekstiilien, tai potilaiden ja hoitohenkilöstön välillä viestivien asusteiden tulostus voi olla mahdollista. Sellutulostus voi johtaa sähköä, missä hiiliset

nanoputket ovat hyviä. Ne sekoitetaan selluun 3D-tulostimessa olevalla suuttimella. (Paukku 2015)

### 3.5 VIERAILU AALTO-YLIOPISTOSSA

Kävin 3.6.2015 vierailulla Aalto-yliopistossa tapaamassa **Jussi Mikkosta** (tohtoriopiskelija ja Laboratory Manager) ja **Juhani Tenhusta** (Aalto Media Factory, Factory Manager). Mikkosen osastolla on kaksi korkeatasoista 3D-tulostinta, joista toisella voi tulostaa ilman tukirakenteita ja toinen tarvitsee tuen. Tenhunen esitteli myös laitteita, joilla on tulostettu FDM-tekniikkaa käyttäen, materiaaleina hartsia, ABS-muovia, PLA:ta ja puufilamenttia. Puu ei hänen mukaansa oikein toimi, koska puusta jää herkästi noka-reita suuttimeen, jotka sitten tukkivat suuttimen. FDM:n lisäksi käytetään myös SLA:aa (stereolitografia).

Mikkosen osastolla on 3D-tulostustekniikan avulla tehty laitteita ja suojakuoria, joiden avulla on sisällytetty elektroniikkaa vaatteisiin, kenkiin, asusteisiin ja jopa jalan kipsiin. Heillä on kokeiltu myös vaatteita, mutta tulokset eivät ole olleet oikein lupaavia. Ongelmana on ollut lähinnä vaatteen laskeutuvuuden ja keston välinen suhde. Jos haluaa kestäväää, pitäisi tehdä kovasta materiaalista, jolloin laskeutuvuutta ei ole ja jos haluaa kangasmaista laskeutuvuutta, niin kestävyys kärsii. Kestävyyttä on haettu myös laittamalla kova kerros pehmeän materiaalin väliin, jolloin on saatu kestävyyttä, mutta laskeutuvuus ei ole kankaan verosta. Seuraavissa kuvissa 3.5.1 – 3.5.4 on esimerkkejä erilaisista kokeiluista.

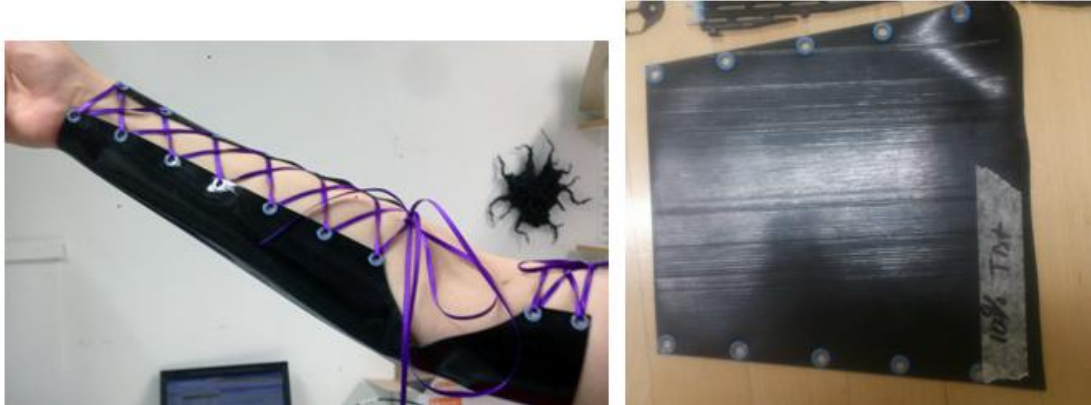


**Kuva 35.1.** Vasemmalla 3D-tulostettu korsetti (Mikkosen kuvamateriaalia), oikealla lähikuva materiaalin rakenteesta.

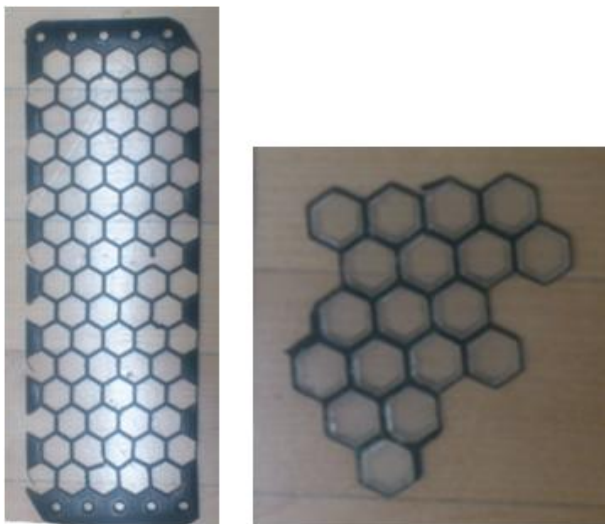


**Kuva 35.2.** Vasemmalla korsettiin ommeltu 3D-tulostettu kiinnitin (Mikkosen kuvamateriaalia). Oikealla lähikuva kiinnittimestä.





**Kuva 3.5.3.** Vasemmalla käsivarteen tehty 3D-tulostettu asuste (Mikkosen kuvamateriaalia). Oikealla lähikuva materiaalista.



**Kuva 3.5.4.** Hunajakennomainen rakenne, jolla saadaan taipuisuutta, mutta rakenne ei ole kovin kestävä.

### 3.6 RAKENTEITA JA MATERIAALEJA

Tähän mennessä valmistetuissa vaatteissa on käytetty pääasiassa SLS- ja FDM-menetelmiä. Materiaaleina on ollut polyamidia, TPU:ta (thermoplastic polyurethane), nylonia, PLA (polylactide) sekä kovana että pehmeänä, neopreeniä sekä kahden valmistajan omat materiaalisekoitukset Shapewayn Frosted Ultra Detal Acrylic ja Stratasysin Nano Enhanced Elastomeric.

Rakenteissa on monenlaisia geometrisistä muodoista valmistettuja paloja yhdistettynä suuremmiksi kokonaisuuksiksi, sektoreina valmistettuja ja yhtenäiseksi pinnaksi yhdistettyä sekä yhtenäistä pintaa. Yhdistämiseen on käytetty laseria, metallisia renkaita, jousia tai nivellystä palojen välillä. Viimeistykseen käytettiin värjäystä tai lakkausta tai käsin tehtyjä koristeita.

Valmistukseen käytettiin myös tulostuksen ammattilaisia kuten .MGXMaterialise, Shapeways, Intel ja Stratasys sekä ammattitason laitteita. Varhaisimmat 3D-tulostukset olivat jäykempiä ja haarniskamaisempia, mutta uusimmat ovat joustavampia ja paremmin kehoa myötäileviä. Vaatteen puettavuus, käytettävyys ja pesu ovat vielä tulevaisuuden haasteita.

**Tasomaisen tekstiilipinnan** muodostamisessa on käytetty osin samoja materiaaleja kuin vaatteiden suunnittelussa, mutta lisäksi joitakin erikoismateriaaleja, kuten PORO-LAY-filamenttikuitua ja sen yhtä huokoskokoa LayTekkksiä, nylon-kuitua nimeltä ”White strong & flewible”, BendLay-filamenttia (butadinea), ABS’iä (akryylinitriitti butaani styreeni), josta saksalaisten tutkijoiden ryhmä tosin luopui materiaalin kovuuden vuoksi, mutta jota käytettiin kuitenkin Aalto yliopistossa. Käytössä oli myös sellu ja puufilamentti, sekä yhdistelmiä kuten pehmeä ja kova PLA tai esimerkiksi kolmesta kerroksesta valmistettu pala, jossa jokainen kerros oli eri materiaalia.

Menetelminä näissä käytettiin FDM-, SLS-tekniikkaa ja niiden yhdistelmää sekä tähän yhdistettynä perinteistä neulosta sekä SLA-tekniikkaa. Rakenteina oli kudeneuloksen näköinen rakenne, erilaisia kerroksellisia rakenteita ja pitsikuviot, jotka oli tehty FDM-tekniikalla. SLS-tekniikassa käytettiin valmistajana Shapewaysiä. Suunnittelussa käytettiin Blender- ja Adobe-piirustusohjelmia sekä Auodesk 123D-suunnitteluohjelmaa.

### 3.7 ANALYYSI

Palaan alkuperäiseen ongelmaan eli pystyisikö 3D-tulostuksella valmistamaan mallivaatteita sen sijaan, että niitä nyt tehdään kankaasta. Vaatteet, joita työssä on esitelty, eivät ole sellaisia, että ne rakenteensa ja materiaaliensa puolesta toimisivat nykytyylisten vaatteiden mallivaatteina. Esitellyt vaatteet ovat hyvin erilaisia kuin kudotusta tai neulotusta kankaasta valmistetut. Vaatteista puuttuu kangasmainen laskeutuvuus ja rakenne. Suunnitelluissa tasomaisissa tekstiilirakenteissa on jäljitely neuloskankaan rakennetta, mutta tulos on vielä melko karkea ja kankea verrattuna esimerkiksi trikoon rakenteeseen, jossa lanka on paljon ohuempaa, mutta silti sitkeää ja taipuisaa. Nyt esitellyillä vaihtoehdoilla ei mallivaatteita vielä pystytä tulostamaan, mutta kannattaisi tutkia myös muiden 3D-sovellusten tekniikoita ja hienorakenteita, löytyisikö niistä sovellusta tai tekniikkaa, joka sopisi myös vaatetuksen käyttöön.

### 3.8 TULEVAISUUDEN VISIOITA

Vuoden 2013 syyskuun 23 päivän Taloussanomissa kerrotaan muun muassa yhdysvaltalaisen suunnittelu- ja konsulttitoimisto **Moondialin** tulevaisuuden visioista, joissa koko vaate valmistetaan 3D-skannerilla. Visiossa asiakas kävelee tämän skannerin läpi ja

tulee ulos uusi vaatekerta päällään, jonka mallin on valinnut vapaasti maailmankuulujen muotisuunnittelijoiden kokoelmista, valmistusta on valvonut ammattiräättäli. Ajatuksena olisi, että asu lämpenisi kylmällä ja viilenisi kuumalla, asu voisi vaihtaa väriä ja kuosiin. Lisäksi saman asun mallia voisi muuttaa ja sen materiaalia kierrättää. Asu säästäisi monikäyttöisyytensä ja kierrätettävyytensä vuoksi myös luonnonvaroja. (Alavalkama 2013)

Iris van Herpen on innostunut asiasta, että 3D-tulostus täyttäisi aukon räätälöidyn ja massatuotetun vaateen välillä sekä yhdistäisi mitoituksen Ready-to-Wearin (RTW) kanssa. Hänen haaveensa on, että ihmiset saisivat tällä menetelmällä tilattua juuri heille sopivat vaatteet. Hänen mukaansa tämä menetelmä olisi mullistavaa sekä puvustajalle että valmistajalle ja tulevaisuudessa sanottaisiinkin, että vaate on yksilöllisesti tulostettu, eikä yksilöllisesti valmistettu tai räätälöity. (Rietveld 2013)

Francis Bitontintia haastateltiin Dezee Magazineen kesäkuussa 2015 ja kysyttiin silloisesta 3D-tulostuksen tilanteesta sekä tulevaisuudesta. Hänen mukaansa 3D tulostusteollisuudesta on tulossa uskomattoman pysähtynyttä ja se ”on järkyttynyt omasta vallankumouksestaan” yhdisteltyään lelunkaitaisia koneita, ylihintaisia materiaaleja ja lainopillisia riitoja. (Howart 25.6.2015)

Bitonti pitää monia markkinoilla olevia koneita vain vähän parempina kuin näpertelyyn tarkoitettuja leluja, eikä sellaiset luo seuraavaa teollista vallankumousta. Kun FDM koneiden patentit raukesivat, niiden kanssa tuli räjähdysmäinen kasvu, samoin odotetaan käyvän DLP (digital laser projection)- ja SLA-koneiden patenttien raukeamisen jälkeen. Hänen mukaansa ongelmana on, että koneiden valmistajat ovat tehneet niin monia oletuksia siitä kuinka koneita halutaan käyttää, että se rajoittaa koneiden käyttöä. (Howart 25.6.2015)

Bitontin mukaan tulostusmateriaalit ovat kalliita ja huonolaatuisia muoveja, niillä ei voi kilpailla ruiskuvalun tai minkään muunkaan valmistustyyppin kanssa. Ongelmana on myös, että tuotteissa on usein montaa materiaalia ja silloin tulostimen pitäisi pystyä tulostamaan niitä kaikkia tai sitten tulostimia pitäisi olla useita. Hänen mielestään 3D-tulostusteollisuuden tulisi avata immateriaalioikeuksiaan, että suunnittelun ja valmistuksen yhteistyö kehittyisi. (Howart 25.6.2015)

Paria vuotta aiemmin oli 3D-tulostusta alettu ylimainostaa vallankumouksellisena teknologiana, että pian joka kodissa voidaan nähdä tulostin asennettuna ja sillä voidaan tuottaa kaikki arkkitehtuurista muotiin. 3D-tulostusinto on kuitenkin jäänyt toteutumatta. Bitontin mukaan ihmiset unohtavat usein, että on kyse suhteellisen uudesta keksinnöstä, joka ei ole vielä täysin kehittynyt eikä sillä ole siis vielä mahdollista toimia täysin. Koneet ja ohjelmistot kehittyvät ja tulevat halvemmiksi ja nopeammiksi. Suunnitte-

lu 3D-tulostukseen on erilaista kuin aiempi suunnittelu, ajattelutapa on täysin erilainen. (Howart 25.6.2015)

Teollinen suunnittelija **Joshua Harris** haaveilee, että vuonna 2050 voimme tulostaa vaatteemme kotona vaateen tulostimella. Hänen mukaansa ihmiset tulevat aina vain valveutuneemmiksi ja mukavuudenhaluisemmiksi ja haluavat siksi tulostaa tuotteen välittömästi käyttöön. Ihmiset myös asuvat yhä useammin kaupungeissa; mahdollisesti vuonna 2050 jopa 75 % väestöstä. Tarvitsisi vain ensin ostaa malli nettikaupasta ja ladata valitsemasi tulos, ostaa langan kasetti yhtiöstä tai suunnittelijalta ja tulostaa se omalla 3D-tulostimella. Jos haluaisi muuttaa vaateen mallia, voisi vaateen syöttää takaisin koneeseen, jossa se hajoaa tai purkautuu langaksi ja puhdistuu. Lanka palaa kasetille tulevaa käyttöä varten. Näin vältettäisiin kuljetuksen ja jakelun kustannukset sekä jätteet. Harrisin ajatuksena on, että tällä menetelmällä vaatekomerot, pesukoneet ja kuivausrummut eliminoidaisiin. Harrisin mukaan kotona vaatteita tekevä laite avaisi uusia mahdollisuuksia vaateusteollisuudelle ja muotisuunnittelijat voisivat tulevaisuudessa joko myydä materiaalikasetteja tai suunnitelmiaan digitaalisesti. Hänen mukaansa tekniikka on olemassa, muttei sellaisena, että se olisi kuluttajan käytettävissä. Kuvat 3.8.1 – 3.8.3 esittelevät Harrisin visiota vaatetulostimesta. (Making 2013)



**Kuva 3.8.1.** Vaatetulostin toiminnassa. (Making 2013)



**Kuva 3.8.2.** Vaatetulostimen valintapaneelin käyttöä. (Making 2013)



**Kuva 3.8.3.** Vasemmalla lanka- tai materiaalikasetteja ja oikealla kasetin sijoittaminen tulostimeen. (Making 2013)

### 3.9 YHTEENVETO

3D-teknologiaa on hyödynnetty vaatteiden ja kenkien suunnittelussa, kaavoituksessa ja esittelyssä käyttäen hyväksi muun muassa animaation keinoja ja bodyskannereita. Luonteva jatkumo olisi itse vaateen valmistus 3D-tulostuksella. Se toisi säästöä tuotantokustannuksiin, vähentäisi materiaalihukkaa, kankaasta valmistettuja malleja voitaisiin vähentää ja prosessiaikaa ideasta kuluttajalle voitaisiin lyhentää.

Tähän mennessä on 3D-tulostuksella valmistettu useita vaatteita, jotka eivät kuitenkaan vielä sovellu jokapäiväiseen käyttöön, vaan ovat lähinnä esittelykappaleita. Tosin on myös suunniteltu 3D-tulostetut bikinit, joita voi tilata myös netistä (Jenna Fizel ja Mary Haung). Tähänastiset vaatteet ovat vielä melko haarniskamaisia ja ongelmana on vaateen peittävyys, tarvitaan vielä jokin perinteisesti valmistettu alusvaatetus. Pesun- ja kulutuksenkesto ovat myös ongelmia ja vaatemaainen mukavuus puuttuu. Erilaisiin asusteisiin 3D-tulostus näyttäisi sopivan paremmin.

On tehty myös tutkimusta erilaisista rakenteista sekä perinteisen kangsrakenteen ulkomuodosta että uusista geometrisista kuvioista, joita voisi käyttää 3D-tulostetun vaateen valmistuksessa. Toistaiseksi langasta valmistettu kangas on tulostustekniikkaa parempi, langan kanssa pystyy saamaan ohuemman, joustavamman ja kestävämmän lopputuloksen kuin tulostamalla. Vaatteiden tulostusmateriaalit ovat paljolti muovipohjaisia, eikä tulostamalla pysty vielä valmistamaan lankamaisen ohutta jälkeä. Tavoitteena olisi löytää materiaali ja rakenne, jotka sopisivat paremmin vaatteisiin.

Tulevaisuuden haaveena yhdysvaltalaisella suunnittelu- ja konsulttitoimisto Moondialilla on 3D-skanneri, johon kävellään sisälle ja ulos tullessa olisi valmis uusi vaate päällä. Lisäksi asu lämpenisi tai viilenisi tarvittaessa. van Herpen haaveilee, että ihmiset saisivat 3D-menetelmän avulla tilattua juuri heille sopivat vaatteet. Bitonti näkee nykytilanteessa isoja ongelmia, hänen mukaansa sekä koneiden että materiaalien tulisi parantua ja yhteistyön sekä avoimuuden lisääntyä, että 3D-tulostuksesta voisi tulla uusi teollinen vallankumous tekstiili- ja vaateusteollisuuden alalla. Teollinen suunnittelija Harris haaveilee, että tulevaisuudessa jokainen voisi tulostaa vaateensa kotonaan, ei olisi vaatekomeroita, pesukoneita, kuivausrumpuja ja kuljetuskustannuksia. Mutta herää kysymys, mihin menee vaatteissa ollut lika tai mihin menee se lankajäte, joka on jo liian kulunut, että siitä voitaisiin valmistaa enää uusia vaatteita.

Ajatus, että mallivaate voitaisiin tulostaa mahdollisen asiakkaan omalla koneella vaikka toisella puolella maailmaa on teoriassa mahdollista. Asun voi skannata niin kuin minkä tahansa muunkin esineen. Ongelmana vain on, että kangasmaisen ohutta tulostetta kangasmaisilla ominaisuuksilla ei vielä saa, mutta haaveilla voi.

Tavoitteena olleeseen ajatukseen, olisiko 3D-tulostus ratkaisu mallivaatteiden määrän vähentämiseksi, on, että ei vielä. 3D-tulostus ei ole vielä niin kehittynyt, että se onnistuisi. Mutta löytyisikö muiden alojen 3D-tekniikasta ja hienorakenteista vaatetukseen sopivia ratkaisuja, kannattaisi tutkia

Työn jälkeen jäi jäljelle vielä kysymyksiä. Vaatteen tulisi olla lämmin/viileä, kestävä, pestävä, laskeutuva ja pehmeä, miten sen voisi käytännössä toteuttaa? Kehitetäänkö tulevaisuudessa uusia materiaaleja, jotka soveltuvat 3D-tulostukseen, vai kehitetäänkö jotakin vanhaa, joka on jo poistunut käytöstä, aivan uuteen muotoon. Entä miten sopisi kierrätyspuuvilla tai puusta saatava kuitu uudella tavalla käytettynä? Entä toisiko 3D-tulostuksen kehittyminen vaatetuotantoa takaisin Suomeen? Tekstiilit poikkeavat niin paljon muista tuotteista kaikkien ominaisuuksiensa puolesta, että herää kysymys, tarvittaisiinko tekstiileille omanlaisensa tulostin. Ja millä kaikilla tavoilla voisi toteuttaa 3D-tulostuksen periaatetta, lisäävää valmistusta, ilman ylimääräisiä koneita tai laitteita. Rahaa ja aikaa 3D-tulostus toteutuessaan säästäisi, täytyisi vain saada ensin aikaan toimivia ratkaisuja.

## 4 LÄÄKETIETEEN 3D-SOVELLUKSISTA

3D-tulostus on yleistymässä vähitellen myös lääketieteessä (Vierula 2013). Se on muuttanut joidenkin lääketieteen välineiden valmistusta toisenlaiseksi ja on myös kustannustehokasta ja kätevää. Jim Bank kirjoittaa (Banks 2013, s.22) IEEE Pulse'ssa, että mediassa usein suurennellaan tekniikan saavutuksia ja puhutaan asioista jo saavutettuina, vaikka pitäisi puhua johtavasta tutkimuksesta, käytännön sovelluksista ja siitä, mitä voidaan odottaa lähitulevaisuudessa. Belgialaisen **LayerWise-yhtiön** toimitusjohtajan ja toisen perustajan Ph.D. **Peter Mercelisin** mukaan (Banks 2013, s.22, 23) 3D-tekniikka on vielä lapsenkengissä, mutta kasvaa nopeasti. On myös paljon tutkimusta ja kehitystyötä erilaisista materiaaleista, käyttövarmuudesta ja tuottavuudesta. Media ja hallitukset ovat hänen mielestään ylimainostaneet asiaa ja ihmisillä on taipumus liioitella jo tehtyjä asioita, lisäksi ihmisillä on hänen mielestään epärealistisia odotuksia.

### 4.1 KOHTEET

3D-tulostuksen mahdollistaa erilaisilla kuvantamismenetelmillä tietokoneelle aikaansaatua kolmiulotteinen malli. Mallinnuksen avulla voidaan valmistaa mm. potilaskohtaisia implantteja, jotka saadaan suunniteltua täsmälleen oikeanlaisiksi. Esimerkiksi kalloimplanttia voidaan kokeilla potilaan kallosta tehtyyn malliin ennen leikkausta ja muuttella sitä vielä tarvittaessa. (Owais et al. 2014, s. 1393, Vierula 2013) Samoin 3D-tulostuksella voidaan valmistaa lääkäreille ja kirurgeille sopivia työvälineitä. Suomessa tekniikkaa on käytetty erityisesti kallon alueen kirurgiassa. Laajimmassa käytössä 3D-tekniikka on preoperatiivisten mallien valmistuksessa (Vierula, 2013). Kun valmistaudutaan leikkaukseen, kohteesta valmistetaan potilaskohtainen mallikappale, jonka avulla leikkausta suunnitellaan. Tehty malli parantaa kunkin potilaan rakenteen ja mittasuhteiden ymmärtämistä sekä vähentää leikkausaikaa, komplikaatioita ja kuolleisuutta. Malli antaa paremman käsityksen leikattavasta elimestä kuin tietokoneen ruudulla näkyvä litteä kuva. (Owais et al. 2014, s. 1393, Vierula 2013)

**Tampereen yliopiston lääketieteellisen teknologian yksikön** johtaja, tutkijatohtori **Jan Wolff** on kehittänyt 3D-tulostuksen käyttöä suu- ja leukakirurgiassa **TAYS**:ssa (Tampereen yliopistollinen keskussairaala), jossa se on nykyään rutiinitoimintaa. Materiaaleina 3D-tulostuksessa, suu-, leuka- ja kallon alueen kirurgiassa, käytetään erityisesti titaania ja kobolttikromia. Wolffin mukaan uuden teknologian käyttöönottoa on hidastanut muun muassa lääkäreiden kiire, niin ettei ole aikaa ja kiinnostusta rutiinien muut-



tamiseen. Lisäksi korkea hinta on vielä este 3D-tulostuksen leviämiselle, mutta hän arvelee tilanteen muuttuvan noin viidessä vuodessa. Myös muita esteitä pitää ylittää ja lisäksi 3D-teknologia vaatii monitieteellistä osaamista. Koulutusta tarvitaan ja Wolff'n mukaan asenteet muuttuvat koulutuksen ja hyvien kokemusten myötä. (Vierula 2013)

3D-tulostusteknologialla on käyttöä myös sydänkirurgiassa. Erilaisilla kuvantamismenetelmillä: 2D-kuvaus, 3D tietokonekerroskuvaus (CT), magneettikuvaus (MRI), ultraäänellä tehty sydämen kaikukuvaus (echocardiografia) ja sydäimestä ruokatorven kautta tehty ultraäänitutkimus (TEE), saadaan 3D-mallinnuksella valmistettua nopea prototyyppi potilaan sydäimestä (Owais et al. 2014, s. 1393). Tämän prototyypin avulla voidaan paremmin saada selvää sydämen rakenteesta ja mittasuhteista, kuin tietokoneen ruudulla olevasta kuvasta, ja suunnitella tarvittavat toimenpiteet. 3D-tulostetuista potilaskohtaisista malleista on lisähyötyä leikkauksen suunnitteluun, lisäksi mallit auttavat leikkaukseen liittyvässä päätöksenteossa. TEE-menetelmällä 3D-maallinnusta varten hankitulla tiedolla on paljon käyttöä sydänlappien kirurgiassa. Potilaskohtaisista tiedoista pystytään tekemään ennen leikkausta geometrisesti sekä koon ja muodon puolesta tarkasti potilaalle sopivia mitraaliläppiä. (Owais et al. 2014, s. 1393)

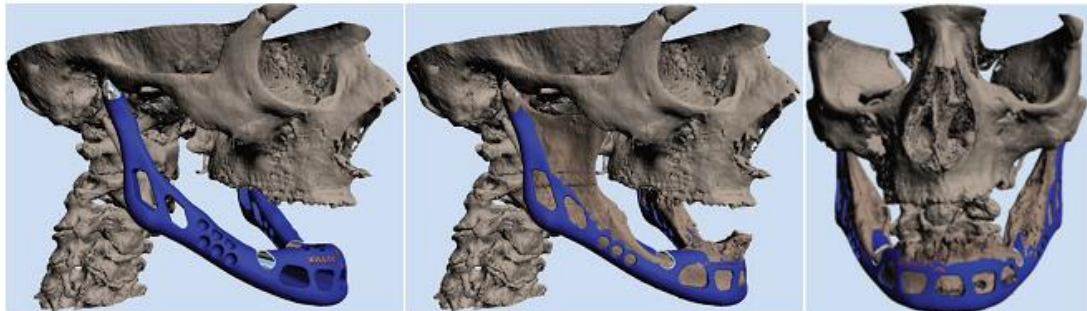
Mitraaliläpän korjausleikkauksessa läpän koko ja muoto on arvioitu ennen leikkausta TEE-kuvilla sekä leikkauksen aikana visuaalisesti. Läpän ihanteellinen koko ja läpän muovisen renkaan tyyppin valinta ovat välttämättömiä korjausleikkauksen onnistumiseksi. Mitraaliläpän renkaista jokainen on oma yksilönsä, eri tavalla joustava ja jäykkä, on monen kokoisia ja muotoisia, sekä erilaisista vaurioista, kuten esimerkiksi sydänlihaksen hapenpuutteesta tai limaisuudesta johtuvia epämuotoisuuksia. Tavoitteena on saada läpän renkaan geometria niin normaaliksi kuin mahdollista. Vaikka TEE menetelmällä saaduilla 3D-kuvilla on syvyysperspektiivi, niiden avaruudelliset ulottuvuudet ovat tietokoneen litteällä 2D näytöllä arvioita. Kiinteä mitraaliläpän renkaan malli kehittyi tätä tekniikkaa käyttämällä ja se perustui muuttuvaan tietoon sydämen yhden sykkeen aikana. (Owais et al. 2014, s. 1394)

Yksilöllinen ja potilaskohtainen malli voi auttaa mitraaliläpän renkaan valinnassa sekä antaa tietoa leikkausta koskevia päätöksiä varten ja sen aikana. Tätä tietoa voidaan käyttää suunniteltaessa menetelmää mitraaliläpän renkaiden objektiivisempaan valintaan ja sitä voidaan käyttää myös koulutuksen työkaluna kehon ulkopuolisina malleina kouluttaessa muun muassa tulevia kirurgeja (Owais et al. 2014, s. 1394).

Lääketieteen professori **Russel Harris Loughborough'in** yliopistosta Britanniasta on tutkinut 3D-tulostusta yli 15 vuotta ja nähnyt tekniikan tasaisen muutoksen alueille, joissa säätelyvaatimukset ovat tiukat. Hänen mukaansa (Banks 2013, s. 23) kuulokojeet ovat erityisen hyödyllinen alue 3D-tulostuksen käytölle, koska jokainen korvakäytävä on muodoltaan erilainen ja teknologialla voi tehdä jokaiselle sopivan laitteen paremmal-

la hyötysuhteella ja edullisemmin. Lähes kaikki korvaan sopivat kuulokojeet tehdään 3D-tekniikalla. Teknologiaa käytetään myös titaanista tehtyihin implantteihin niiden paremman sopivuuden vuoksi, ja hyödynnetään mahdollisuutta tehdä monimutkaisia muotoja ja juuri sopiva implantti. Implanttien teko on 3D-tulostuksen päätarkoitus lääketieteen alalla ja lisäksi työtä on alettu tehdä kudosteknologiassa ja parantaa prosesseja lääkkeiden kehittämissä. Teknologia on kuitenkin vielä kehittyvää ja on jo muuttanut klinikoiden lähestymistapaa muutamiin monimutkaisiin hoitotoimiin. (Banks 2013, s. 23)

3D-tekniikasta on tullut suosittua osassa kehonulkopuolisia sovelluksia. Lääketieteessä on monimutkaisempia ja haastavampia alueita, joissa teknologialla on todennäköisesti suurin vaikutus ja implantit ovat seuraava ilmeinen sovellus. Mercelis on aloittanut työskentelynsä implanttien 3D-tekniikan kanssa tohtoriopintojensa aikana. Teknologia ei vielä vuonna 2004 ollut valmis tekemään tuotteita titaanista ja hänen ryhmänsä työsti ruostumatonta terästä. Ilmeinen hyöty 3D-tekniikasta on ollut implanttien valmistuksessa, kun standardi-implantit eivät sovi kaikille ja erityisalueena ovat monimutkaiset tapaukset. Nyt LayerWise valmistaa edistyksellisiä ortopedisiä, kasvojen, yläleuan alueen ja hampaiden implantteja. Kuvassa 4.1.1 on kuvattu alaleukaan tehtyä implanttia. (Banks 2013, s. 23)



*Kuva 4.1.1. Alaleukaan tehty implantti vasemmalta alkaen päällystettynä, sivulta ja edestä (Banks 2013, s. 23).*

Mercelis toteaa (Banks 2013, s. 24), että 3D-tulostettuja tuotteita käytetään myös muihin, kuten selkärankaan, hampaisiin, kalloon ja kasvoihin liittyvissä sovelluksissa ja 3D-tulostetuista implanteista on enemmän hyötyä potilaalle, kuin kirurgille. Yleisesti ottaen 3D-tulostuksen oleelliset edut ovat tuotteen nopea ja halvempi tuottaminen kuin perinteisellä tuotantotavalla (Banks 2013, s. 24). Hän huomauttaa myös, että 3D-tulostus on kehittynyt nopeasti verrattuna perinteisiin implantin valmistusmenetelmiin. Tuottavuus on kasvanut ja tuotteet ovat myös lujempia, virheettömämpiä, luotettavampia ja toistettavampia. (Banks 2013, s. 26)

Belgiassa on myös toinen yhtiö, joka on **Leuven'in yliopistosta** erkaantunut **Materiale**, joka käyttää 3D-tekniikkaa erilaisissa sovelluksissa ja erilaisten ohjelmistojen kehittämissä tehdäkseen biolääketieteellisen tutkimuksen mahdolliseksi. Yhtiö suunnitteli

myös ohjelman **Mimica** anatomisesta mallista, joka tulkitsee tietoa käyttäen apuna CT skannausta. Yhtiöllä on myös tytäryhtiö, joka on erikoistunut valmistamaan asiakasläh- töisiä lonkkaimplantteja ja kallon levyjä. (Banks 2013, s. 24)

**Koen Engelborghs** Materiliase-yhtiöstä sanoo (Banks 2013, s. 24), että ortopediset yhtiöt ovat kehittyneitä, ja eri yhtiöiden implantit eivät juuri eroa toisistaan. Näemme 3D-tulostetun täysin sopivaksi implantiksi yksittäisille potilaille tai yleisimplanteiksi. Ne ovat huokoisia ja edistävät luun sisäänkasvua. Perinteiset implantit voivat olla liian vahvoja, mikä voi aiheuttaa ongelmia, koska luu on elävä materiaali, ja jos luuhun ei kohdistu riittävää räsitusta, se häviää. Paitsi lonkkaimplantteja, tehdään 3D-tekniikalla myös muita tuotteita, kuten kallolevyjä, kun esimerkiksi onnettomuuden vuoksi on syn- tynyt kallon luuhun vaurio. Yksilölliset kalloimplantit ovat tärkeitä, koska kallon muoto on epäsäännöllinen ja hyvin potilaskohtainen, kuvassa 4.1.2 on titaanista valmistettu huokoinen kallolevy. (Banks 2013, s. 24)



**Kuva 4.1.2.** Huokoinen titaaninen kallolevy on suunniteltu Mimic design ohjelmalla (Banks 2013, s. 24).

3D-tekniikaa käyttämällä on helpompi ottaa huomioon oikea huokoisuus ja elimistössä hajoava materiaali kuin käytettäessä perinteisellä valumuottiperiaatteella tehtyä implanta- tia. 3D-tekniikkaa käyttämällä kallon oma luu korvaa vauriokohdan muutaman vuoden kuluessa. 3D:llä valmistetun implantin teko on myös nopeampaa ja halvempaa kuin perinteisellä tavalla tehdyn implantin. (Banks 2013, s. 24). Kuvassa 4.1.3 on 3D- tekniikalla valmistettu kalloimplantti.



*Kuva 4.1.3. Yksilöllinen 3D-tekniikalla valmistettu kalloimplantti (Banks 2013, s. 24).*

## 4.2 TUTKIMUS

Aalto-yliopiston Kemian tekniikan korkeakoulu ja BIT-tutkimuskeskus ovat mukana ArtiVarc 3D-hankkeessa, joka liittyy EU:n 7. puiteohjelmaan. Sen tavoitteena on valmistaa verisuonitettua keinoihoä 3D-tulostustekniikoita hyödyntämällä. Keinoihoä on ensisijaisesti tarkoitettu käyttääh korvaamaan eläinkokeita farmasia- ja kosmetiikkateollisuudessa. Sen avulla voidaan myös kasvattaa ihoä palovammojen ja niistä aiheutuneiden traumojen hoitoon. (Malin et al. 2013)

BIT-tutkimuskeskuksen johtajana toimii **Jouni Partanen**, joka on maailman johtavia 3D-tekniikoiden kehittäjiä (Toimitus 2013) ja tutkimuskeskuksen tutkimuspäällikkönä on **Jukka Tuomi**, joka on myös Suomen pikavalmistusyhdistyksen puheenjohtaja (Vierula 2013). Euroopasta monitieteellisessä hankkeessa on mukana 16 eri osapuolta. Aalto-yliopiston suurin rooli hankkeessa on uusien materiaalien kehittäminen, karakterisointi ja suonimallitiedostojen luominen. (Toimitus 2013)

Työpaketin vetäjänä Aalto-yliopistossa toimii akatemiaprofessori **Jukka Seppälä**. Biotekniikan ja kemian tekniikan laitokselta Aalto-yliopistosta on tutkimuksessa mukana **Minna Malin**, jonka mukaan kehitettävät materiaalit jaetaan kolmeen pääryhmään, valon vaikutuksesta kovettuviin polymeereihin, lämmön tai paineen avulla työstettäviin lämpöherkkiin polymeereihin (termoplasteihin) ja hydrogeeleihin. Näistä materiaalista jokaisella on oma tehtävänsä suunnitellussa kudoksmallissa. (Toimitus 2013) Materiaaliltaan kudokset ovat polymeerejä, ja tavoitteena on kehittää keinokudoksista mahdollisimman lähelle ihon ominaisuuksia ja koostumusta olevia biopolymeerejä. Materiaalien kehittämisessä suurimpana haasteena on saada niihin halutut ominaisuudet (Malin 2013). 3D-tulostuksen vuoksi materiaalien tulee olla nestemäisiä tai helposti nesteytyviä ja myös nopeasti kovettuvia, minkä takia materiaaleihin on hankalaa saada juuri halutunlaisia ominaisuuksia. Valmistustekniikkana halkaisijaltaan sata mikrometriä olevissa suonissa on periaatteessa yksinkertainen mustesuikutekniikka ja pienemmät hiussuonet

tehdään korkean resoluution kaksifotonilasertekniikalla. Näin tehdyt suonet ympäröidään hydrogeelillä ja nanokuiduista muodostetulla verkkorakenteella, jotka sitten toimivat erityyppisten solujen kasvualustoina. Verisuonirakenteen muodostaminen on välttämätöntä, jotta keinoiho saisi ravinteita ja voisi hoitaa aineenvaihduntansa normaalin ihon tapaan. Keinokudosten 3D-tulostushanke on alkanut vuonna 2011 ja lokakuussa 2015 sen on määrä päättyä. (Toimitus 2013)

Tutkimusta tehdään myös Tampereen yliopiston lääketieteellisen teknologian yksikössä, tutkijatohtori Jan Wolffin johdolla suu- ja leukakirurgiassa TAYS:ssa, jossa se on nykyään rutiinitoimintaa. (Vierula 2013)

Professori Lee **Crohn Glasgow'n yliopistosta** on ollut mukana 3D-tulostustutkimuksessa neljä vuotta, hän on tutkimuksissaan muokannut tuotteiden kemialla muuttaakseen solujen tarttuvuutta rakenteeseen (Banks et. al. 2013 s. 25). Hän käyttää tutkimuksissaan kemialla ja kantasoluja tuottaen ihmiselimiä, joita on tarkoitus käyttää lääke- ja hoitokokeiluihin mittaamaan muun muassa lääkkeiden vaikutusta tiettyihin potilaisiin ja vähentämään eläinkokeita. Crohn kuitenkin painottaa (Banks et. al. 2013 s. 25), että on vielä paljon tehtävää ennen kuin tämä prosessi on käyttökelpoinen ja yleinen.

Professori Harris Louthborough'n yliopistosta ja Euroopan komission ArtiVasc 3-D-projekti tutkivat kuinka käytännöllisen lisäävän valmistuksen sovellusta voisi viedä uudelle tasolle, yhdistämällä erilaisia 3D-tekniikoita (kuten suihkutusta ja multiphoton polymeeraatio) ja sähkökehruuta saman esineen tuottamiseen. Ei ole olemassa jotakin tiettyä yhtä prosessia, jolla pystyttäisiin ratkaisemaan kaikki ongelmat. Harris on luonut koulutettaville kirurgeille mallit monimutkaisista ja tärkeimmistä prosesseista sekä niiden esivalmistelusta yksilölliseen käyttöön. Harris'n mukaan (Banks et. al. 2013 s. 25) tekniikka on ajan kuluessa kehittynyt ja sitä on käytetty paljon kertakäyttöisten tuotteiden valmistuksessa. Kirurgiharjoittelijoita varten valmistetut keinotekoiset harjoittelumallit ovat suuri edistysaskel. Harris'n mukaan (Banks et. al. 2013 s. 25) vuonna 2012 on aloitettu kokeiluohjelma ruoansulatusalueen kirurgian koulutuksen suunnittelemiseksi ja hän uskoo, että 3D-tulostettu anatominen malli oikeanlaisella patologialla voi olla vastaus koulutuksen tarpeisiin.

### 4.3 TULEVAISUUS

Tutkimuspäällikkö Jukka Tuomi ennustaa, että parhaat innovaatiot saadaan, kun lääkärit oivaltavat 3D-tulostuksen mahdollisuudet ja suunnittelusta tulee lääkärivetoista. Vielä toistaiseksi uudet sovellukset syntyvät pääasiassa insinöörien aloitteesta ja käyttöönotto on aiheesta kiinnostuneiden lääkärien varassa. Tulevaisuuden näkymänä on myös biovalmistus, jossa tehdään 3D-tulostettuja tukirakenteita, joihin voidaan istuttaa esimer-

kiksi soluja ja lääkeaineita. Näiden tukirakenteiden on tarkoitus sulaa uuden kasvavan, potilaan oman, kudoksen tieltä. Tuomi arvioi myös, että 3D-tulostuksen yleistyminen on lääketieteessä jo ovella. 3D-tulostuksesta voisivat vastata sairaaloissa esimerkiksi radiologit. (Vierula 2013)

Mitraaliläpän mallinuksissa käyttäjien tulostimien rajoitusten vuoksi, käytetään mallien tekemiseen joustamattomia biopohjaisia muoveja. Tulevaisuudessa on ehkä mahdollista käyttää materiaaleja, jotka matkivat mitraaliläpän ja lehtisen tuntua sekä joustavuutta. Samoin teknologian parannuttua mitraaliläppärenkaat räätälöidään yksilöllisemmiksi kunkin potilaan tarpeisiin, tulostetaan nopeasti 3D-tekniikalla ja toipumisaika on nopea. Potilaskohtaiset mallit mitraaliläpästä voidaan tulostaa, testata hemodynaamisesti, ja ottaa käyttöön sekä valita tarkoituksenmukaisin kirurginen tekniikka. Mitraaliläpän rengas on mahdollista myös suunnitella käyttämällä tarkkaa tietoa hemodynami- sista testeistä, joissa hankitaan tietoa ainakin geometrisista vääristymistä ja mekaanisesta stressistä, kestävyuden parantamisesta ja mahdollisten komplikaatioiden vähenemisestä koskien potilasproteesin sopimattomuutta. Tutkijat ovat kehittäneet työkalun, joka on tarkka, virheetön ja tarjoaa useita mahdollisia etuja mitraaliläpän korjaukseen tulevaisuudessa. Kun 3D-tulostettu teknologia menee eteenpäin ja tulee helpommaksi käsit- tää, siitä tulee myös halvempaa. (Owais et al. 2014, s. 1395)

Monen urauurtavan käyttäjän mielestä 3D-tekniikassa käytettävän lisäävän valmistus- tavan käyttö on vuosikymmenen tai enemmän päässä tulevaisuudessa. Heillä on vahva usko, että joitakin innovaatioita voidaan kaupallistaa jo aiemminkin. Brittiläinen **United Kingdom's Technology Strategy Board (TSB)** sijoitti vuoden 2012 joulukuussa 7 miljoonaa puntaa kilpailukykyisen prosessin luomiseen ja käynnistämiseen. Prosessin tulisi käyttää 3D-tulostusta, ja tavoitteena oli saada suhteellisen pian markkinointikel- painen tuote. (Banks et. al. 2013 s. 25) Tällaisia tuotteita ovat esimerkiksi bioaktiivises- ta lasista ja metallista valmistettu, 3D-tulostuksella päällystetty lanneimplantti sekä mit- tojen mukaan tehdyt asentovirheoikaisuihin liittyvät tuotteet, esimerkiksi asiakaskohtai- set pohjalliset, joiden valmistusta tehostettaisiin niin, että tuote valmistuisi 24 tunnissa (Banks et. al. 2013 s. 26).

Crohn'n mukaan (Banks et. al. 2013 s. 26) tarvitaan visio tuotteesta, rahaa ja aikaa. Pi- tää myös erottaa kuviteltu todesta ja erotella kikkailevat ideat siitä, mihin 3D-tekniikkaa voidaan käyttää. On varmaa, että biolääketieteen alue tulee olemaan tuottoisimpia 3D- innovaatioalueita, mutta on myös tärkeätä ihmetellä mitä olemme jo saavuttaneet ilman, että odotamme pitkälle edistyneiden ideoiden tulevan yhdessä yössä. (Banks et. al. 2013 s. 26)

## 4.4 YHTEENVETO

Erilaisista artikkeleista on pääteltävissä, että tutkijoiden haaveena on toimivien elinten tulostus ihmiselle. Jotta elimistä saataisiin toimivia, niihin tarvitaan toimiva verisuonitus kuljettamaan ravinteita, happea ja aineenvaihdunnan tuotteita, näin ollen verisuonten kehittäminen toimiviksi on ensisijaisen tärkeä suunnittelun kohde. Aalto-yliopisto on mukana monitieteellisessä eurooppalaisessa hankkeessa, jossa kehitellään pikavalmistettavaa verisuonitettua keinohoitoa, jonka tarkoitus on korvata eläinkokeita ja edistää ihosiirteiden kehittelyä (Vierula 2013). Harris'n mukaan ei ole olemassa jotakin yhtä tiettyä prosessia, jolla pystyttäisiin ratkaisemaan kaikki ongelmat. Hän on luonut koulutettaville kirurgeille mallit monimutkaisista ja tärkeimmistä prosesseista, niiden esivalmistelusta yksilölliseen käyttöön. Tekniikka on ajan kuluessa myös kehittynyt (Banks et al. 2013 s. 25).

Tällä hetkellä erilaisten sovellusten materiaaleina ovat suu-, leuka- ja kallokirurgian alueella erityisesti titaani ja kobolttikromi, lisäksi koko ajan kehitetään myös sopivia muoveja (Vierula, 2013). Titaania käytetään myös kuulokojeisiin käytettävissä implanteissa, koska se sopii elimistön kanssa ja siitä on mahdollista tehdä monimutkaisia muotoja (Banks 2013, s. 23). Vuonna 2004, kun 3D-teknologia ei vielä ollut yhtä kehittynyttä, kuin nykyään, Mercelis'n työryhmä käytti työssään titaanin sijasta ruostumatonta terästä (Banks 2013, s. 23). Keinohion valmistuksessa käytetään polymeerejä, jotka kovettuvat valon vaikutuksesta, ne työstetään lämmön tai paineen avulla (termoplastit) ja hydrogeelejä, näistä aineista jokaisella on oma paikkansa prosessissa (Toimitus 2013). Mitraaliläpän valmistukseen käytetään joustamattomia biopohjaisia muoveja. Tulevaisuudessa on ehkä mahdollista käyttää materiaaleja, jotka matkivat mitraaliläpän ja lehtisen tuntua ja joustavuutta. (Owais et al. 2014, s. 1395) 3D-tekniikkaa käytetään myös esimerkiksi bioaktiivisesta lasista valmistetun lanneimplantin päällystykseen (Banks et al. 2013 s. 26).

Tulevaisuuden suunnitelmissa merkittävänä on biovalmistus, jossa 3D-tulostuksella tehdään tukirakenteita, joihin voidaan istuttaa esimerkiksi soluja ja lääkeaineita. Tavoitteena on, että keinotekoinen tukirakenne korvautuu vähitellen potilaan omilla kudoksilla. Menetelmä on vielä tutkimusasteella. Wolffin mukaan 3D-tekniikka on toistaiseksi vielä kallista ja muitakin esteitä on vielä ylitettävänä, mutta noin viidessä vuodessa tilanne tulee muuttumaan. Tarvitaan koulutusta ja monitieteellistä osaamista. Tällä hetkellä suunnittelu etenee insinöörien aloitteesta, mutta jos lääkärit saadaan suunnitteluun mukaan tai lääkärit koulutetaan myös teknisiin asioihin, voi tutkimus ja käyttöönotto edistyä huomattavasti. (Vierula 2013)

3D-tulostuksessa käytetään apuna erilaisia kuvantamismenetelmiä, että saadaan muodostettua kolmiulotteinen malli tulostusta varten. Sydänkirurgiassa käytetään apuna 2D-kuvausta, 3D-tietokonekuvausta (CT), magneettikuvausta (MRI), ultraäänikuvausta (echocardiografia) ja sydäimestä ruokatorven kautta tehtävää ultraäänitutkimusta (TEE). Kuvantamismenetelmiä voidaan käyttää apuna valmistettaessa kolmiulotteisia malleja, joita käytetään leikkauksen suunnitteluun ja päätöksentekoon. Sydänkirurgiassa 3D:n mahdollinen käyttökohte on mitraaliläppien korjausleikkaukset. 3D-tekniikkaa käytetään myös erilaisten implanttien valmistuksessa esimerkiksi kallon alueen kirurgiassa. Kuulokojeista saadaan myös valmistettua yksilöllisiä, jokaisen korvakäytävään sopivia laitteita. Implanttien teko on 3D-tulostuksen päätarkoitus lääketieteen alalla ja lisäksi työtä on alettu tehdä kudosteknologiassa ja parantaa prosesseja lääkkeiden kehittämissä. Teknologia on kuitenkin vielä kehittyvää ja on jo muuttanut klinikoiden lähestymistapaa muutamia monimutkaisiin hoitotoimiin. (Banks 2013, s. 23)

Tutkimusta tehdään monissa maissa sekä yliopistoissa että yrityksissä, esimerkiksi brittiläinen United Kingdom's Technology Strategy Board (TSB) sijoitti vuoden 2012 joulukuussa 7 miljoonaa puntaa kilpailukykyisen prosessin luomiseen ja käynnistämiseen. Belgialaiset yhtiöt LayerWise ja Materialise käyttävät 3D-tekniikkaa erilaisiin sovelluksiin esimerkiksi selkärangan ja kallon alueelle. Yksilölliset implantit ovat tärkeitä, koska jokainen potilas on kuitenkin omanlaisensa. 3D mahdollistaa paitsi yksilöllisen muodon, myös oikeanlaisen huokoisuuden luomisen. Euroopan komissiolla on yhteistyötä usean maan kanssa ArtiVarc 3D-hankkeen puitteissa, muun muassa Aalto-yliopiston ja Loughborough'n yliopiston kanssa.

Crohn'n mukaan (Banks et. al. 2013 s. 26) tarvitaan visio tuotteesta, rahaa ja aikaa. Pitää myös erottaa kuviteltu todesta ja erotella kikkailevat ideat siitä, mihin 3D-tekniikkaa voidaan käyttää. On varmaa, että biolääketieteen alue tulee olemaan tuottoisimpia 3D-innovaatioalueita, mutta on tärkeitä ihmetellä myös sitä, mitä olemme jo saavuttaneet. Pitkälle edistyneet ideat eivät synny yhdessä yössä. (Banks et. al. 2013 s. 26)



## 5 RUOAN 3D-TULOSTUS

Elintarviketehtaissa ruoan valmistusta on automatisoitu roboteilla, jolloin samanlaisia annoksia tulee paljon ja vähemmällä vaivalla. Robottipohjaiset teknologiat on suunniteltu korvaamaan työvoimavaltaisia toimintoja, automatisoimaan tai korvaamaan käsin ja ihmisvoimin tehtäviä toimenpiteitä taloudenpidossa, ruoan ateriapalvelun tarjoamisessa ja ruoanvalmistusteollisuudessa. (Jie et al. 2015, s. 1607) Roboteiksi lasketaan myös erilaiset kotitalouskoneet ja laitteet.

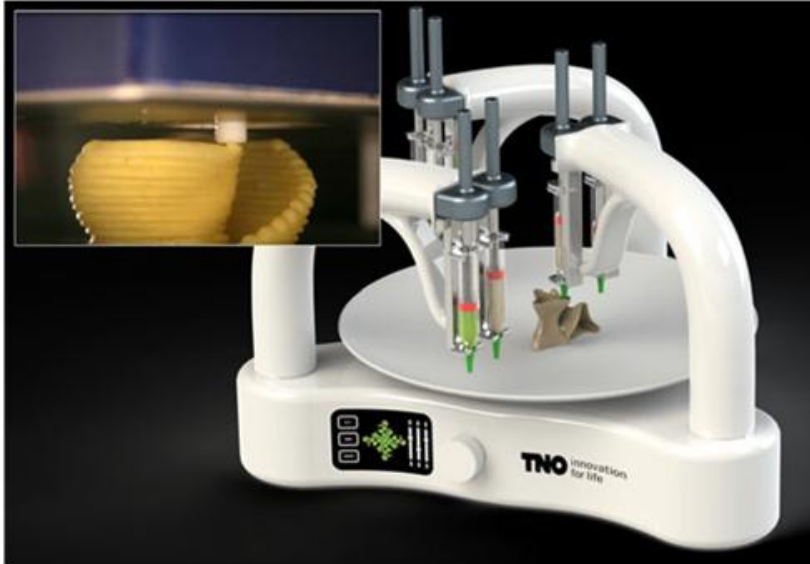
Seuraava askel automatisoinnissa on 2D-tulostimet, joita käytetään ruokien pinnan koristeluun tulostusperiaatteella sekä tekstin tai kuvien tulostamiseen syötävälle paperille. Koska ruoka on tulostusalueena hyvin vaativa, pidetään vain mustesuihkutulostusta tarkoitukseen sopivana menetelmänä. (Pallottino et al. 2016, ss. 726, 730) Tällainen tulostin voi kokonsa puolesta sopia leipomoon tai makeiskauppaan, joissa voidaan tulostaa myytävien tuotteiden pinnalle asiakkaan haluama kuvio tai teksti. (Pallottino et al. 2016, s. 727)

Toistaiseksi viimeinen automatisoinnin vaihe on ruoan 3D-tulostus. Sillä on mahdollisuus tehdä yksilöllisiä tuotteita, mutta tiedostojen tallennuksen vuoksi voi täysin samanlaisia tuotteita tehdä myös lukuisia. 3D-tulostuksella on mahdollisuus tehdä yksilöllisiä tietyt ravintoaineet sisältäviä annoksia, mikä on tärkeätä esimerkiksi vanhusten hoidossa, jossa jokaisella yksilöllä saattaa olla erilaiset ravitsemukselliset tarpeensa. Moni vanhus kärsii nielemisvaikeuksista, joihin 3D-tulostuksella voi löytyä ratkaisu. Tekniikkaa voisi hyödyntää myös avaruuslennoilla. Yhdysvaltain avaruushallinto **NASA** maksoi vuonna 2013 texasilaiselle **Systems and Materials Research Corporationille** 125 000 dollaria avaruuslennoilla käytettävän ruokatulostimen kehittämistä varten. (Lehtonen 2014)

Ruoan tulostus on digitaalinen ruoanvalmistusprosessi, jossa yhdistyy 3D-tulostus ja digitaalinen gastronomiatekniikka. Näin voidaan suunnitella ja valmistaa ruoka valiten yksilöllisesti väri, muoto, maku, tuntu ja jopa ravintoarvot. (Jie et al. 2015, s. 1607) 3D-tulostuksessa ruoka muodostuu ruoka-aineista kerroskerrokselta tulostaen, ruoka-aineista riippuen tarvitaan joskus myös jälkikäsitteily, kuten kypsytytys, koska tulostin ei kuumenna eikä kypsytä tuotetta. 3D-tulostettavan ruoan tulee olla riittävän jäykkää ja vahvaa, jotta se pystyy kannattamaan oman ja myöhempien kerrosten painon ilman

muodonmuutosta. Valmistetun ruoan laatu riippuu enemmän prosessista kuin ihmisen taidoista. (Jie et al. 2015, ss. 1609-1610)

Kuvassa 5.1 on mallikappale pastatulostimesta, jonka ovat suunnitelleet **Barilla Group** ja **TNO**, se on esitelty **EXPO2015** Milanossa Italiassa. Tulostimessa on kuusi tulostuspäätä. (Pallottino et al. 2016, s. 729)



*Kuva 5.1. Mallikappale kuusimäisestä pastatulostimesta ja lopputuotteesta (Pallottino et al. 2016, s. 729).*

Robottimaisessa ruoanvalmistuksessa ajatuksena on tehdä paljon keskenään samanlaisia ruokaeriä, kun taas ruoan 3D-tulostuksen ajatuksena on tehdä yksilöllisiä yksittäisiä annoksia.

## 5.1 TULOSTUSLAITTEET

Ruokatulostin koostuu periaatteessa  $x$ -,  $y$ - ja  $z$ -koordinaateista, valmistus/sintrausyksiköistä sekä käyttöliittymästä. Tietokoneohjatulla materiaalinsyötöllä tulostin pystyy kontrolloimaan ruoan valmistusta reaaliajassa. (Jie et al. 2015, s. 1607)

Helpottaakseen tulostuksen suunnittelua ja lyhentääkseen siihen kulutettavaa aikaa tutkijat ovat muokanneet avoimen lähdekoodin kaupallisia **tulostusalustoja** ruoan tulostamiseen sopiviksi. Yksi niistä on **Fab@Home** systeemi, joka ei ole erityisesti suunniteltu ruokasovelluksiin, mutta on yhteensopiva ruoka-aineiden kanssa. **MakerBot** on muokattu ruoan tulostukseen asettamalla tulostuspääksi **Frostruder MK2**. (Jie et al. 2015, s. 1607)

Lisäksi on myös tutkijoiden itse suunnittelempia alustoja, joiden rakentaminen perustuu erityisvaatimukseen tuottaa tutkijan räätälöimiä tuotteita. Tutkijat voivat valita joustavasti mekanismeja, materiaaliominaisuuksia ja tulostuspäitä ja saada näin paras mahdollinen valmistusprosessi. (Jie et al. 2015, s. 1607)

Käyttäjätasoisella käyttöliittymällä voidaan suunnitella kuluttajan vaatimusten ja tietotason mukaan. **3D Systems' ChefJet** -sarjan saa toimimaan **Digital Cookbook** -ohjelmiston avulla. Se on suunniteltu käyttäjille, jotka ovat yksineläjiä ja joilla on 3D mallinnusohjelma. Käyttöliittymää suunniteltaessa pitäisi ottaa huomioon käyttökohde ja -ympäristö. Toisin sanottuna tulostettaessa erilaisten muotojen, henkilökohtaisen ravitsemuksen kontrolloimista, sekä prototyyppien suunnittelua varten pitäisi olla erilaisia käyttöliittymiä. Itse suunniteltu alusta ja erilaiset käyttöliittymät on kehitetty koostuen 3D-mallin suunnittelusta, materiaalin valinnasta, reitin suunnittelusta, parametrien valinnasta ja mallikirjastosta. Tällaisen käyttöliittymän kanssa asiakkaat voivat suunnitella omat ruoka-annoksensa, saada suunnittelutiedostot verkon kautta tai jakaa suunnitelmansa verkossa muille ladattaviksi ja muokattaviksi. (Jie et al. 2015, s. 1608)

Tulostettavat **materiaalit** luokitellaan kolmeen eri ryhmään: luonnollisesti tulostettaviin materiaaleihin, ei tulostettaviin perinteisiin ruoka-aineisiin ja vaihtoehtoisiin valmistusaineisiin. (Jie et al. 2015 s. 1608; Pallottino et al. 2016, s. 731)

**Luonnolliset tulostettavat ruoka-aineet**, kuten hydrogeeli, kakun kuorutteet, juusto, hummus (kasvitahna) ja suklaa voidaan pursottaa tasaisesti ruiskusta. Näistä aineista mitään ei tarjota pääruokana. Lopullisiin tuotteisiin on tulostettu erilaisia makuja, ravintoarvoja ja tuntua. (Jie et al. 2015 s. 1608) Jotkut edellä mainituista ruoka-aineista ovat riittävän kiinteitä pitämään muotonsa kuorutuksen jälkeen, mutta esimerkiksi taikinat ja proteiinitahnat voivat vaatia jälkikypsennyksen, jonka vuoksi on vaikeata säilyttää niiden tulostettu muoto. (Jie et al. 2015 s. 1609; Pallottino et al. 2016, s. 731)

**Ei tulostettavia, perinteisiä ruoka-aineita** ovat riisi, liha, hedelmät ja kasvikset eli jokapäiväiset kulutustuotteet. Arviointikriteereinä olivat aineen juoksevuus eli viskositeetti, koostumus- ja kiinteysominaisuudet. Parhaiten tulostettava materiaali oli pasta-taikina. Pystyäkseen pursottamaan tai ruiskuttamaan näitä aineita niihin lisättiin ”hydrocollidia” (ksantaanikumia ja gelatiinia), jota käytetään monilla ruoanlaittoon liittyvillä alueilla. Tulostusprosessin jälkeen valtaosa perinteisistä syötävistä tarvitsee jälkikäsitteilynä kypsennyksen. (Jie et al. 2015, s. 1609; Pallottino et al. 2016, s. 731)

**Vaihtoehtoisia valmistusaineita** ovat levät, sienet, merilevä, lupiini ja hyönteiset, jotka ovat uusia proteiinin ja kuidun lähteitä. ”**Insects Au Gratin**” -projektissa hyönteisjauhetta sekoitettiin pursotettavaan kuorutteeseen ja pehmeään juustoon, joita käytettiin tulostusmateriaaleina muodostamaan ruoan rakenne ja tuomaan makua. Vaihtoehtoisin

aineisiin kuuluu myös maatalouden ja ruoanvalmistustuotannon ”jätteet”. Pallottino et al. mukaan vaihtoehtoisten valmistusaineiden tutkiminen auttaisi kehittämään tulostukseen terveellisenpää ruokaa, esimerkiksi vähemmän rasvaa sisältävää. (Jie et al. 2015, s. 1609; Pallottino et al. 2016, s. 731)

Saatavilla oleviin materiaaleihin perustuen, tulostusreseptit voidaan jakaa ainesosien tulostukseen ja perinteisten reseptien tulostukseen. Ainesosareseptien tulostuksessa käytetään vakio määriä aineita, jotta saadaan valvottua valmistettavan ruoan makua, tuntua, aromia ja ravinteita. Jie et al. mukaan Cohen et al. käytti pientä ruoka-aineryhmää tulostaessaan kiinteitä tai puolikiinteitä ruokia. Heidän tutkimuksessaan pystyttiin saamaan aikaan laaja valikoima rakenteita hienosäätämällä hydrocollidin pitoisuutta ja yhdistelmiä, makua voitiin säätää käyttämällä väkevöityjä makua antavia lisäaineita. Lisäksi van Bommel ja Spicer erottivat perus hiilihydraatit, proteiinit ja muut ravinteet levästä tai hyönteisistä ja sekoittivat ne yhteen vaihtelevilla mittasuhteilla tulostaen jotakin pihvin ja kanan kaltaista. Ainesosien ja perinteisten aineiden reseptien yhdistelmä antaa käyttäjälle mahdollisuuden yksilöidä muoto ja valmistusaineet sekä tukea ruoan suunniteltua työkulkua kokeilemalla useita ruoka-aineita. (Jie et al. 2015, s. 1609)

Tyypilliset ruoan koristeluun, kuten teksteihin ja kuviin käytettävät syötävät musteet koostuvat vedestä, etanolista, glykolista ja/tai glyserolista ja syötävistä väriaineista. Muutamat seokset säätävät myös makua. Tulostimien valmistajat tarjoavat sopivia syötäviä musteita koneisiinsa. Tulostus voidaan tehdä ennen tai jälkeen kypsennyksen, joten musteen laittaminen on mahdollista myös raaoille tuotteille. (Pallottino et al. 2016, ss. 727, 728, 729)

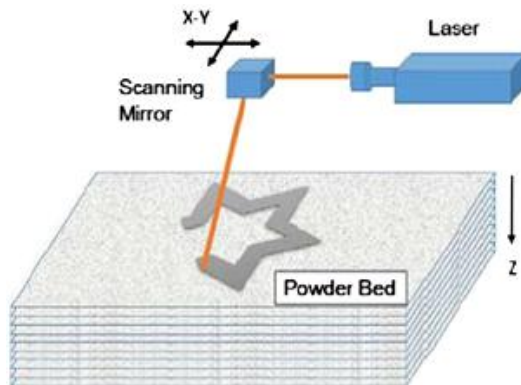
Insinööri **Anjan Contractorin** kehittämä tulostinprototyyppi käyttää raaka-aineita, joissa on jopa 30 vuotta säilyviä kuivaruokajauheita, joista saadaan vettä lisäämällä monipuolista ruokaa. Vuoden 2014 prototyyppi tosin tekee vain pizzaa. (Lehtonen 2014)

Tulostuksesta tehdään tutkimusta ja **University of Cornellin** tutkijat ovat esitelleet 3D ruokatulostimien uusien materiaalien sopivuutta leivontaan, paahtamiseen ja käristämiseen, tuotokset oli kypsennetty ja ne säilyttivät hyvin muotonsa, yksityiskohdat hävisivät hyvin vähän. Toinen ohjelma, joka toimii erityisessä ruokateollisuudelle suunnitellussa 3D-tulostimessa, on **Cornucopia**, josta on suunniteltu neljä prototyyppiä. (Pallottino et al. 2016, s. 729).

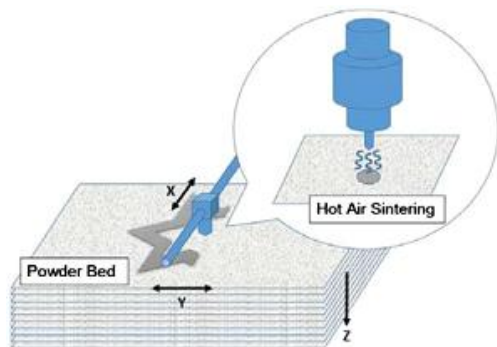
## 5.2 TULOSTUSTEKNOLOGIAT

Tulostuksessa käytetään samoja teknologioita, kuin muissakin sovelluksissa, kuten esimerkiksi **SLS** (Selective Laser Sinterin)- tai **Hot Air Sintering** -menetelmää. Molempia, sekä laseria (kuva 5.2.1) että kuumaa ilmaa (kuva 5.2.2) voidaan käyttää sintratessa

jauhehiukkaspartikkeleita yhteen kiinteän kerroksen muodostuksessa. (Jie et al. 2015, s. 1610)



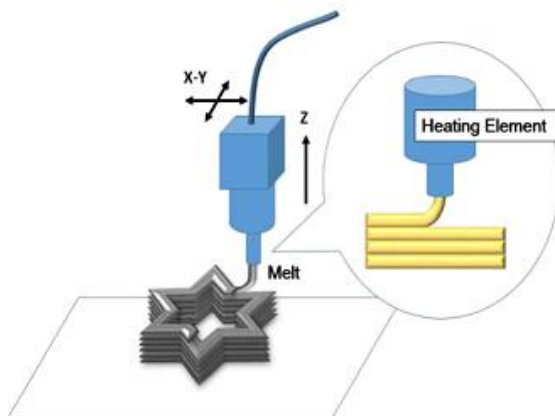
*Kuva 5.2.1. Selective Laser Sintering. (Jie et al. 2015, s. 1610)*



*Kuva 5.2.2. Selective hot air sintering. (Jie et al. 2015, s. 1610)*

**TNO's Food Jetting Printer** sovelsi laseria sintraamaan sokereita ja **NesQuik** jauhetta rakentaakseen kiinteän 3D -kappaleen. Sintrattu materiaali muotoutui tuoteosaksi, ja sintraantumaton jäi paikalleen tukemaan rakennetta. **The Candy Fab** sovelsi valikoivaa hidasliikkeistä kuuman ilmavirran höyryä sintraamaan ja sulattamaan sokeripedin kerroksen. Jauhepetiä lämmitettiin juuri materiaalin sulamispisteen alapuolelle minimoimaan lämpövääristymää ja helpottamaan kiinnittymistä edelliseen kerrokseen. Nämä sintrausprosessit antavat mahdollisuuden rakentaa monimutkainen ruokatuote lyhyessä ajassa ilman jälkikypsytystä, tosin nämä toimivat vain sokerin ja rasvapohjaisten materiaalien kanssa suhteellisen alhaisella sulamispisteellä ja valmistusprosessi, kuten kone-rakennekin, on monimutkainen ja monia vaihtoehtoja sisältävä. (Jie et al. 2015, s. 1610)

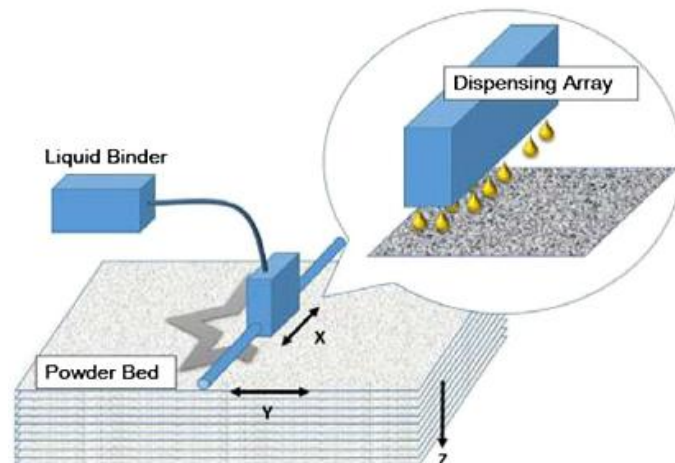
Tulostuksessa voidaan käyttää myös kuumailmapuristusmenetelmää - **fused deposition model eli FDM**, jossa sulatettu puolikiinteä polymeeri, tai tässä tapauksessa ruoka-aine, pursotetaan liikuteltavasta FDM-päästä, kovetetaan miltei välittömästi pursotuksen jälkeen ja yhdistetään aiempiin kerroksiin (kuva 5.2.3) (Jie et al. 2015, s. 1610).



**Kuva 5.2.3.** Kuumailmapuristus (Jie et al. 2015, s. 1610).

Kuumailmapuristusta on sovellettu suklaasta 3D-tulostettujen kuluttajatuotteiden valmistukseen. Jotkin luonnollisesti tulostettavat materiaalit, kuten juusto, kuorrute ja hummus voidaan pursottaa tasaisesti huoneen lämpöisinä. Materiaalin virtausnopeus voidaan sopeuttaa hallitsemalla solenoidiventtiilejä, tämä systeemi testattiin käyttämällä kermaista maapähkinävoita, hyytelöä ja Nutellaa. Tällä puristinmenetelmällä voidaan valmistaa monimutkaisia kuvioita käyttämällä yksinkertaisia materiaaleja, kuviot ovat helposti toistettavissa, mikä on käsin tehdessä vaikeata. (Jie et al. 2015, s. 1610)

Tulostuksen voi tehdä myös **sideainetta suihkuttamalla**, jolloin jokainen jauhekerros levitetään tasaisesti yli koko valmistusalustan ja nestemäinen sideaine suihkutetaan sitomaan kaksi peräkkäistä jauhekerrosta (kuva 5.2.4) (Jie et al. 2015, s. 1611).

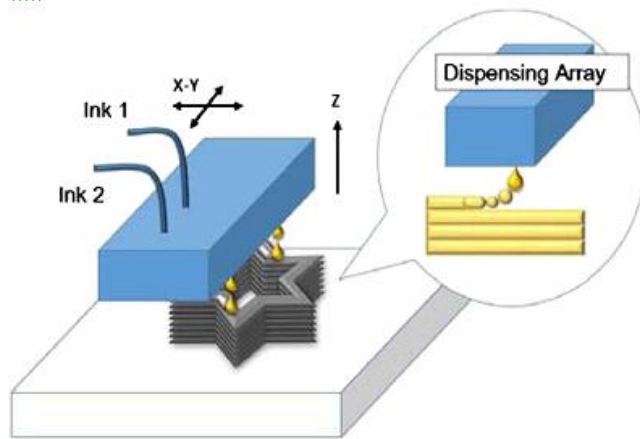


**Kuva 5.2.4.** Sidosaineen suihkuttaminen jauhepedille (Jie et al. 2015, s. 1611).

Sideaineen suihkutusta tarjoaa etuja, kuten nopean valmistumisen ja alhaiset materiaalikustannukset, pinta on tosin karkea ja konekustannukset korkeat. Vuonna 2013 **Sugar Lab** käytti sokeria ja erilaisia maustettuja sideaineita valmistessaan monimutkaisia veistoksellisia kakkuja erikoistilaisuuksiin, kuten häihin. Tämä valmistus omaksuttiin **3D Systems' Color Jet Printing** teknologiaan. Materiaali ja valmistusprosessi täyttivät

kaikki ruokaturvallisuuden vaatimukset, mutta vähän ravintoarvoja sisältävänä se ei houkutellut ja vaikutti suuresti tämän teknologian markkinointimahdollisuuksiin. (Jie et al. 2015, s. 1611)

Menetelmä, jossa ruoka **suihkutetaan** injektioruiskun tyylisestä **tulostuspäästä pisaravirtana**, sopii keksien, kakkujen tai leivonnaisten valmistukseen (kuva 5.2.5) (Jie et al. 2015, s. 1611).



*Kuva 5.2.5. Suihkutulostusta (Jie et al. 2015, s. 1611).*

**De Grood Innovation FoodJet Printer**issä käytetään paineilmatoimista kalvosuuttimen suihkua asettamaan pisarat pizzapohjan, keksien ja kuppikakkujen päälle, pisarat putoilevat painovoiman vuoksi ja muovaavat kaksi ja puoliulotteisen digitaalisen kuvan. (Jie et al. 2015, s. 1611)

Edellä olevista teknologioista neljää on kehitetty edelleen kaupallisiksi versioiksi, **kuumailmapuristus** suklaan tulostukseen (Choc Creator, <https://chocedge.com/>) **huoneenlämpöinen tulostus** pizzan tulostamiseen (Foodini, <http://www.naturalmachines.com/press-kit/>), **jauhepedin sidosaineen suihkut**us sokeirin tulostukseen (ChefJet, <http://the-sugar-lab.com/CherJet>) ja **mustesuihkutulostus** koristeille ja pinnoituksen täyttöön (FoodJet, <http://foodjet.nl>). Ruoan turvallisuus- huolet rajoittavat laserin, elektronisäteiden ja ei turvallisten ruoan lisäaineiden käyttöä ruoan tulostuksessa. (Jie et al. 2015, s. 1611)

Ruoan suunnittelussa ja valmistuksessa käytetään yleensä montaa ruoka-ainetta. Useimmat ruoan tulostusprojektit, kuten **ChocALM** ja **Insests Au Gratin** on suunniteltu käyttämään yhtä tulostuspäätä usean eri materiaalin pursotukseen. (Jie et al. 2015, s. 1611)

### 5.3 TUOTANNOSSA OLEVIA LAITTEITA

Yritys nimeltä **Choc Edge** tuottaa ja markkinoi laitetta, **Choc Creator**, jota he nimittävät ”maailman ensimmäiseksi kaupalliseksi 3D suklaatulostimeksi”. Se levittää sulatettua suklaata mihin tahansa piirrokseen tai muotoon. Japanissa asiakkaat voivat tilata ystävänpäiväksi suklaan, jossa on heidän kasvoistaan 3D-skannattu kuva (Pallottino et al. 2016, s. 731; Jie et al. 2015, s. 1607)

**Hod Lipson** ja **Evan Malone Cornell University Creative Machines Lab**’stä aloittivat Fab@Home projektin vuonna 2006 aikomuksenaan kehittää avoimen lähdekoodin massatuotantolaite, jota pystyy käyttämään myös kotona. (Pallottino et al. 2016, s. 731)

**Marko Manriquez** kehitti opinnäytetyönään, **New York University**ssä, **Burritobot 3D-tulostimen**, joka tulostaa burritot käyttäjän maun mukaan, liukuvien asteikkojen avulla voidaan saada tarkat määrät jokaista valmistusainetta. (Pallottino et al. 2016, s. 731; Jie et al. 2015, s. 1607) Tämän arvellaan tulevan tavaksi pikaruokaloille ja säästävän niiden henkilöstökuluja, parantavan palvelua ja vähentävän asiakkaiden odotusaikaa. (Jie et al. 2015, s. 1607)

Barcelonalaisen **Natural Machines** -yhtiön kehittämä 3D-tulostin, **Foodini**, on mikroaaltouunin kokoinen musta laatikko. Laitteessa on kolme suutinta, yksi taikinaa, toinen tomaattisosetta ja kolmas juustotahnaa varten. Laite pystyy valmistamaan pizzan ja sitä pystyy käyttämään kotona. (Lehtonen 2014)

Bremeniläinen **Biozoon**-yhtiö on kehittänyt pehmuoan, ”smoothfoodin”, joka valmistetaan soseutetuista raaka-aineista ja sidotaan yhteen neutraalilla kiinnitysaineella. Ruoka on helppo niellä ja se voidaan tehdä normaalinnäköiseksi ruoka-annokseksi. Pehmuokaa syödään jo yli tuhannessa hoitolaitoksessa Saksassa. EU on myöntänyt 3D-tulostetun pehmuoan kehittämiseen neljä miljoonaa euroa. Vuonna 2014 pehmuokana oli tarjolla kukkakaalia, herneitä, kanaa, porsasta, perunaa ja pastaa.(Lehtonen 2014)



## 5.4 YHTEENVETO

Pallottino et al. (2016, s. 729) mukaan kolmiulotteinen tulostusteknologia voi mullistaa ja muovata maailmaa uudelleen. 3D-tulostusteknologian tarjoamat uudet mahdollisuudet voivat huomattavasti muuttaa ja parantaa maailmanlaajuisesti tapaa, jolla valmistetaan tuotteita ja tuotetaan ruokaa.

Ruoan 3D-tulostusta voi hyödyntää esimerkiksi vanhainkodeissa ja avaruuslennoilla, sekä kaikkialla, missä on jokin erityistarve ja/tai jota on muuten hankalaa tai mahdotonta toteuttaa.

Laitteet ja menetelmät ovat pitkälti samoja kuin muitakin tuotteita tehdessä. Tarvittavat materiaalit ja tulostusalustat asettavat isoimman haasteen, mutta esimerkiksi hummuksen ja hyönteisten käyttö voisi osaltaan ratkaista ruokaongelmaa.

## 6 LOPPUPÄÄTELMÄT

Koska 3D tulostuksen käyttö vaatetuksessa on melko vähäistä, on työhön otettu mukaan myös kaksi muuta aluetta. Ajatuksena oli, että mukaan otetuista ainakin yhdessä 3D-tulostus olisi käytössä. Valmistusaineet eri osa-alueiden välillä poikkeavat toisistaan erityisesti ruoan osalta, ja toisaalta ruoan ja lääketieteen tulostuksissa käytetään samoja tai samantyyllisiä materiaaleja kuin perinteisemmin valmistettaessa.

Lähtökohtaisesti näiden osa-alueiden lopputulosten vaatimukset ovat melko erilaiset. Lääketiede on näistä pisimmällä 3D-tulostuksen hyödyntämisessä. Siinä käyttö on myös monipuolista, onhan mukana niinkin erilaisia alueita kuin työvälineet ja implantit. Lääketieteen alueella on kehitetty myös hyvin hienojakoisia rakenteita, joita tarvitaan esimerkiksi keinoihon valmistuksessa ja verisuonituksessa. On siis kehitetty taito tehdä hienorakenteita. Kannattaisi tutkia soveltuuko hienorakenteiden tekotekniikka esimerkiksi vaatetuksen lankamaisen rakenteen muodostamiseen tai ruoantuotantoon hiomaan ruokien ulkonäköä ja suutuntumaa.

Ruoanvalmistuksessa tulostuslaitteita on jo koekäytössä vanhainkodeissa, joissa monilla asukkailla on ongelmia kiinteän ruoan pureskelussa ja nielemisessä. Ulkonäöllä on vanhusten ruokahaluun suuri vaikutus, minkä vuoksi tarkoituksena on tulostaa normaalin näköistä ruokaa, joka sulaa suussa ja on näin helppo niellä. Ruokaa tulostetaan monilla eri menetelmillä riippuen tulostusmateriaalista ja halutusta lopputuloksesta. Ruoan tulostuksessa muodon pysyvyys on tärkeää ja siitä voisi saada ideoita myös vaateen valmistukseen, kun pyritään saamaan aikaan kangasmaista rakennetta. Samoin monella tulostuspäällä valmistaminen voisi olla tutkimisen arvoista niin vaatetuksessa kuin lääketieteessäkin monipuolisempien lopputulosten aikaansaamiseksi.

Lääketieteeseen ja ruoanvalmistukseen verrattuna vaatetuksen tulostus on vielä hyvin alkeellista. Vaatetuksessa tavoitteena on saada mahdollisimman tekstiilimäinen lopputulos, jota voi verrata kankaasta tai neuloksesta valmistettuun vaatteeseen. 3D-tulostettu vaate sopii mallivaatteeksi vasta, kun se laskeutuu ja liikkuu kuten kangas. Mallivaatteen itsessään ei tarvitse välttämättä olla pestävä, mutta kylläkin puettava, jotta henkilö voi esitellä sitä yllään. Vaatetuksessa on lisäksi haasteena valmistusaineiden erilaisuus, kun verrataan perinteistä kangasta ja 3D-tulostusta. Kankaan ja neuloksen valmistuksessa käytetään paljon luonnonkuituja, tosin myös muunto- ja tekokuituja ja useampaa kuitua yhdessä. Tulostuksessa käytetään taas pääasiassa muovipohjaisia tekokuituja ja jon-

kun verran puukuitua. Oikea lanka on kuitenkin rakenteeltaan hyvin erilainen kuin tuloste.

Tulostusmateriaalien ja mahdollisesti myös erilaisten muista alueista poikkeavien tulostimien kehittäminen etenkin vaatetuksen alueelle tarvitsisi lisää tutkimusta. Tulostusmateriaalien kehittämisessä voisi tutkia lääketieteen hienorakennetekniikkaa, saisiko sillä lankamaisemman tuloksen ja olisiko se käytön tai mallivaatteiden osalta edes pukemisen kestävä. Tutkimista tarvittaisiin myös siinä, miten vaatteiden kappaleet saisi tulostettua aivan kuin kankaasta leikattuina, jotta ne voisi vain ommella yhteen samaan tapaan kuin oikean vaatteiden, vai tulostaako vaate kokonaisuudessaan lopullisessa muodossa ilman kokoamisvaihetta. Suunnittelija Joshua Harrisin mukaan tekniikka vanhan vaatteiden syöttämiseen tulostuslaitteeseen ja uuden saaminen seuraavana aamuna olisi jo olemassa, mutta jos on, niin se on ilmeisesti vielä patentin tai vastaavan suojaama salaisuus, koska en löytänyt asiasta tarkempaa tietoa.

Ruoan tulostuksen osalta tutkitaan tulostuksen mahdollisuuksia avaruusmatkailussa. Tutkimuksessa etsitään keinoa muun muassa siihen, miten saada ruoka-aineet säilymään hyvin kauan käyttökelpoisina. Nyt on käytössä hyvin erikoistuneita tulostimia, esimerkiksi suklaan tai pizzan tulostamiseen, vähän niin kuin kahvin- tai vedenkeitin. Tosin on myös pehmoreuoan tulostin ”smoothfoodin”, jolla pystytään tulostamaan useampaa ruokaa. Joidenkin haaveena on saada ratkaisu myös maailman ruokatuotannon riittävyteen ja ainakin länsimaisittain uusien ruoka-aineiden, kuten hyönteisten ja levien käyttöön. Tutkimusaiheena voisi olla monipuolisempien ruokien ja erilaisten ruoka-aineiden valmistaminen samalla tulostimella sekä miten saada laitteesta sellainen, että sitä voisi kuljettaa helposti paikasta toiseen ja sen täytyisi lisäksi toimia myös paikoissa, jossa ei ole saatavana sähköä.

Lääketieteessä tavoitellaan enemmän poikkitieteellistä tutkimusta, siitä voisi olla hyötyä myös näillä muilla alueilla. Lähdemateriaalista ei käynyt ilmi, kuinka joustavia rakenteita 3D-tulostuksella saadaan aikaan, kaikki tarvittavat implantit eivät ole jäykkiä tai kovia, vaan tarvitaan myös joustavia rakenteita kuten silmiä tai verisuonia. Rakenteiden ja materiaalien kehittäminen sekä lääkeaineiden ja solujen kasvuun tarvittavien ravinteiden yhdistäminen implanteihin voisi olla tarpeellista, samoin erilaisten työmenetelmien kehittäminen ja yleensäkin idean vieminen lääkäripiireihin ja yhteistyö muiden alojen kanssa.

Kaikille työn osa-alueille tarvittaisiin helposti käytettäviä ja nopeita laitteita, jotta niiden käytöstä tulisi rutiinia ja tulosteiden hinta voisi sitä kautta laskea. Helposti käytettäviä ja riittävän yksinkertaisia laitteita tarvittaisiin etenkin ruoan ja vaatteiden tulostukseen, niin että kuka tahansa pystyisi niitä kodissaan käyttämään. Ehkä ajatus siitä, mitä materiaalia ja millainen vaatteiden tulostus olisi, pitäisi muuttua. Jos ja kun joskus saadaan kehi-

tettyä 3D-tulostin, jolla voidaan valmistaa toimivia mallivaatteita, voisi se olla monelle vaatetusalan yritykselle hankkimisen arvoinen laite. Valmistajan esittelijän voisi olla helpompi kuljettaa mukanaan vähemmän tilaa vievä 3D-tulostin ja kannettava tietokone esitellessään vaatteita mahdollisille ostajille, kuin isoa määrää kankaisia mallivaatteita. Tietokoneen avulla voisi tehdä heti myös asiakkaan toivomat mahdolliset muutokset ja tulostaa saman tien mallivaate. Tai sitten vaatetusalan keskushankkijat tai muuten suuret hankkijat ostaisivat itselleen oman koneen, jolla valmistajan edustaja voisi tarvittaessa tulostaa mallivaatteita.

Lääketieteen puolella esimerkiksi hammasproteesin tai yksittäisten hampaiden tulostus juuri asiakkaan suuhun sopivaksi voisi olla hyödyksi. Jos tulostuksesta tehtäisiin enemmän rutiini kuin poikkeus ja tulostimia olisi enemmän esimerkiksi hammaslääkäriasiemilla, voisivat 3D-tulostuksella tehtävät hampaat olla halvempia ja paremmin kaikkien potilaiden saatavilla.

Jo nyt esimerkiksi Saksassa on monissa hoitolaitoksissa ruokatulostimia, mutta kiinteän ruoan syömisongelmia on myös monilla kotonaan asuvilla, esimerkiksi monilla syöpäpotilailla. He voisivat hyötyä suussa sulavasta ruoasta, jota on helppo niellä ja ulkonäkö muistuttaisi ”oikeata” ruokaa. Tarve saattaa olla ohimenevä, kun hoidot ovat ohi ja tavallinen ruoka alkaa uudelleen maistua. Tähän voisi olla apuna vuokrattavat tulostimet, joita voisi saada kuntien, terveyskeskusten tai sairaaloiden välinevuokrauksesta. Ruokakasetteja voisi myös saada samasta paikasta, ettei sairaana tarvitsisi etsiä raaka-aineita muualta.

Tällä hetkellä 3D-tulostimiin ei mahdu suuria yhtenäisiä kappaleita, vaan esimerkiksi vaate täytyy valmistaa lukuisista pienistä paloista, jotka sitten liitetään usein käsin yhteen, se vie aikaa eikä ole mielekästä silloin, kun mallivaate tarvittaisiin pian. On olemassa myös 4D-tekniikka, jossa vaate tai tuote valmistetaan 3D-tulosteena, mutta tulostuksen jälkeen oiotaan lopulliseen muotoonsa. Sillä voisi saada melko lyhyessä ajassa ilman ompelua tai muuta käsin työskentelyä vaateen valmistettua. Tulostuslaitteita täytyisi kehittää niin, että ne pystyisivät tulostamaan myös luonnonkuituja ja toisaalta saada luonnonkuidut sellaiseen muotoon, että niiden tulostus onnistuisi.

Vaatteita tulostetaan toistaiseksi vain muutamalla menetelmällä SLA, FDM ja SLS, herää kysymys, onko muita tekniikoita kokeiltu ja jos on, miksi ne eivät ole toimineet, olisiko tekniikassa jotakin parannettavaa? Entä minkä verran vaikuttavat Francis Bitontin mainitsemat patenttien suojaamat tekniikat ja immateriaalioikeudet, onko niissä jotakin ratkaisua tilanteeseen? Onko Joshua Harrisin mainitsema tekniikka myös näitä patenttien ja immateriaalioikeuksien suojaamia menetelmiä?

Tällä hetkellä vaateen suunnittelu aloitetaan paljon ennen kuin se lopullisesti valmistuu, on erilaisia messuja, joilla esitellään tulevia trendejä ja kuulostellaan mahdollisten asiakkaiden ja valmistajien mielipiteitä. Tehdään suuri määrä erilaisia mallikappaleita, joista osaa on muokattu mahdollisen asiakkaan toiveiden mukaan ja niin edelleen, kunnes on saatu aikaan asiakkaan toivoma malli ja päästään varsinaiseen valmistukseen. Vaateen suunnittelu ja valmistus menee pitkälti saman kaavan mukaan, se on hyväksi koettu ja ”turvallinen” tapa toimia. Jotta menetelmiä voitaisiin muuttaa, tarvittaisiin asennemuutosta jokaiseen toimintaportaaseen. Asioita voisi esittää enemmän virtuaalisesti, tietotekniikan kehittyessä myös esitystavat ovat kehittyneet. Ostaja voisi tehdä muutosehdotuksensa virtuaalisen esityksen perusteella ja mallivaate valmistaa vasta muutostöiden jälkeen.

Pieniä kotikäyttöön sopivia yksinkertaisia tulostimia saa jo melko halvalla, mutta vähänkin tasokkaammat ja vaativampiin suorituksiin käyvät laitteet ovat vielä melko kalliita. Laitteita varmaankin kehitellään jatkuvasti, aivan kuten tietokoneet olivat aluksi suuria ja pystyivät vain melko pieneen määrään työtä ja olivat samalla kalliita. Nyt tietokoneet ovat pienentyneet, tieto- ja käsittelykapasiteetti on kasvanut huimasti ja koneet ovat halventuneet. Todennäköisesti näin käy ajan ja kehityksen myötä myös tulostimille.

## LÄHTEET

Alavalkama, Satu. (21.9.2013). Pian vaate on toinen ihosi. Taloussanommat.

<http://www.taloussanommat.fi/ihmiset/2013/09/21/pian-vaate-on-toinen-ihosi/201313055/137>

Alec. (12.9.2014) 3D printed textiles hit the runway at New York Fashion Week. 3D printer and 3D printing news. <http://www.3ders.org/articles/20140912-3d-printed-textiles-hit-the-runway-at-new-york-fashion-week.html>

Alec.( 27.10.2014) German scientists turn to 3D printing technology to create artificial textiles. 3D printer and 3D printing news. <http://www.3ders.org/articles/20141027-german-scientists-turn-to-3d-printing-technology-to-create-artificial-textiles.html>

Alec.( 9.11.2014) English researchers use 3D printing to produce flexible and fine textile-like structures. 3D printer and 3D printing news.

<http://www.3ders.org/articles/20141109-english-researchers-use-3d-printing-to-produce-flexible-and-fine-textile-like-structures.html>

Banks, Jim. (2013) Adding Value in Additive Manufacturing - Researchers in the United Kingdom and Europe Look to 3-D Printing for Customization. IEEE Pulse, Volume:4 (6), pp 22 -26.

<http://ieeexplore.ieee.org.libproxy.tut.fi/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6656987>

Berman, Barry. (March-April 2012). 3-D printing: The new industrial revolution. Business Horizons. Volume 55. Issue 2. pp 155-162

Blomberg, Marjo. Digitaalinen tuoteprosessi, Virtuaalinen tuotesuunnittelu- ja hallinta. Tekstiili- ja vaateteollisuus ry.

<https://sites.google.com/a/digitaalinentuoteprosessi.fi/digitaalinentuoteprosessi/yritysprojektit/tekstiili--ja-vaateteollisuus-ry>

Campbell-Dollaghan, Kelsey. Iris van Herpen's 3-D-Printed, Laser-Sintered Couture. Fastcodesign.(25.1.2013). <http://www.fastcodesign.com/1671688/iris-van-herpens-3-d-printed-laser-sintered-couture#12>

Chalcraft, Emilie.( 22.1.2013) Voltage by Iris van Herpen with Neri Oxman and Julia Koerner. Dezeen Magazine. <http://www.dezeen.com/2013/01/22/voltage-3d-printed-clothes-by-iris-van-herpen-with-neri-oxman-and-julia-koerne/>

Etherington, Rose. (11.8.2010) Crystallization by Iris van Herpen, Daniel Widrig and .MGX by Materialise. Dezee Magazine.

<http://www.dezeen.com/2010/08/11/crystallization-by-iris-van-herpen-daniel-wright-and-mgx-by-materialise/>

Etherington, Rose. (7.6.2011) N12 3D-printed bikini by Continuum Fashion and Shapeways. Dezeen magazine. <http://www.dezeen.com/2011/06/07/n12-3d-printed-bikini-by-continuum-fashion-and-shapeways/>

Grunewald, Scott J. (10.9.2014) Katya Leonovich Dubut's 3D Printed Clothing Line at New York Fashion Week. 3D Printing Industry.

<http://3dprintingindustry.com/news/katya-leonovich-debuts-3d-printed-clothing-line-new-york-fashion-week-32739/>

Howart, Dan. (10.3.2014) Francis Bitonti and New Skins Workshop students 3D-print flexible dress on a MakerBot. Dezee Magazine.

<http://www.dezeen.com/2014/03/10/francis-bitonti-and-new-skins-workshop-students-3d-print-flexible-dress-on-a-makerbot/>

Howart, Dan. (24.9.2013) Verlan Dress by Francis Bitonti and New Skins Workshop students. Dezee Magazine. <http://www.dezeen.com/2013/09/24/verlan-3d-printed-dress-by-francis-bitonti/>

Howarth, Dan. (1.10.2014) Iris van Herpen uses 3D printing and magnets to form Spring Summer 2015 fashion collection. Dezeen Magazine.

<http://www.dezeen.com/2014/10/01/iris-van-herpen-magnetic-motion-spring-summer-2015-fashion-collection-3d-printing-magnets/>

Howarth, Dan. (25.6.2015) 3D printing has stagnated, says pioneering designer Francis Bitonti. Dezeen magazine. <http://www.dezeen.com/2015/06/25/3d-printing-industry-stagnant-francis-bitonti-interview-intellectual-property-makerbot/>

Howarth, Dan. (7.3.2013) 3D-printed dress for Dita Von Teese by Michael Schmidt and Francis Bitonti. Dezee Magazine. <http://www.dezeen.com/2013/03/07/3d-printed-dress-dita-von-teese-michael-schmidt-francis-bitonti/>

Howarth, Dan.(5.6.2013) 3D printing will infiltrate fashion through streetwear, not haute couture. Dezee magazine. <http://www.dezeen.com/2013/06/05/3d-printing-fashion-print-shift/>

Koslow, Tyler. (16.2.2016) Nano Enhanced 3D Printing Struts the Runway at NYFW! 3D Printing Industry. <http://3dprintingindustry.com/2016/02/16/nano-enhanced-3d-printing-struts-the-runway-at-nyfw/>

Koslow, Tyler. (18.2.2016) 3D Printing Continues to Awe at NYFW eith Ohne Titel Collection. 3D Printing Industry. <http://3dprintingindustry.com/2016/02/18/3d-printing-continues-to-awe-at-nyfw-with-ohne-titels-collection/>

Koslow, Tyler. (17.2.2016) Alexis Walsh's 3D Printed Fashion Hits the Catwalk at NYFW 2016. 3D Printing Industry. <http://3dprintingindustry.com/2016/02/17/66801/>

Koslow, Tyler. (15.9.2015) Chromat's 3D Printed Fashion at NYFW Comes Alive with Sensory Tech from Intel. 3D Printing Industry. <http://3dprintingindustry.com/2015/09/15/chromats-3d-printed-fashion-at-nyfw-comes-alive-with-sensory-tech-from-intel/>.

Lehtonen, Juha Matias. (28.8.2014). 3D-tulostin tekee pizza ja pehmoreuokaa. Helsingin Sanomat. <http://www.hs.fi/ruoka/art-2000002756704.html>

Liu, Xing, Zhou, Xiaojiang. (2010) The impact on industrial design by the development of three-dimensional printing technology from a technical perspective. Hangzhou Dianzi University, China. IEEE, pp. 782- 784

Making clothes at home with your 3D clothing printer. Bring clothing production into the home. 3D printer and 3D printing news. 15.3.2013.

<http://www.3ders.org/articles/20130315-making-clothes-at-home-with-your-3d-clothing-printer.html>

Malin, Minna, Seppälä, Jukka. (25.04.2013) Keinotekoisia verisuonia ja kudoksia 3D-tulostimen avulla. Aalto-yliopisto.

[http://www.aalto.fi/fi/current/current\\_archive/news/2013-04-25/](http://www.aalto.fi/fi/current/current_archive/news/2013-04-25/)

Melnikova, R, Ehrmann, A, Finsterbusch, K.(2014) 3D printing of textile-based structures by Fused Deposition Modelling (FDM) with different polymer materials. IOP Conferens Series: Materials Science and Engineering. Volume 62.

<http://iopscience.iop.org/libproxy.tut.fi/article/10.1088/1757-899X/62/1/012018/pdf>

Miettinen, Juha-Matti. (2011) Pikamallitekniikkaan soveltuvan stl-tiedoston luominen. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Opin- näytetyö. ss.46.

[http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/37907/Miettinen\\_Juha-Matti.pdf](http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/37907/Miettinen_Juha-Matti.pdf)



Morby, Alice.( 10.3.2016) Iris van Herpen creates “bubble-like exoskeleton” dresses for Autumn Winter 2016 collection. Dezeen Magazine.

<http://www.dezeen.com/2016/03/10/lucid-iris-van-herpen-autumn-winter-2016-collection-fashion-paris/>

Mustonen, Milka, Huhma, Aino, Mattila, Heikki. (2012) Uusi projekti: Virta. Tekstiili-lehti. 3-4. s.36.

Mustonen, Milka, Huhma, Aino. (2013) Virtuaalisten työkalujen käyttö suomalaisissa yrityksissä. Tekstiililehti 3. s. 12.

Mustonen, Milka, Mattila, Heikki. (2012) Virtuaalisuus muuttaa muotialaa – virtuaalisuuden tarkastelu kestävän kehityksen näkökulmasta. Tekstiililehti 5. ss. 12-13.

Owais, Khurram, Pal, Anam, Matyal, Robina, Montealegre-Gallegos, Mario, Khabbaz, Kamal R., Maslow, Andrew, Panzica, Peter, Mahmood, Feroze. (October 2014). Three-Dimensional Printing of the Mitral Annulus Using Echocardiographic Data: Science Fiction or in the Operating Room Next Door?. Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia. Vol. 28 (5). pp. 1393-1396.

<http://www.sciencedirect.com.libproxy.tut.fi/science/article/pii/S1053077014001219#>

Pallister, James. (14.2.2014). Advances in design software mean “materials are becoming media”. Dezee Magazine. <http://www.dezeen.com/2014/02/14/moviefrancis-bitontidita-von-teese-3d-printed-dress/>

Pallottino, F., Hakola, L., Costa, C., Antonucci, F., Figorilli, S., Seisto, A., Menesatti, P. (16.2.2016) Printing on Food or Food Printing: a Review. Food Bioprocess Technol. ss.725 – 733.

Paukku, Timo. (20.6.2015). Ruotsissa kehitetty sellua, josta voi tulostaa vaatteita: ”Aivan uusi mahdollisuus metsäteollisuudelle. Helsingin Sanomat/tiede.

<http://www.hs.fi/tiede/a1434764465469>

Rietveld, Fira. (2013) 3D Printing: The face of future fashion? Ted Amsterdam. <http://tedx.amsterdam/2013/07/3d-printing-the-face-of-future-fashion/>

Sun, Jie, Zhou, Weibiao, Huang, Dejian, Fun, Jerry Y. H., Hong, Geok Soon.(2015) An Overview of 3D Printing Technologies for Food Fabrication. Food Bioprocess Technol. ss. 1605 – 1615. <http://link.springer.com.libproxy.tut.fi/article/10.1007/s11947-015-1528-6/fulltext.html>

Swack, Michael. (16.2.2016) New York Fashion Week: New Movementi in 3D Printed Fashion By Threesfour, Travis Fitch and Stratasys. Stratasys.

<http://blog.stratasys.com/2016/02/16/3d-printed-dresses-new-york-fashion-week/>

Technical Crafting. Manchester School of Art/Staff/Mark Beecroft.

<http://www.art.mmu.ac.uk/profile/mbeecroft/projectdetails/708>

Toimitus. (2.5.2013). Verisuonia 3D-tulostimella. Tiedetuubi.

<http://www.tiedetuubi.fi/jutut/verisuonia-3d-tulostimella>

Tuomi, Jukka. (18.2.2013). 3D-tulostuksen sovellukset kannattaa ottaa vakavasti. Talouselämä.

[http://www.talouselama.fi/Tebatti/tebatoijat/jukka\\_tuomi/3dtulostuksen+sovellukset+kanntaa+ottaa+vakavasti/a2169929](http://www.talouselama.fi/Tebatti/tebatoijat/jukka_tuomi/3dtulostuksen+sovellukset+kanntaa+ottaa+vakavasti/a2169929)

Warmann, Catherine. (4.3.2011) Escapism by Daniel Widrig, Iris van Herpen and .MGX by Materialise. Dezeen Magazine.

<http://www.dezeen.com/2011/03/04/escapism-by-daniel-widrig-iris-van-herpen-and-mgx-by-materialise/>

Vierula, Hertta. (14.6.2013). 3D-tulostus tulossa lääkärin käyttöön. Lääkärilehti.

[http://www.laakarilehti.fi/uutinen.html?type=1/news\\_id=13595/3D-tulostus+tulossa+l%E4%E4k%E4rin+k%E4ytt%F6%F6n](http://www.laakarilehti.fi/uutinen.html?type=1/news_id=13595/3D-tulostus+tulossa+l%E4%E4k%E4rin+k%E4ytt%F6%F6n)