

Sarri Lindh

**3D-TULOSTUKSEN  
MAHDOLLISUUDET  
TEATTERIPUVUSTUKSESSA  
3D-tulostus kankaalle**

Opinnäytetyö  
Muoti ja puvustus

2019

Tekijä	Tutkinto	Aika
Sarri Lindh	Muotoilija (AMK)	Tammikuu 2019
<b>Opinnäytetyön nimi</b>		61 sivua
3D-tulostuksen mahdollisuudet teatteripuvustuksessa 3D-tulostus kankaalle		24 liitesivua
<b>Toimeksiantaja</b>		
Kouvolan teatteri		
<b>Ohjaaja</b>		
Seija Kiuru-Lavaste		
<b>Tiivistelmä</b>		
<p>Työssä tutkitaan 3D-tulosteiden yhdistämistä kankaaseen ja pohditaan, miten 3D-tulostusta voisi hyödyntää teatteripuvustuksessa. Työn tutkimuskysymys on, kuinka valmistaa teatteripuvun osia kangasta ja 3D-tulostusta yhdistäen. Alakysymys on, millaisia ominaisuuksia näillä 3D-tulostusta ja kangasta yhdistävillä puvunosilla on.</p>		
<p>Työn painotus on produktiivinen. Työssä käytettyjä tutkimusmenetelmiä ovat tekemisperusteinen tutkimus, kokeellinen tutkimus, havainnointi. Analysointimenetelminä käytän laadullisen tutkimuksen menetelmiä deskriptiota ja Grounded Theory -menetelmää.</p>		
<p>Tutkimuksessa valmistetaan koetulostuksia PLA-muovista ja NinjaFlexista sekä tutkitaan niiden ominaisuuksia. Työssä käytetyt 3D-ohjelmat ovat Windows 3D Builder ja Simplify3D. Käytetty tulostin on FFF-tyypin Prenta Duo XL -tulostin. Työn teoriaosuudessa esitellään lyhyesti käytetyt materiaalit, tietokoneohjelmat ja FFF-tyyppisen 3D-tulostimen toiminta. Valmistan 3D-tulostusnäyteportfolion kolmena kappaleena: yhden Kouvolan teatterille, toisen Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoululle ja kolmas jää minulle itselleni.</p>		
<p>3D-tulostaminen kankaalle aloitetaan lisäämällä tiedoston G-koodiin komento pysäyttää tulostaminen tietyn kerroksen jälkeen. Aluksi tulostetaan yksi tai kaksi kerrosta suoraan tulostusalustan pinnalle. Kun tulostin pysähtyy, teipataan kangas kiinni tulostusalustaan ja jatketaan tulostamista. Tulostusmateriaali pursuaa kankaan aukoista läpi ja kiinnittyy kankaan alla oleviin materiaaliin. Käytettävän kankaan aukkojen tulisi olla tarpeeksi isoja, esimerkiksi pitsi ja tylli soveltuvat hyvin tähän tarkoitukseen. Kankaaseen voi yhdistää 3D-tulosteita myös ompelemalla tai liimaamalla.</p>		
<p>PLA-muovi ei joustu, joten tulostettujen osien koko, muoto ja asettelu vaikuttavat valmistetun osan taipumiseen. NinjaFlex puolestaan on taipuisa materiaali. PLA-muovia voi pintakäsitellä hiomalla ja maalaamalla. Akryyli- sekä spraymaali kestävät molemmat hyvin PLA-muovin pinnalla. NinjaFlexin kanssa käytettävän maalin tulisi olla joustavaa, jottei se irtoaisi. Kevyessä käytössä gessolla pohjustettu akryylimaali kestää riittävän hyvin NinjaFlexin pinnassa. 3D-tulostetut puvunosat olisi hyvä sijoittaa muiden vaatteiden päälle. Tällaisille vaatteille suositeltavaa on käsinpesu korkeintaan 40 °C:ssa. PLA-muovia sisältäviä pukuja tulee säilyttää kuivassa ja huoneenlämmössä.</p>		
<p>3D-tulostus tarjoaa paljon uusia mahdollisuuksia teatteripuvustukseen. 3D-tulostamalla on mahdollista koristella kankaita sekä luoda esimerkiksi suomupintoja ja kevyitä rengashaarniskamateriaaleja. Lisäksi sillä voi valmistaa kankaaseen vahvikerenkaita ja erilaisia kiinnittimiä, kuten nappeja ja solkia. 3D-tulostustamalla on myös mahdollista valmistaa vaateen pinnalle liikkuvia osia ja toimivia koneistoja. Puvunosien säilyttäminen digitaalisessa muodossa 3D-malleina säästää varastotilaa ja valmiita malleja voi muokata tilanteeseen sopiviksi.</p>		
<b>Asiasanat</b>		
3D-tulostus, kolmiulotteisuus, materiaalia lisäävä valmistus, puvustus		

Author	Degree	Time
Sarri Lindh	Bachelor of Culture and Arts	January 2019
<b>Thesis title</b> The Opportunities of 3D Printing in Theater Costumes 3D Printing on Fabric		61 pages 24 pages of appendices
<b>Commissioned by</b>  Kouvolan teatteri		
<b>Supervisor</b>  Seija Kiuru-Lavaste		
<p data-bbox="150 723 272 745"><b>Abstract</b></p> <p data-bbox="150 786 1430 913">The objective of this thesis was to study how to combine 3D printing with fabric and how to utilize 3D printing in theatre costuming. The main research question was how to create theatre costume pieces by combining 3D printing with fabric. The sub-question was what attributes costume pieces combining fabric and 3D printing have.</p> <p data-bbox="150 954 1442 1048">The work is productive. The used research methods are practice based research, experimental research and observation. For analysis, grounded theory and research analysis of qualitative methods were used.</p> <p data-bbox="150 1088 1401 1182">The physical product created was a portfolio of 3D printing samples. Samples were made using PLA and NinjaFlex. The programs used for this were Windows 3D Builder and Simplify3D. The used printer was fused filament fabrication printer Prenta Duo XL.</p> <p data-bbox="150 1223 1442 1317">The first step of 3D printing on the fabric is to print the first layer straight on the print bed. When the printer stops, the fabric gets taped on the print bed. The printing is resumed. The printing material oozes through the holes in fabric and sticks on the layer below the fabric.</p> <p data-bbox="150 1357 1423 1417">Fabrics with holes big enough for the printing material to ooze through, such as tulle and lace, are well suited for 3D printing on fabric. 3D printed parts can also be sewn or glued on the fabric.</p> <p data-bbox="150 1458 1449 1552">When studying the attributes of 3D printed samples on fabric, following discoveries were made: the size, shape and arrangement of the 3D printed parts on fabric affects on how the fabric flexes. PLA doesn't flex at all but NinjaFlex is flexible.</p> <p data-bbox="150 1592 1442 1653">PLA plastic can be sandpapered and painted. Both acrylic and spray paints work well with PLA. On the other hand, the flexible NinjaFlex requires a paint that is also flexible.</p> <p data-bbox="150 1693 1436 1787">3D printed costume parts should be placed over other clothes. The clothes including 3D printed parts are recommended to be hand washed in maximum of 40°C. Costumes with PLA plastic parts should be stored in dry place and in room temperature.</p> <p data-bbox="150 1827 1436 1989">3D printing offers a lot of new opportunities for theatre costumes. With 3D printing it's possible to decorate fabrics, print eyelets straight on fabric and make small accessories such as buttons and buckles. With 3D printing, it's possible to manufacture moving parts and functional mechanisms on fabric's surface. When costume parts are stored in digital form as 3D models, it saves storage space. 3D models can be easily modified to become suitable for new projects.</p>		
<p data-bbox="150 2007 292 2029"><b>Keywords</b></p> <p data-bbox="150 2069 1377 2092">additive manufacturing, costume, fused filament fabrication, three-dimensional printing</p>		

## SISÄLLYS

KÄSITTEET .....	5
1 JOHDANTO .....	7
2 TUTKIMUSASETTELMA .....	8
3 TUTKIMUSMENETELMÄT .....	9
4 3D-TULOSTUS: TULOSTIN, MATERIAALIT JA OHJELMAT .....	13
4.1 3D-tulostin .....	13
4.2 Tulostusmateriaalit.....	14
4.3 Tietokoneohjelmat 3D-tulosteen valmistukseen .....	15
5 PRODUKTIIVINEN OSUUS .....	17
5.1 Testitulosteet .....	17
5.2 Yhteistyö Kouvolan teatterin kanssa.....	28
5.3 Tulosteiden ominaisuudet.....	33
5.4 Materiaalien yhdistäminen .....	41
5.5 Näyteportfolion kokoaminen .....	45
6 LUOTETTAVUUS.....	47
6.1 Lähteiden luotettavuus.....	47
6.2 Päättelyn luotettavuus .....	48
6.3 Prosessin uskottavuus ja dokumentointi.....	48
7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO.....	50
8 POHDINTA .....	52
LÄHTEET.....	55

## KUVALUETTELO

## TAULUKKOLUETTELO

## LIITTEET

Liite 1. Thingiversesta ladatut mallit

Liite 2. NinjaFlex tulostusasetukset

Liite 3. 3D-tulostusnäyteportfolio

## KÄSITTEET

3D-grafiikkaohjelma/3D-mallinnusohjelma: Ohjelma, jolla voi luoda 3D-malleja (Horne & Hausman 2017, 75–77).

Additive manufacturing: Additiivinen eli materiaalia lisäävä valmistus. 3D-tulostuksen tekninen nimi. (Lipson & Kurman 2013, 11.)

Biohajoava muovi: Muovi, jonka luonnossa esiintyvät mikrobit pystyvät hajottamaan. Biohajoava muovi ei ole välttämättä biopohjaista. (Mikkonen 2017.)

Biopohjainen muovi: Muovin raaka-aine on uusiutuvaa, biologista alkuperää. Biopohjainen muovi ei ole välttämättä biohajoavaa. (Mikkonen 2017.)

Cosplay: Harrastus, jossa pukeudutaan videopelin, TV-sarjan tai sarjakuvan hahmoksi. Sana cosplay tulee englannin kielen sanoista ”costume” ja ”play”. (Wigne 2006, 65–66.)

Filamentti: Kiinteä, nauhamainen, kelan ympärille rullattu tulostusmateriaali (Lehtinen 2014).

Fused deposition modeling/FDM: Pursotus (Prenta Oy 2015a). FDM-tulostin pursottaa sulatetun materiaalin tulostinpään läpi (Lipson & Kurman 2013). Toimii täysin samalla tavalla kuin FFF, mutta termi FDM on Stratasys yhtiön rekisteröimä tavaramerkki (Horne & Hausman 2017, 28).

Fused filament fabrication/FFF: Pursotus (Prenta Oy 2015a). FFF-tulostin pursottaa sulatetun materiaalin tulostinpään läpi (Lipson & Kurman 2013, 68 & Horne & Hausman 2017, 28).

G-koodi: 3D-tulostimen käyttämä ohjelmointikieli (Simplify3D 2019b).

Layer: Taso. 3D-tulostuksessa layer tässä yhteydessä tarkoittaa tulostuskerrosta.

Polylaktidi (PLA): Biopohjainen ja biohajoava muovi, joka on valmistettu maitohaposta. (Mikkonen 2015 ja Muoviteollisuus Ry s.a.)

Polymerointi: Kemiallinen reaktio, jossa monomeerin, monomeerien tai monomeerin ja polymeerin molekyylit liittyvät toisiinsa. (Muoviteollisuus Ry s.a.)

Selective binding printer: Valikoivasti sitova tulostin. (Lipson & Kurman 2013, 68.)

Selective deposition printer: Valikoivasti kerrostava tulostin. (Lipson & Kurman 2013, 68.)

Thingiverse: Internet-sivusto, josta voi ladata muiden valmistamia 3D-malleja ilmaiseksi omaan käyttöön. (MakerBot Industries, 2019.)

Tukirakenne: Englanniksi suport structure (suora käännös tukirakenne) tai supports (suora käännös tuet). Tässä työssä termillä tukirakenne tarkoitetaan 3D-tulostusohjelman tulostamisen avuksi luomaa, helposti irrotettavissa olevaa rakennetta. Tukirakenne irrotetaan varsinaisesta tulosteesta tulostamisen jälkeen.

Vahvikerengas: Muita nimityksiä ovat sirkka, öljetti ja purjerengas. Kankaaseen tehtyä reikää ympäröivä ja sitä vahvistava rengas. (Wikipedia, 2019.)

Viipalointiohjelma: Englanniksi Slicing software/Slicer. Ohjelma muuntaa 3D-mallin tiedot G-koodiksi. Viipalointiohjelmilla voi myös lisätä malliin tulostusta varten esimerkiksi tukirakenteita. (Simplify3D 2019a.)

## 1 JOHDANTO

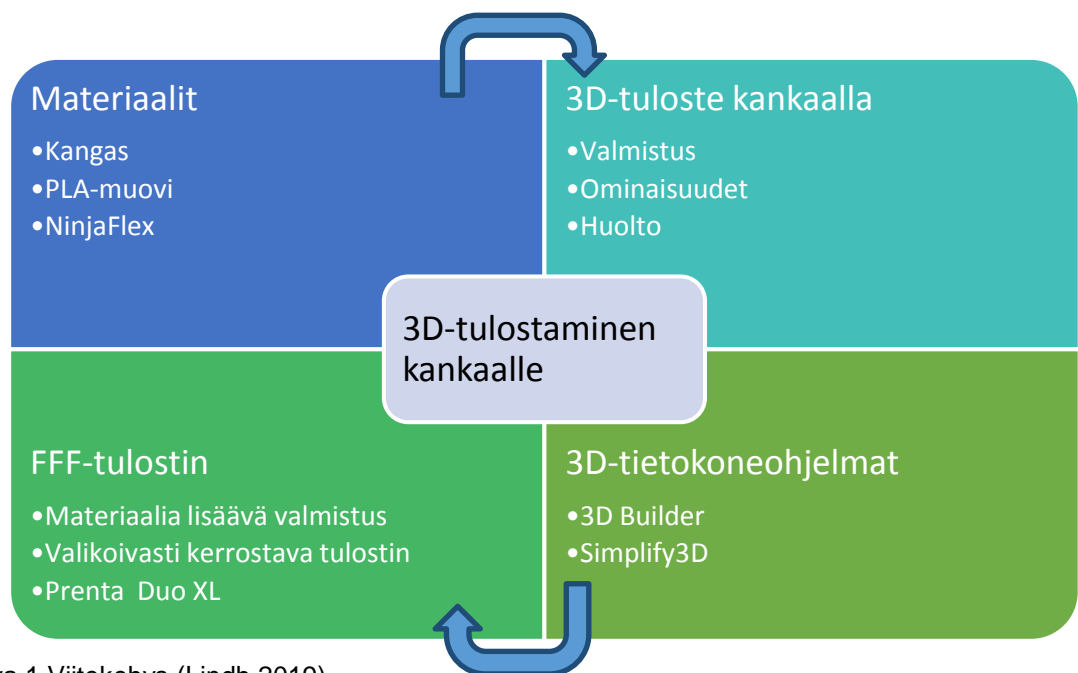
Tutkin työssäni, kuinka 3D-tulostamista on mahdollista hyödyntää teatteripuvustuksessa. Keskityn työssäni erityisesti käsittelemään kankaan ja 3D-tulostuksen yhdistämistä. Sain idean lähteä tutkimaan aihetta, kun cosplay-harrastukseni kautta löysin Internetistä kuvia, joissa 3D-tulostamista oli yhdistetty kankaaseen.

3D-tulostusta voi hyödyntää monin tavoin teatteripuvustuksessa. 3D-tulostamalla pukuihin voi valmistaa esimerkiksi persoonallisia asusteita ja yksityiskohtia, kuten koruja tai nappeja. 3D-tulostamalla pystyy myös valmistamaan esimerkiksi haarniskan osia. 3D-tulosteeseen on mahdollista yhdistää myös muita materiaaleja, kuten kangasta.

Lähdin tutkimaan 3D-tulostamista käytännön tekemisen kautta. Halusin tutkimukseni avulla tuottaa tietoa, jonka avulla lukija pystyy itse valmistamaan onnistuneita 3D-tulostettuja osia pukuihinsa. Tutkimukseni perustuu pääasiassa omaan aineistooni, jonka olen kerännyt dokumentoimalla ja havainnoimalla 3D-tulosteiden työprosessia sekä valmiita 3D-tulosteita.

## 2 TUTKIMUSASETELMA

Tutkin työssäni 3D-tulostamisen yhdistämistä kankaaseen sekä aikaan saatujen tulosteiden ominaisuuksia, kuten kestävyyttä, mukavuutta ja liikkuvuutta. Kerron myös 3D-tulosteiden pintakäsittelystä sekä puvunosien säilytyksestä ja huollosta. Käsittelen myös käyttämiäni 3D-tulostukseen liittyviä ohjelmia 3D Builderia, FreeCADia, Simplify3Dta. Olen rajannut aiheeni siten, että käsittelen 3D-tulostimista vain käyttämäni FDM-tulostinta tarkemmin. (Kuva 1.)



Kuva 1 Viitekehys (Lindh 2019)

Tutkimuskysymykseni on: Miten valmistaa teatteripuvun osia yhdistäen kangasta ja 3D-tulostusta? Alakysymykseni on: Millaisia ominaisuuksia 3D-tulostusta ja kangasta yhdistävillä puvunosilla on? Työssä pohditaan, kuinka 3D-tulostusta voisi hyödyntää teatteripuvustuksessa ja tutkitaan testien avulla, ovatko ideat käytännössä toteutettavissa. Työssä ei kuitenkaan tutkita, miten 3D-tulostusta on jo hyödynnetty teatteripuvustuksessa. En myöskään aio käsitellä 3D-mallinnusta tässä työssä.



### 3 TUTKIMUSMENETELMÄT

Lähestyn aiheitani tekemisperusteisen tutkimuksen eli tekemällä tutkimisen kautta. Käytän tiedon keräämiseen kokeellista tutkimusta ja havainnointia sekä tutustun 3D-tulostusta käsittelevään kirjalliseen aineistoon. Valmistan tulostuskokeilut kirjallisen aineiston pohjalta ja teen muistiinpanoja tekemistäni havainnoista. Käytän hyväkseni kirjallista aineistoa saadakseni taustatietoa 3D-tulostimista, niiden toiminnasta sekä 3D-tulostuksessa käytettävistä materiaaleista selittämään prosessin toimintaa sekä apuna prosessin etenemisen suunnittelussa.

Tutkimuksen analysoinnissa hyödynnän laadullisen tutkimuksen analysointimenetelmiä deskriptiota ja Grounded Theory eli aineistopohjainen analyysi -menetelmää.

#### **Tekemisperusteinen tutkimus eli tekemällä tutkminen**

Tekemisperusteisella tutkimuksella tutkitaan työtä ja fyysisen kohteen syntyprosessia. Siinä on oikeus lainata, muokata, soveltaa ja kehittää muiden tutkimuksen alojen menetelmiä. Luovan prosessin valmistelu aloitetaan sopivan toimintamallin valinnalla, joka antaa suuntaa tekemisen alkuvaiheessa. Luovassa prosessissa on monia mahdollisia sisältöjä ja tavoitteita, jotka voivat muuttua, kasvaa ja saada erilaisia painotuksia prosessin edetessä. Luovan prosessin kuvauksessa tekijä kuvaa itsensä luovana, tunnistettavana, systemaattisena ja refleктоivana persoonana. Luova tekemisperustainen prosessi vaatii tarkan aktiivisen dokumentaation, jonka avulla voidaan seurata työn edistymistä, erottaa prosessista hyvin edistyviä tai ongelmallisia vaiheita ja tuoda esiin muuten piiloon jääviä vaiheita. (Anttila 2006, 423, 425–427.)

Työn kirjallisessa osuudessa kerron valmistamani kokeilujen työskentelyprosessista, pyrkien dokumentoimaan työskentelyäni mahdollisimman tarkasti ja tuomaan esiin työskentelyn aikana tekemäni havainnot. Tekemisperusteisen tutkimuksen mallin mukaisesti työssäni on aktiivinen tekijä. Raportoin työskentelyprosessia yksikön ensimmäisessä persoonassa passiivin sijaan, sillä luovassa työskentelyprosessissa asiat eivät vain tapahdu itsestään vaan ne vaativat itselleen aktiivisen tekijän.

### **Kokeellinen tutkimus**

Kokeellisessa tutkimuksessa tutkitaan asioiden välisiä suhteita toisiinsa. Kokeellinen tutkimus on systemaattista ja kontrolloitua havaintojen tekoa. Tapahtumien kulku raportoidaan sellaisella tarkkuudella, että niiden toistaminen yhä uudelleen on mahdollista. Kokeellisessa tutkimusmenetelmässä tavoitteena on saada tietoa ilmiöstä ja tutkia sen reaktiota tai vaikutusta johonkin. Kokeellisessa tutkimuksessa tutkija voi vaikuttaa tapahtumiin ja havainnoida suoraa syy-yhteyttä haluamiensa tekijöiden välillä. Tutkimustulosta häiritseviä tekijöitä yritetään kontrolloida tai poistaa. (Anttila 2006, 269–271.)

Tässä työssä sovelletaan kokeellista tutkimusta. Tutkimuksessa valmistetaan tulostusnäytteitä ja kokeiluja, raportoidaan työn vaiheet sekä pohditaan, mitkä tekijät vaikuttavat 3D-tulosteiden onnistumiseen ja millaisia ominaisuuksia aikaan saaduilla tulosteilla on.

### **Havainnointi**

Havainnointi eli observointi on laadullisen tutkimuksen tiedonkeruumenetelmä. Havainnointi on järjestelmällistä tiedon keräämistä, joka vaatii systemaattista suunnittelua ja jossa saatu tieto kootaan systemaattisesti. Havainnot voivat kohdistua tapahtumiin, käyttäytymiseen ja fyysisiin kohteisiin. (Anttila 2006, 189.)

Havainnointia on kahta päälajia, suoraa ja osallistuvaa havainnointia. Kumpikin voidaan lisäksi jakaa jäseneltyyn ja ennalta jäsentämättömään havaintoaineiston kokoamistapaan. Luovan prosessin tutkimisessa suoraa havainnointia on esimerkiksi erilaisten fysikaalisten ja teknisten ilmiöiden havainnoiminen. (Mts. 190.)

Jäsennellyssä eli strukturoidussa havainnoinnissa ennen havainnointia tutkija jäsentelee ongelmansa ja laatii havainnointia varten luokitteluja. Tutkittavasta asiasta täytyy olla etukäteen tietoa, jonka avulla voi päättää, mitä ja milloin havainnoidaan. Tiedon pohjalta laaditaan havainnointilomake ja päätetään käytettävä mitta-asteikko. (Mts. 191.)

Strukturoimattomassa havainnoinnissa kaikki havainnot tallennetaan muistiin ja koottu aineisto jäsenellään jälkikäteen. Kun havainnointia ei voi etukäteen luokitella, tutkittavan ilmiön ennakkotuntemuksen pohjalta oletetaan, mitä ilmiössä tulee tapahtumaan ja sen mukaan kirjataan esiin tulleet seikat. (Mts. 192.)

Käytän tutkimuksessani suoraa ja strukturoimatonta havainnointia. Vaikka olen ennakkoon suunnitellut havainnoinnin kohteita ja tehnyt oletuksia siitä, mitä työskentelyprosessissa tulee tapahtumaan, kirjaan ylös kaikki esiin tulevat seikat. Teen havaintoja sekä työskentelyprosessista työskentelyn aikana että myöhemmin tulosteiden ominaisuuksista valmiiden tulosteiden pohjalta.

### **Laadullinen eli kvalitatiivinen analyysi**

Analysoin kerätyn aineiston kvalitatiivisen analyysin menetelmien avulla. Laadullisen tutkimuksen tavoitteena on ilmiön ymmärtäminen, selittäminen, tulkinta ja usein myös soveltaminen. Kvalitatiivinen analyysi alkaa ja tapahtuu osittain samanaikaisesti aineistonkeruun kanssa. (Anttila 2006, 278.)

Prosessin analyysin avulla saadaan esiin tapahtuman luonne. Analyysin avulla pyritään saamaan kuvaa muutoksista, kehitymisestä, olosuhteista, toiminnoista ja niihin liittyvistä mekanismeista. (Mts. 278.)

### **Deskriptio**

Kuvailevalla tutkimusmenetelmällä pyritään ensisijaisesti kokoamaan tietoa tutkimuskohteesta eli kuvaamaan kohteen tosiasiat ja tunnuspiirteet systemaattisesti, todellisuuden mukaisesti ja tarkasti. (Anttila 2006, 285.)

Kuvailen työssäni mahdollisimman tarkasti työskentelyprosessia sekä valmiiden tulosteiden ominaisuuksia. Käytän kuvailun apuna valokuvia.

### **Grounded Theory**

Toisin kuin perinteisessä teorialähtöisessä tutkimuksessa, Grounded Theory eli aineistopohjainen teoria -menetelmässä ei muotoilla perusväittämiä aikaisempien tutkimusten ja teorioiden, vaan oman aineiston pohjalta. Tutkija kuitenkin analyysin kuluessa tutustuu muihin teorioihin ja kehittää samalla

omaansa. Tutkimuksen rakennetta ei voi vielä tutkimuksen alussa tarkasti määrittellä vaan se muodostuu tutkimuksen aikana. Teorian tulee pohjautua ja mukautua aineistoon, sen täytyy toimia eli selittää ja tulkita aineiston ilmiöitä, teorialla tulee olla yhteys käytäntöön ja sitä tulee voida kehittää edelleen uuden aineiston avulla. (Anttila 2006, 376–377.)

Lähden työssäni tutkimaan 3D-tulostuksen hyödyntämistä teatteripuvustuksessa testien kautta. Käytän apuna aiheeseen liittyvää kirjallisuutta, mutta tarkoituksena on saada tietoa käytännön tekemisen kautta. Tutkimus elää prosessin edetessä ja työskentelyn aikana tehdyt huomiot vaikuttavat siihen, minkä suunnan tutkimus ottaa.

## 4 3D-TULOSTUS: TULOSTIN, MATERIAALIT JA OHJELMAT

Tässä luvussa käydään lyhyesti läpi perustietoa 3D-tulostimista ja tulostusmateriaaleista sekä esitellään työssä käytetyt tietokoneohjelmat 3D Builder ja Simplify3D.

### 4.1 3D-tulostin

Tekninen nimitys 3D-tulostukselle on additive manufacturing, suomeksi additiivinen (Lipson & Kurman 2013, 11) eli materiaalia lisäävä valmistus (Lehtinen 2014).

3D-tulostimilla on kaksi päätyyppiä. Ensimmäinen tulostin tyyppi on selective deposition printer, joka suomeksi käännettynä on valikoivasti kerrostava tulostin. Tulostin valmistaa tulosteen pursottamalla tai ruiskuttamalla nestettä, massaa tai jauhettua raaka-ainetta ruiskun tai suuttimen läpi. Kotona ja toimistossa käytettävät 3D-tulostimet kuuluvat tähän päätyyppiin. (Lipson & Kurman 2013, 68.)

FFF eli fused filament fabrication on valikoivasti kerrostava tulostin (Lipson & Kurman 2013, 68). Prenta Oy:n (2015) tulostimen käyttöoppaassa termi fused filament fabrication on suomennettu pursotukseksi. FFF-tulostimet valmistavat tulosteen pursottamalla raakamateriaalia, kuten PLA-muovia, tulostinpään läpi alustalle (Lipson & Kurman 2013, 68). Termi FDM eli fused deposition modeling on Stratasys-yhtiön rekisteröimä tavaramerkki, mutta toimii täysin samalla tavalla kuin fused filament fabrication (Horne & Hausman 2017, 28).

Muita valikoivasti kerrostavia tulostimia ovat PolyJet-tulostimet, Laser Engineered Net Shaping (LENS) tulostimet sekä laminated object manufacturing (LOM) tulostimet (Lipson & Kurman 2013, 70–72).

Toinen 3D-tulostimien päätyyppi on selective binding printer eli valikoivasti sitova tulostin, joka käyttää raaka-materiaalin sitomiseen lämpöä tai valoa kiinnittämään jauhetta tai valoherkkää fotopolymeeria. Tulostin ohjaa laserin tai sidosaineen raakamateriaaliin, jolloin materiaalihiukkaset kiinnittyvät toisiinsa. (Lipson & Kurman 2013, 68.)

### **FFF-tulostimen toiminta**

3D-tulostusprosessi alkaa muuntamalla tulostinohjelmalla 3D-malli tulostimen ymmärtämälle koodikielelle, G-koodiksi. G-koodin ohjeiden pohjalta tulostin liikuttaa laitteen tulostuspäät oikealle kohdalle ja pursottaa filamenttia kuumennetun suuttimen läpi. Kun ensimmäinen kerros kovettuu, 3D-tulostimen tulostuspää palaa takaisin ja tulostaa toisen ohuen kerroksen edellisen päälle. Lopulta ohuet kerrokset muodostavat valmiin kolmiulotteisen esineen. (Lipson & Kurman 2013, 68.)

FFF-tyypin 3D-tulostimessa on tulostusalustana lämmitettävä lasilevy. Tulostusalustan sekä tulostimen suuttimien lämpötilaa pystyy muuttamaan tulostusohjelman asetuksista.

Tulostusalusta liikkuu ylös ja alas. Tulostinpäät puolestaan voivat liikkua vaaka ja pystytasossa. Koneeseen ei saa asettaa mitään niin, että se estäisi tulostuspäiden tai tulostusalustan liikkumisen.

## **4.2 Tulostusmateriaalit**

Filamentti on kiinteä, nauhamainen, kelan ympärille rullattu tulostusmateriaali. (Lehtinen 2014.) Filamentti voi olla valmistettu esimerkiksi muovista, puukuidusta, metalliseoksesta tai hiilikuituseoksesta (Prenta 2015).

### **PLA eli polylaktidi**

3D-tulostuksessa käytettävä PLA eli polylaktidi on biohajoava ja biopohjainen muovi. Se valmistetaan uusiutuvasta, biologista alkuperää olevasta raaka-aineesta ja hajoaa biologisten prosessien kautta vedeksi ja hiilidioksidiksi. (Mikkonen 2017.)

PLA valmistetaan esimerkiksi maissia tai sokeriruokoa fermentoimalla, jolloin saadaan tuotettua maitohappoa. Maitohaposta saadaan kemiallisen reaktion, polymeroinnin, avulla tuotettua polylaktidia. (Hitachi Ltd. 2019.)

PLA:n sulamispiste on 145–160 °C. Sen sulamislämpötila on 210 °C ± 10 °C ja suositeltu tulostuslämpötila on 210–220 °C. PLA:ta tulostaessa lämmitetty tulostusalusta ei ole välttämätön, mutta tulostuspöytää käyttäessä sen

lämpötilaksi asetetaan 50–60°C. Tulostimissa on kuitenkin eroja ja parhaan tuloksen saa noudattamalla tulostimen valmistajan antamia ohjeita. (Tmi Filamentti 2015.)

### **NinjaFlex**

NinjaTekin NinjaFlex on joustava tulostusmateriaali, joka on valmistettu TPU:sta eli termoplastisesta polyuretaanielastomeerista. NinjaTekin sivuilla NinjaFlexin tulostuslämpötila suositus on 225°C–235°C, tulostusalustan lämpötilasuositus on huoneenlämmöstä 40°C. Tulostusnopeudeksi suositellaan 900–2100 mm/min, ensimmäisen ja viimeisen kerroksen tulostusnopeussuositus on 600–1200 mm/min (NinjaTek 2017.)

## **4.3 Tietokoneohjelmat 3D-tulosteen valmistukseen**

Tässä luvussa esitellään työssä käytetyt ohjelmat: 3D-mallinnusohjelma Windows 3D Builder sekä viipalointi- ja tulostusohjelma Simplify3D.

### **Windows 3D Builder**

3D Builder on Windowsin valmistama ilmainen 3D-mallinnusohjelma Windows 10, Windows 8.1 ja Xbox One -käyttöjärjestelmille (Microsoft 2019).

3D Builder -ohjelmalla rakennetaan mallit valmisobjektien avulla.

Valmisobjektit ovat geometrisiä perusmuotoja, kuten kuutio, lieriö, pyramidi kartio ja pallo. Valitsemalla mukautettu objekti toiminnon, pystyy näitä aiemmin mainittuja perusmuotoja muokkaamaan hieman lisää esimerkiksi säätämään toruksen sisäsädettä tai pyöristämään kuution kulmia.

Ohjelmassa objekteja voi jakaa osiin, yhdistää, tehdä ontoksi ja leikata objektin muotoinen osa irti toisesta objektista. Lisäksi ohjelmassa on toiminto, jolla objektin pinnalle voi luoda kohokuvion. Objektin tai kohokuvion voi luoda myös omasta kuvasta. Kuvan avulla luotu objekti on pohjasta ja päältä tasainen. Ohjelmassa ei ole toimintoa, jolla esimerkiksi objektin reunoja voisi pyöristää. Kun ohjelma luo kuvasta objektin, se leikkaa pois kuvan mustat alueet. Käytettävän kuvan kannattaa olla mustavalkoinen: taustaväriinä käytetään mustaa ja se osa, josta halutaan luoda 3D-malli, on valkoinen.

**Simplify3D**

Simplify3D on 3D-tulostuksessa käytetty viipalointi- ja tulostusohjelma.

Ohjelma on yhteensopiva satojen eri 3D-tulostimien kanssa. Ohjelmalla voi rakentaa tulostettavalle 3D-mallille tukirakenteita, muuttaa tulosteen kokoa ja asettelua sekä muuntaa 3D-malli 3D-tulostimen ymmärtämälle ohjelmointikielelle eli G-koodiksi. (Simplify3D 2019a.)



## 5 PRODUKTIIVINEN OSUUS

Halusin tutkia erilaisia tapoja, joilla 3D-tulostusta pystyy yhdistämään kankaaseen. Halusin testitulostuksilla selvittää, millaisiin kangasmateriaaleihin oli mahdollista 3D-tulostaa ja millaisia ominaisuuksia näillä 3D-tulostamalla koristelluilla kankailla oli. Lisäksi halusin kokeilla, millaisia kangasmaisia materiaaleja oli mahdollista tuottaa pelkkää 3D-tulostusta käyttämällä.

Aloitin testien tekemisen seuraavien ennakko-oletusten pohjalta:

- 3D-tulostaminen kankaalle onnistuu parhaiten, kun käytetään harvaa tai reiällistä kangasta ja tuloste tulostetaan niin, että kangas jää tulosteen sisälle.
- Kankaan pinnalle tulostetut tulosteet eivät kestä kiinni yhtä hyvin kuin tulosteet, joissa kangas jää tulosteen väliin.
- 3D-tulostusmateriaali tarttuu paremmin synteettisiin kuituihin kuin luonnonkuituihin.

Käyttämäni tulostin on FFF-tyyppinen, Prenta Duo XL 3D-tulostin. Käyttämäni tietokoneohjelmat ovat mallinnusohjelma Windows 3D Builder sekä viipalointi- ja tulostusohjelma Simplify3D. Suurin osa työssä käytetyistä 3D-malleista on itse mallintamiani, mutta käytin myös muutamia Thingiversesta ladattuja malleja, joista tarkemmat tiedot liitteessä 1.

### 5.1 Testitulosteet

Aloitin tutkimalla 3D-tulostamista erilaisille materiaaleille. Ensimmäisissä testeissä kokeilin tulostaa suoraan kankaan pinnalle. Käyttämäni kankaat olivat tylli, sifonki, satiini (kuva 2) sekä joustosametti (kuva 4), kaikki synteettisiä kuituja.

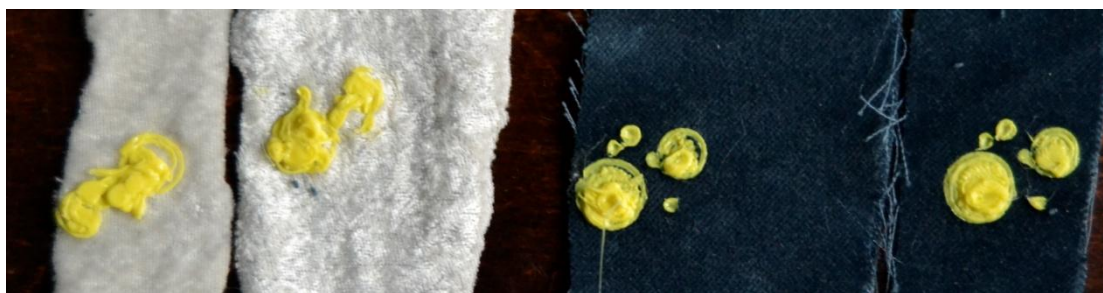


Kuva 2 3D-tulosteet tyllin, sifongin ja satiinin pinnalla (Lindh 2019)



Kuva 3 Tuloste sifongin pinnalla (Lindh 2019)

Tyllille, sifongille ja satiinille tulostetut koristeet irtoilivat herkästi (kuva 3). Ainoastaan sametin pinnalla tuloste kesti kiinni hyvin. Kuitenkin sametille tulostaessa tulostinpää lähti liikuttamaan kangasta ja tuloste epäonnistui (kuva 4).



Kuva 4 Valkoinen joustava satiini, sininen joustamaton satiini (Lindh 2019)

Epäilin, että sametille tulostetun testitulosteen epäonnistuminen johtui kankaan joustosta. Tämän vuoksi seuraavaan kokeeseen valitsin joustamattoman sametin (kuva 4). Tässäkin kokeessa kangas lähti liikkumaan tulostuspään mukana ja tulostus epäonnistui. Mahdollisia epäonnistumisen syitä epäilin olevan se, että kangasta ei ollut kiinnitetty tarpeeksi kireälle tai että kangas oli liian lähellä tulostuspäätä. Jos tulostuksen epäonnistumisen syynä oli tulostuspään korkeus, sen voisi korjata muuttamalla tulostuspään korkeutta. Tulostuspään korkeuden säätäminen on kuitenkin tarkka ja aikaa vievä manuaalinen prosessi, joten sitä ei yksittäisen testikappaleen vuoksi kannata tehdä. Opettaja Ari Haapanen ehdotti, että tulostinpäätä voisi nostaa hieman korkeammalle säätämällä Simplify3D ohjelmassa ensimmäisen layerin tulostuskorkeuden kaksinkertaiseksi.

Kokeilin seuraavaksi kiristää aiemmin käyttämäni tummansinisen sametin kireämmälle, mutta tällä ei ollut huomattavaa vaikutusta tulostuslaatuun.

Kokeilin vielä tulostamista täysin joustamattomalle, lyhytnukkaiselle sametille, mutta tässäkin tulostuskokeilussa tulostuspää oli selkeästi aivan liian lähellä kangasta ja keskeytin tulostuksen ennen tulosteen valmistumista.



Kuva 5 Tulosteet tyllille, joustavalle tyllille, pellavalle ja puuvillaharsolle (Lindh 2019)

Seuraavaksi kokeilin tulostaa kankaalle siten, että kangas jäi 3D-tulosteen väliin. Tämä tekniikka vaatii kankaan, jossa tulostusmateriaali pääsee pursuamaan kankaan läpi ja kiinnittymään aiempiin tulostuserroksiin, näin ollen aiemmissä testeissä käytetyistä materiaaleista vain tylli soveltui tässä tekniikassa käytettäväksi. Muita käyttämiäni materiaaleja ovat muun muassa joustotylli, harva pellavakangas, puuvillaharso (kuva 5) ja pitsi (kuva 6).

Tulosteet, joissa kangas jää tulosteen väliin, kestivät hyvin kiinni. Vaikka muovi meni osittain läpi pellavakankaasta, kyseinen kangas oli silti aavistuksen liian tiheää ja nämä pellavakankaalle tulostetut koristeet ovat heikommin kiinni kankaassa kuin tyllille, harsolle ja pitsille tulostetut koristeet.





Kuva 6 Tähdet pitsillä (Lindh 2019)



Kuva 7 Niittejä urheilukankaalla (Lindh 2019)

Halusin myös testata, miten 3D-tulostetut koristeet vaikuttivat kankaan liikkuvuuteen ja taipumiseen, joten tulostin kankaan pinnalle lähekkäin toisiaan niittejä (tässä työssä käytän sanaa niitti puhuessani vaatteissa käytetyn, neliskulmaisen niitin ulkonäköä jäljittelevistä pyramidin muotoisista kolmiulotteisista kappaleista) (kuva 7) ja toiseen testikappaleeseen kahdeksansakaraisia tähtiä (kuva 6).



Kuva 8 Teräväkärkiset suomut (Lindh 2019)

Mietin, miten saisin aikaiseksi mahdollisimman hyvännäköistä, elävää suomupintaa, jossa suomut menisivät osittain toistensa päälle. Arvelin, että paras tapa toteuttaa tällainen suomupinta olisi tulostaa irrallisia suomuja ja kiinnittää ne kankaaseen ompelemalla. Mallinsin tätä varten kahdenlaisia suomuja. Ensimmäiset tulostamani suomut ovat teräväkärkisiä ja

tasapohjaisia (kuva 8). Suomessa on kaksi reikää ja ne voi ommella kankaaseen kiinni napin tavoin.

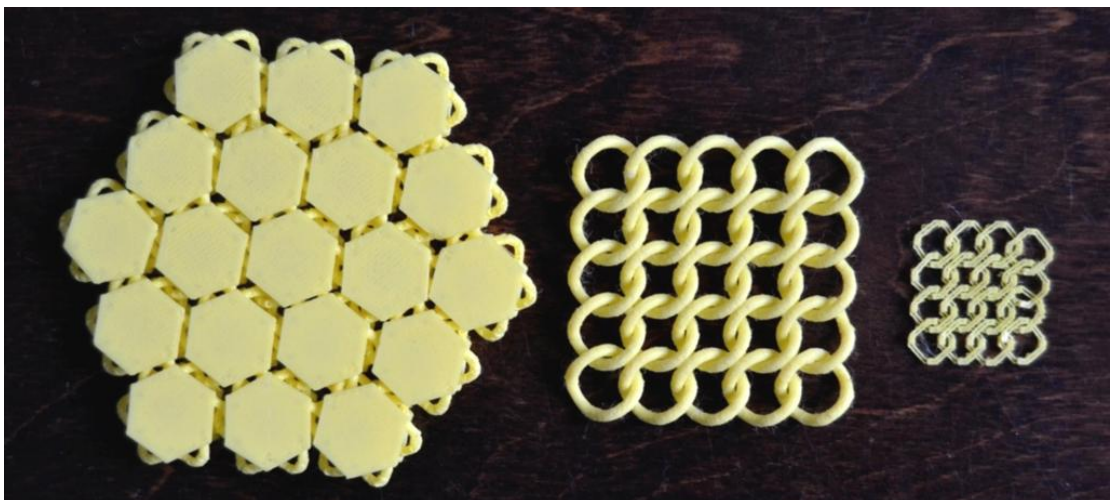


Kuva 9 Suomuja. Vasen ilman tukirakenteita, oikea tukirakenteilla (Lindh 2019)



Kuva 10 Suomujen pohjat. Vasen ilman tukirakenteita, oikea tukirakenteilla (Lindh 2019)

Toiset suomut, jotka mallinsin, ovat muodoltaan soikeita ja niiden pohjat ovat koveria (kuva 9). Tein suomuihin yhden vaakasuuntaisen reiän, jonka läpi langan voi ommella. Tulostin tämän suomumallin sekä ilman tukirakenteita että tukirakenteiden kanssa. Tulosteiden esiin jäävä pinta oli molemmissa tulosteissa lähes samanlainen ja pohjapuolellakin (kuva 10) ero oli hyvin pieni. Koska tukirakenteet eivät parantaneet tulosteen laatua huomattavasti, tämän malliset suomut olisi kannattavaa tulostaa ilman tukirakenteita, jolloin materiaalia ei menisi hukkaan turhiin tukirakenteisiin.

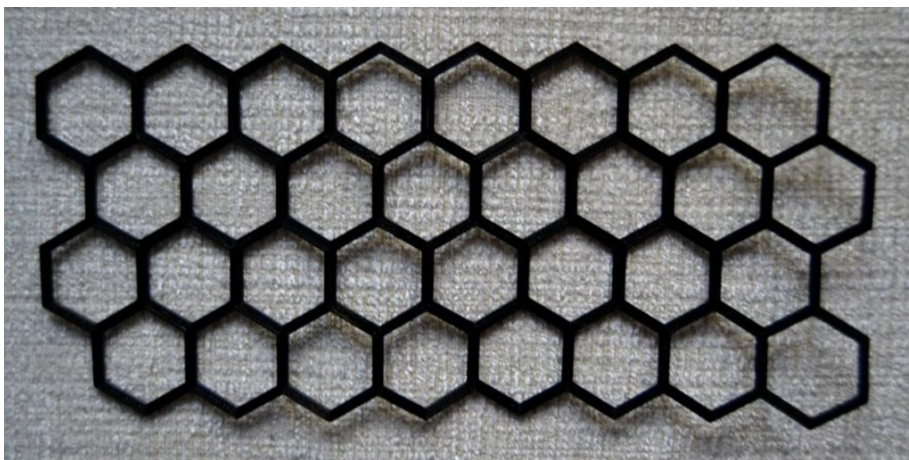


Kuva 11 Erilaisia haarniskamateriaaleja Thingiversesta (Lindh 2019)

Halusin tutkia myös 3D-tulostamalla valmistettuja kankaan kaltaisia pukumateriaaleja, kuten 3D-tulostettuja rengashaarniskoja. Tutkiakseni

haarniskamateriaaleja, latasin Thingiversesta kolmen erilaisen haarniskamateriaalin 3D-mallit (liite 1) ja tulostin ne (kuva 11).

PLA-muovista tai muusta joustamattomasta filamentista tulostaessa paras tapa luoda kangasmaisia pintoja on kiinnittää osat toisiinsa renkailla. Näin osat pääsevät liikkumaan ja kankaaseen saadaan liikkuvuutta. Teoriassa myös erilaiset saranat toimisivat, mutta käytännössä FFF-tulostin ei pysty tulostamaan sellaisella tarkkuudella, että liikkuvien, kestävien saranoiden tulostaminen onnistuisi.



Kuva 12 NinjaFlex-verkko (Lindh 2019)

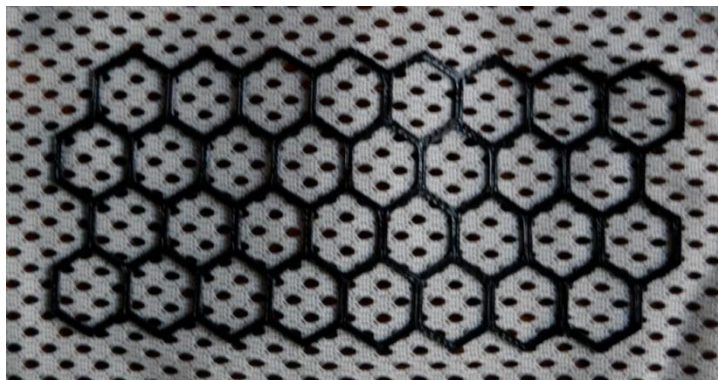
Käyttäessä joustavaa materiaalia, kuten NinjaFlexia (kuva 12), on mahdollista luoda kumimaisia, taipuvia "kankaita". Koska materiaali itsessään on joustavaa, liikkuvuutta ei tarvitse luoda renkailla. Vaikka NinjaFlex joustaa, se ei kuitenkaan veny.



Kuva 13 Ninjaflex-suomuja (Lindh 2019)

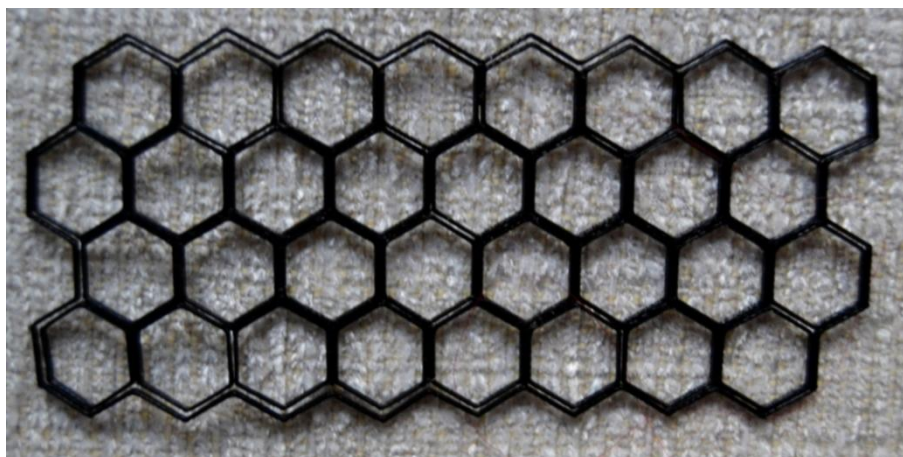


Tutkiakseni NinjaFlexin ominaisuuksia, päätin tulostaa kokeeksi suomuja (kuva 13) sekä kuusikulmioista muodostuvaa verkkoa (kuva 12). NinjaFlexin vaatii erilaiset tulostusasetukset kuin PLA-muovi: korkeamman tulostuslämpötilan, mutta hitaamman tulostusnopeuden. (Liite 2.)



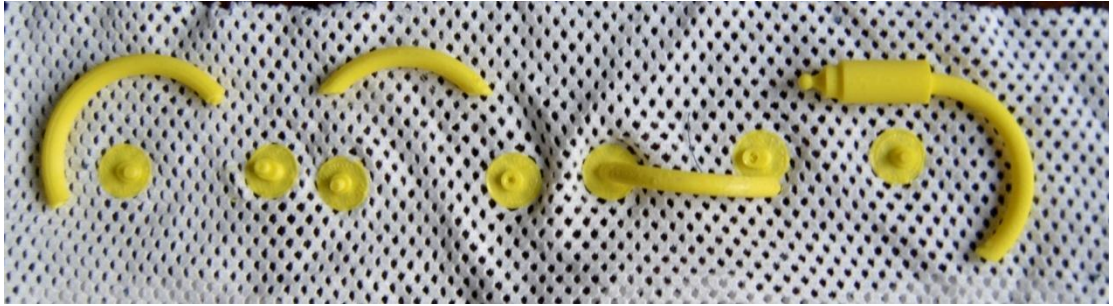
Kuva 14 NinjaFlex kankaalla (Lindh 2019)

Kokeilin myös tulostaa NinjaFlexia kankaalle (kuva 14). Tuloste kesti hyvin kiinni kankaan pinnassa. Tulostin näytekansiota varten myös pienemmän version kuusikulmioverkosta (kuva 15). Vaikka isommassa versiossa säikeet eivät irronneet toisistaan, tässä pienemmässä versiossa säikeet alkoivat irtoilla.



Kuva 15 Pienempi NinjaFlex-verkko (Lindh 2019)

Pohdin myös, mitä sellaista 3D-tulostus pystyisi tarjoamaan teatteripuvustukseen, joka perinteisin menetelmin olisi vaikea tai mahdoton toteuttaa kestävästi. Syntyi ajatus sekä voimakkaasti kankaasta ulkonevista kaarista sekä liikkuvista osista. Tein näiden ideoiden pohjalta kaksi eri koetta.



Kuva 16 3D-tulostettuja kiinnitystappeja ja johdon paloja (Lindh 2019)

Yksi ideoista oli luoda kankaalle pintaa kaarista. Tein pari mallinnuskokeilua ja sain idean lähteä valmistamaan johtoa kankaan pinnalle. Tulostaessa kävi ilmi, että kaaret olivat liian jyrkkiä tulostettavaksi ilman tukirakenteita ja jos niitä yrittäisi tulostaa tukirakenteiden kanssa, tukirakenteet jäisivät kiinni kankaaseen eikä niiden irrottaminen onnistuisi. Sain idean jakaa 3D-mallin osiin: kankaalle tulostettaisiin vain kiinnitystapit ja muut osat tulostettaisiin erikseen. Vaikka idea teoriassa toimii, olin tässä kokeilussa mallintanut liitoskohdista liian tiukat. Lisäksi tulostamani kappaleet olivat liian pieniä, joten niiden kiinnitykset eivät olisi olleet tarpeeksi kestäviä. Tämän mallin olisi saanut toimimaan pienillä muutoksilla mallinnuksessa, mutta päätin olla jatkamatta tätä koetta ja siirryin muihin testeihin. (Kuva 16.)



Kuva 17 Hammasrattaat 1. testi (Lindh 2019)

Kuva 18 Hammasrattaat 2. testi (Lindh 2019)

Toinen idea oli luoda kankaan pinnalle mekaanisia, liikkuvia osia. Tätä koetta varten latsin Thingiversesta hammasrattaita ja muokkasin valmismallia kopioimalla yhden hammasrattaan lisää ja mallintamalla siihen kahvan.



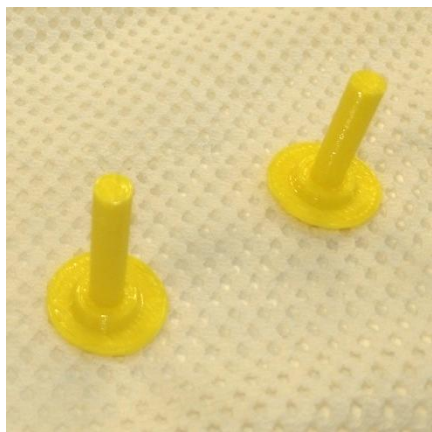
Kuvan 17 testi osoittautui liian pieneksi, joten kokeilin tulostaa saman mallin uusiksi (kuva 18). Kävi kuitenkin ilmi, että jos tulostaessa käytti tukirakenteita, tukirakenteet tarttuivat kankaaseen, eikä niitä saanut irti muusta tulosteesta ilman, että ne irtosivat myös kankaasta (kuva 19). Osat eivät myöskään liikkuneet.



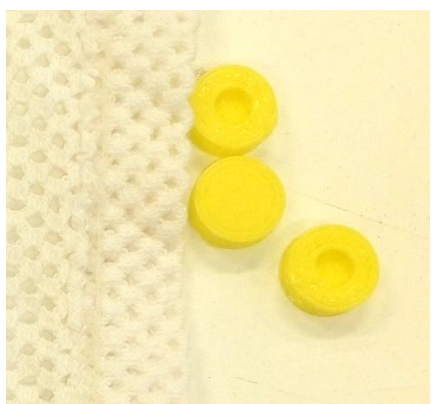
Kuva 19 Hammasrattaat 2. testi, pohja (Lindh 2019)



Kuva 20 Hammasrattaat 3.testi 1 (Lindh 2019)



Kuva 21 Kiinnitystapit (Lindh 2019)



Kuva 22 Päätyosat (Lindh 2019)



Kuva 23 Hammasrataskoneiston kokoaminen (Lindh 2019)



Kuva 24 Hammasrattaat 3.testi 2 (Lindh 2019)



Kuva 25 Hammasrattaat 3.testi 3 (Lindh 2019)

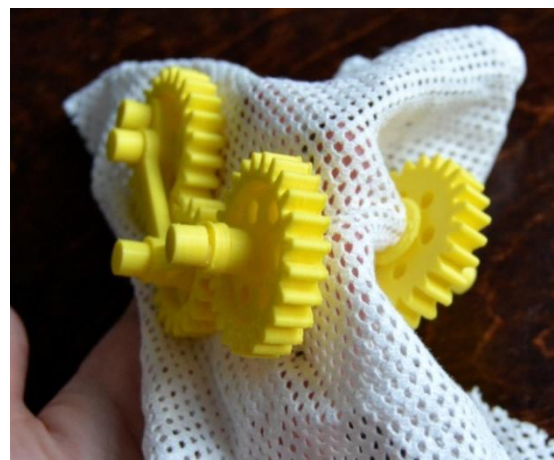
Tämäkään kokeilu ei ollut vielä täydellisesti onnistunut. Hammasrattaat liikkuvat, mutta yksi hammasrattaista ei ollut kiinnitetty välikappaleella muihin ja kangasta taittaessa se irtautui muista hammasrattaista (kuva 27). Kangas myös kiertyi hammasrattaita liikuttaessa (kuva 26). Yksi vaihtoehto korjata aiemmin mainitut ongelmat olisi ollut tulostaa kankaalle hammasrattaiden alle



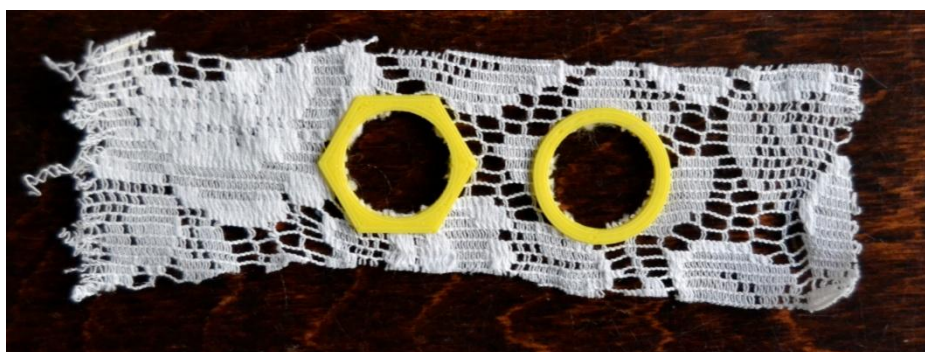
kiinteä alusta, jolloin kangasta ei pystyisi taittamaan. Tämän testin avulla sain selville, että kankaan pinnalle oli mahdollista tulostaa jopa liikkuva koneisto.



Kuva 26 Hammasrattaat 3. testi 4 (Lindh 2019)



Kuva 27 Hammasrattaat 3. testi 5 (Lindh 2019)



Kuva 28 3D-tulostamalla valmistetut vahvikerengaat (Lindh 2019)

Pohdin vielä, olisiko olemassa vielä muita tapoja hyödyntää 3D-tulostuksen ja kankaan yhdistämistä ja yksinkertaisesti kysyin itseltäni: ”Mikä olisi sen vastakohta, jota olen tähän mennessä tehnyt?” Olin lisännyt materiaalia kankaalle, joten päädyin vastaukseen: ”poistaa materiaalia.” Tämän ajatuksen pohjalta valmistin kokeen, jossa 3D-tulostin kankaalle vahvikerenkaita (kuva 28) ja leikkasin kankaan renkaiden sisältä pois. 3D-tuloste sulaa kankaaseen kiinni eikä kankaan reuna pääse purkautumaan. Tällä tekniikalla on mahdollista tehdä aukkoja kankaisiin, joihin normaalisti ei pysty vahvikerenkaita kiinnittämään kuten pitsiin ja tylliin. Kankaan voi myös leikata pois tulosteen ympäriltä ja jättää kangas tulostetun vahvikerengkaan sisään . Näin on mahdollista valmistaa esimerkiksi koruja.

Valmistaessani erilaisia tulostuskokeiluita huomasin, että sama materiaali saattoi eri päivinä vaatia erilaiset tulostuslämpötila-asetukset, jotta tulostus

onnistui hyvin. Mahdollisia syitä tälle ilmiölle voivat olla huoneilman kosteus sekä lämpötila. Vaadittu muutos lämpötila-asetuksiin on kuitenkin pieni, yleensä vain yksi tai kaksi celsiusastetta.

## **5.2 Yhteistyö Kouvolan teatterin kanssa**

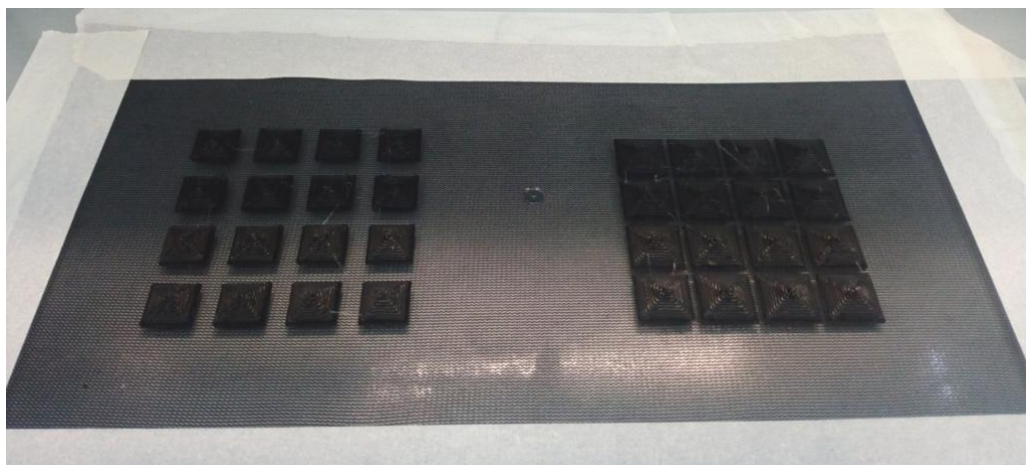
Esittelin aiemmin työssäni esiintyneet 3D-tulostuskokeilut Kouvolan teatterin puvuston työntekijöille sekä Peter Pan -näytelmän pukusuunnittelijalle. Pukusuunnittelija Sari Suominen pyysi minua valmistamaan seuraavaa tapaamista varten näytteen, jossa mustasta PLA-muovista oli tulostettu niittejä mustalle kankaalle ja kysyi, olisiko niittejä mahdollista tulostaa hopeanvärisenä. Tämän lisäksi hän osoitti kiinnostusta NinjaFlexista valmistettuihin suomuihin, mutta suomujen ompeleminen käsin kiinni pukuun veisi liikaa aikaa. Kampaaja-maskeeraaja Satu Linerva innostui myös NinjaFlex-suomuista ja halusi käyttää intiaanien peruukeissa NinjaFlexista valmistettuja sulkakoristeita.

Tämän tapaamisen pohjalta lähdin mallintamaan hiuskoristeita, jotka jäljittelivät sulan muotoa. Aloitin realistisemmista sulkamalleista, mutta pian siirryin suunnittelemaan tyylitellympiä sulkamalleja. Tulostin sulkamalleista näytteet PLA-muovista (kuva 29), sillä ajattelin, että fyysisten näytteiden avulla on helpompi hahmottaa sulkien muoto ja koko. Käytin näytteissä PLA-muovia NinjaFlexin sijaan, sillä se on edullisempi materiaali ja PLA-muovia on mahdollista tulostaa nopeammin kuin NinjaFlexia.



Kuva 29 Sulkamallit PLA-muovista (Lindh 2019)

Valmistin näytteet mustista niiteistä mustalla kankaalla (kuva 30) ja selvitin, onko hopeista PLA-muovia saatavilla Prentan nettikaupasta, josta koulumme tilaa 3D-tulostustarvikkeet. Hopeista PLA-muovia löytyi valikoimasta, hinta oli sama kuin muiden PLA-muovien.

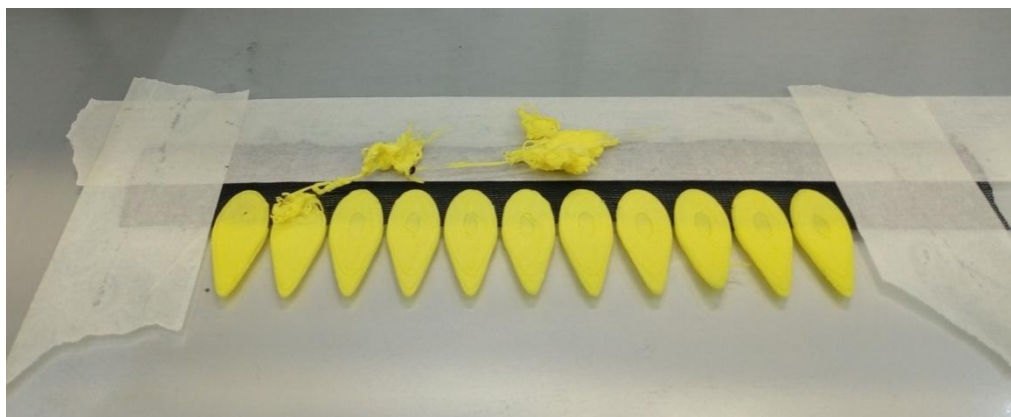


Kuva 30 Mustat niitit mustalla kankaalla (Lindh 2019)

Aloin myös kehittämään suomuideaa. Halusin välttää tukirakenteiden käyttöä ja saada suomut kestävämmän mahdollisimman hyvin kiinni kankaassa, mutta ilman käsinompelua. Sain idean tulostaa suomut nauhan reunaan. Syntyneen suomunauhan pystyy ompelemaan ompelukoneella kiinni toiseen suomunauhaan tai muuhun kangasmateriaaliin. Kokeilin aluksi tulostaa suomut samalle mustalle kankaalle kuin olin aiemmin tulostanut mustat niittinäytteet. PLA-muovi ei kuitenkaan tarttunut kunnolla kyseiselle kankaalle



ja muovisula liikkui tulostuspään mukana (kuva 31). Kokeilin tulostaa suomuja vielä uudestaan samalle kankaalle hitaammalla tulostusnopeudella. Vaikka tulostus onnistui nyt paremmin, osa suomuista oli silti edelleen heikosti kiinni (kuva 32). Kokeilin seuraavaksi tulostaa valkoiselle pitsikankaalle ja tuloste onnistui täydellisesti (kuva 33).



Kuva 31 Epäonnistunut suomunauhakoe (Lindh 2019)



Kuva 32 Suomunauha mustalla kankaalla, koe 2 (Lindh 2019)



Kuva 33 Suomunauha pitsillä (Lindh 2019)

Kun olin saanut nämä uudet testit valmiiksi, vierailin uudestaan teatterilla ja jätin näytteet sinne tutkittavaksi. Kampaaja-maskeeraaja Linerva valitsi

sulkamalleista mieleisensä ja ehdotti malliin pientä muutosta: sulkien kärkien pyöristämistä, jotta ne eivät pistäisi ketään vahingossa silmään. Tämän lisäksi valituissa malleissa oli liian pienet reiät neulaa varten, joten reiät piti mallintaa uusiksi. Pukusuunnittelija Suominen oli kiinnostunut suomunauhojen käytöstä intiaanien pukujen koristeena. Ehdotin, että suomuista tehtäisiin sulkien tapaan litteitä ja ohuita. Tämä kävi pukusuunnittelijalle.

Mallinsin suomujen muotoisen, litteän kappaleen ja tein valittuun sulkamalliin tarvittavat muutokset. Tein myös maalauskoikeita NinjaFlexille, jota tulen käsittelemään tulosteiden ominaisuuksien yhteydessä.

Valmistin samasta mallista kaksi eri kokoista sulkaa. Isompi sulka on 10 cm pitkä ja 2 cm leveä, pienempi puolestaan 7 cm pitkä ja 1,5 cm leveä. Korkeutta molemmilla näistä kappaleista on 2 mm. Tulostin aluksi yhden ison ja yhden pienen sulan nähdäkseni täytyykö sulkien 3D-malleihin tehdä muutoksia. Muutoksia ei tarvittu ja pääsin tulostamaan loput sulista.



Kuva 34 Sulat NinjaFlexista (Lindh 2019)

Päätin tulostaa loput sulat kahdessa erässä. Molemmissa tulostuserissä oli seitsemän pientä ja seitsemän isoa sulkaa. Kun aloin tulostamaan ensimmäistä 14 sulan erää, huomasin, että tulostus ei sujunut hyvin, joten

muutin tulostusasetuksia. Säädin tulostusasetuksista kerroskorkeuden aiemmin käyttämästäni 0,1 millimetristä 0,2 millimetriin. (Kuva 34.)

Taulukko 1 NinjaFlex-sulat (Lindh 2019)

Sulat 7+7	Korkeus	Tulostusaika	Paino	Hinta: (NinjaFlex 99,80 €/kg)
1.	2 mm	4 t 5 min	27,71 g	2,77 €
2.	1,6 mm	5 t 20 min	21 g	2,10 €

Ensimmäisen 14 sulan erän yhteispainoksi tuli 27,71 g. Tulostamiseen meni aikaa 4 tuntia ja 5 minuuttia. Halusin pienentää tulostamiseen kuluvaan aikaa, joten tulostin seuraavan 14 sulan erän 1,6 mm korkuisena aiemman 2 mm korkeuden sijaan. Ajattelin, että 0,4 mm muutos korkeudessa ei muuttaisi merkittävästi lopullisen tulosteen ulkonäköä tai kestävyyttä, mutta se vähentäisi tulostukseen kuluvaan aikaa.

Vaikka Simplify3D ohjelman arvio tulostukseen kuluvaan ajasta oli näille 1,6 mm paksuille kappaleille pienempi ja teoriassa niiden tulostamiseen olisi pitänyt mennä vähemmän aikaa, sillä nyt tulostettavia kerroksia oli vähemmän, käytännössä kuitenkin jälkimmäiseen tulostuskertaan kului 1 tunti ja 15 minuuttia enemmän aikaa kuin ensimmäiseen tulostuskertaan (taulukko 1). Syy siihen, miksi tulostamiseen meni kauemmin, jäi epäselväksi. Mahdollinen syy saattoi olla, että tulostin lämpeni toisella tulostuskerralla hitaammin.

28 valmiin sulkakoristeen yhteispainoksi tuli 48,71 g. Jos kilohintana käytetään Prentan nettikaupan 99,80 €/kg niin sulkien yhteishinnaksi tulisi 4,87€.

Otin yhteyttä Kouvolan teatteriin ja sovin tuovani valmiit sulat teatterille seuraavana päivänä. Suomunauhojen valmistus päätettiin tiputtaa pois, joten jäljellä oli enää vain näyteportfolion rakentaminen.



### 5.3 Tulosteiden ominaisuudet

Tässä luvussa esittelen tekemäni havainnot valmistamani 3D-tulosteiden ominaisuuksista. Grounded Theory -menetelmän mukaisesti olen muodostanut väittämäni havainnoimalla keräämäni aineiston pohjalta.

#### Tulostuslaatu



Kuva 35 Hieno vs. normaali tulostuslaatu. Vasemmalla on hieno, oikealla normaali tulostuslaatu. (Lindh 2019.)

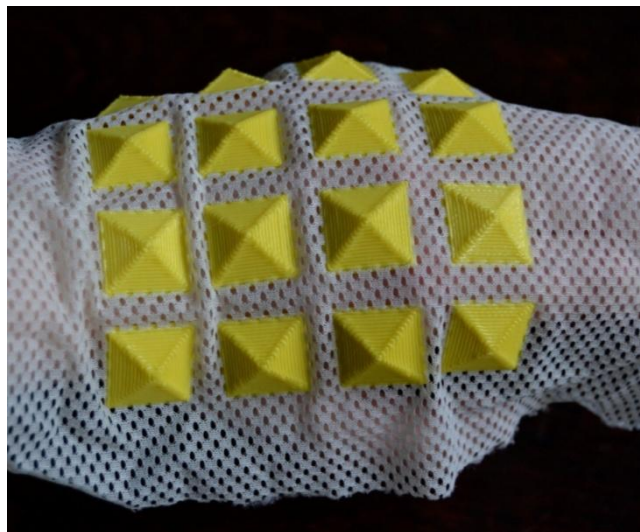
Tulostaessa hienolla laadulla tulostin pursottaa tulostusmateriaalia ohuempana nauhana kuin normaalilla laadulla tulostaessa. Tällöin tulostamiseen menee enemmän aikaa, mutta tulosteen pinnasta tulee sileämpi ja pienet yksityiskohdat onnistuvat paremmin (kuva 35). Mitä ohuempi tulosteen kerrospaksuus on, sitä hienompi tulosteen laatu on.

Tulosteiden pintaan jää kuitenkin aina näkymään tulostuskerrokset ja täysin sileäksi sen saa ainoastaan käsittelemällä tulosteen pintaa esimerkiksi hiomalla, liuottimien avulla tai pinnoittamalla tulostetta.

## Liikkuvuus ja jousto

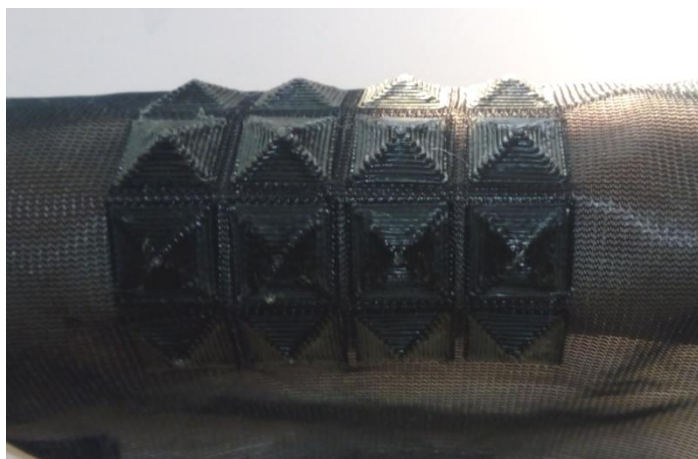


Kuva 36 Niitit kankaalla 1 (Lindh 2019)



Kuva 37 Niitit kankaalla 2 (Lindh 2019)

Suunnitellessa 3D-tulostetta, jonka on tarkoitus tulla kankaan pinnalle, pitää ottaa huomioon, että PLA-muovinen tuloste ei joustu tai taivu. 3D-tulostettujen osien koko, muoto ja asettelu vaikuttavat siihen, kuinka 3D-tulostein koristeltu kangas käyttäytyy. Valmistamissani niitikokeissa niitit olivat tarpeeksi pieniä ja kangas pääsi taipumaan. Niittien tiheydellä oli kyseisissä testeissä vaikutusta vain kankaan pinnan ulkonäköön. (Kuvat 36–39.)



Kuva 38 Mustat niitit kankaalla 1 (Lindh 2019)



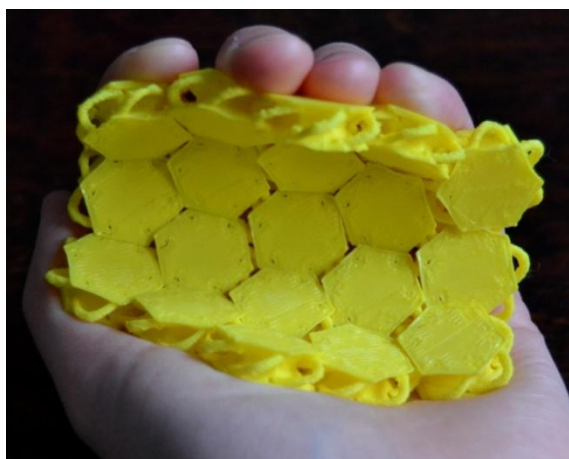
Kuva 39 Mustat niitit kankaalla 2 (Lindh 2019)

Kokeilussa, jossa pitsille on tulostettu kahdeksansakaraisia tähtiä, sakarat jäivät töröttämään, kun kangasta taittoi pieneksi (kuva 40). Tähtien väliin jäävä kangas myös rypistyi hieman, kun näyte aseteltiin ranteen ympärille.





Kuva 40 Tähdet pitsillä (Lindh 2019)



Kuva 41 Hexa Chainmail taivutus 1 (Lindh 2019)



Kuva 42 Hexa Chainmail taivutus 2 (Lindh 2019)

Hexa Chainmail -mallinen haarniskamateriaali taipui vähiten, koska osien liikkuvuus oli rajoitettua. Taivuttaessa näytettä kahden vierekkäisen kuusikulmion välille jää noin 120–130 asteen kulma ja neljän kuusikulmion rivistä muodostuu puoliympyrä. (Kuvat 41 ja 42.)

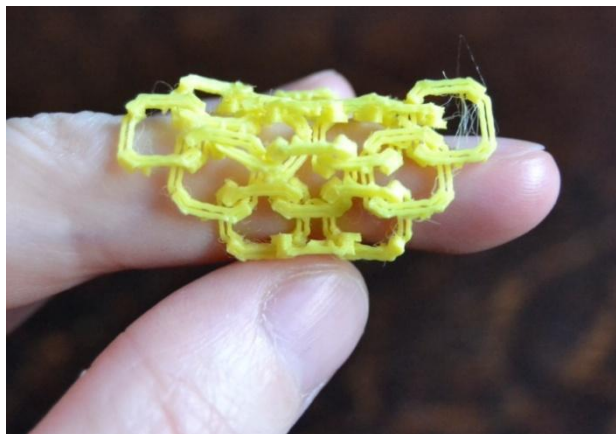


Kuva 43  
Rengashaarniska 1  
(Lindh 2019)



Kuva 44 Rengashaarniska 1 pöydällä (Lindh 2019)

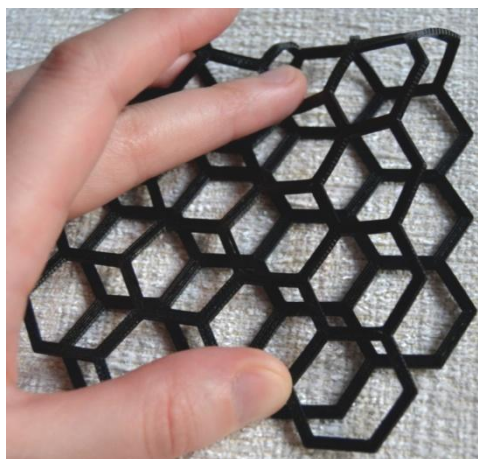
Rengashaarniskamateriaaleissa osat pääsivät liikkumaan hyvin ja näytteet oli mahdollista puristaa pieneksi kasaksi (Kuvat 43–46).



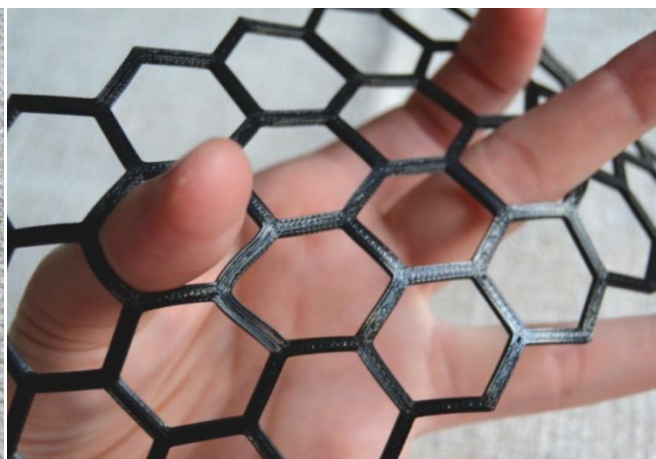
Kuva 45 Rengashaarniska 2 (Lindh 2019)



Kuva 46 Rengashaarniska 2 pöydällä (Lindh 2019)

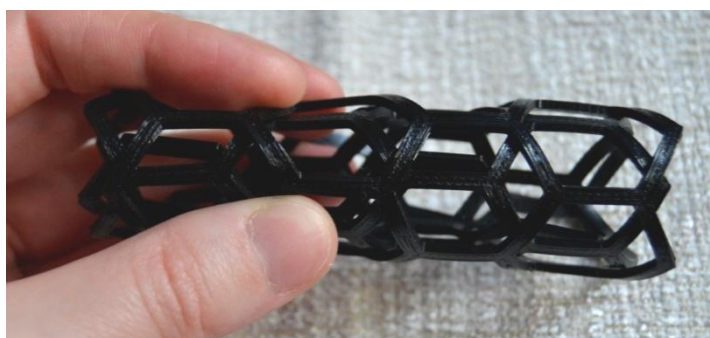


Kuva 47 NinjaFlex-verkon taivuttaminen (Lindh 2019)



Kuva 48 NinjaFlex-verkon venyttäminen (Lindh 2019)

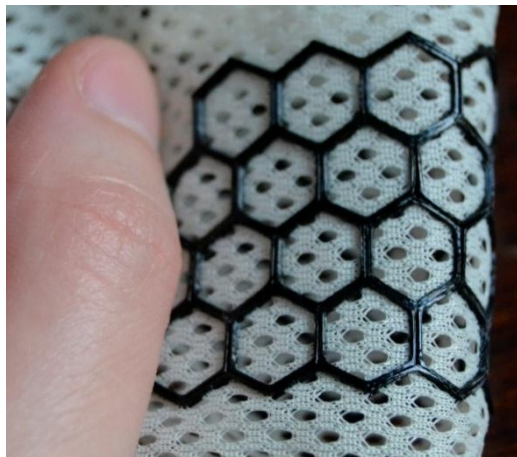
NinjaFlexista tulostettu verkko taipui (kuva 47) ja venyi (kuva 48). NinjaFlex materiaalina ei kuitenkaan veny vaan tulosteen venymisen mahdollisti sen malli: venyttäessä verkkoa kuusikulmion muotoiset kappaleet muuttuivat suorakulmioiksi. NinjaFlexista tulostetun verkon pystyi käärimään pieneksi rullaksi (kuva 49). Kun kappaleen päästi vapaaksi, se palautui alkuperäiseen muotoonsa.



Kuva 49 Rullattu NinjaFlex-verkko (Lindh 2019)



Kankaalle tulostettu NinjaFlex-verkko taipui (kuva 50) ja jousti (kuva 51) kankaan mukaisesti.



Kuva 50 NinjaFlex-verkko kankaalla taivuttaminen (Lindh 2019)



Kuva 51 NinjaFlex-verkko kankaalla jousto (Lindh 2019)



Kuva 52 NinjaFlex-suomun taivuttaminen (Lindh 2019)

NinjaFlexista tulostetut suomut taipuivat muiden NinjaFlex-tulosteiden tapaan (kuva 52). Kankaalle ommellut suomut asettuivat toistensa päälle käden ollessa suorana, mutta sormia taivuttaessa suomut nousivat pystyyn (kuvat 53–55).



Kuva 53 NinjaFlex-suomut kädellä 1 (Lindh 2019)



Kuva 54 NinjaFlex-suomut kädellä 2 (Lindh 2019)



Kuva 55 NinjaFlex-suomut kädellä 3 (Lindh 2019)

### **Tuntuma**

PLA-muovi ja NinjaFlex ovat molemmat kevyitä materiaaleja. PLA-muovi on kovaa. Tulosteiden pohjat ovat sileitä, mutta päällimmäinen kerros on karhea ja tuntuu epämiellyttävältä ihoa vasten. NinjaFlex puolestaan on kumimaisen oloista ja miellyttävämmän tuntuista ihoa vasten kuin PLA-muovi.

### **Kestävyys**

Ohuet PLA-muovista valmistetut esineet pystyy katkomaan käsin. NinjaFlex puolestaan kestää hyvin taivuttelua sen jouston ansiosta.

Kangasta ja PLA-muovia yhdistäessä lopputuotteen kestävyys vaikuttaa myös se, millaista kangasta on käytetty. Jos tuloste ei tartu kunnolla kankaan pintaan tai kangas on haurasta, myös lopullinen tuote on helposti hajoava.

## Ääni

PLA-muoviset tulosteet tuottavat kilisevää ääntä osuessaan toisiinsa tai muuhun kovaan materiaaliin. Esimerkiksi rengashaarniskamateriaalinäytteet kilisevät, kun niitä heiluttaa. Kuitenkin, kun näyte on kiristettynä ihoa vasten, näytteestä ei lähde kovinkaan paljon ääntä. NinjaFlexista valmistetuista näytteistä lähtevä ääni on paljon vaimeampi.

## Tulosteen pintakäsittely



Kuva 56 Spraymaali PLA-muovilla (Lindh 2019)



Kuva 57 Akryyli maali ja lakka PLA-muovilla (Lindh 2019)

PLA-muovisten tulosteiden pintaa on mahdollista käsitellä hiomalla ja maalaamalla. Spraymaali (kuva 56) sekä akryyli maali (kuva 57) molemmat tarttuvat hyvin PLA-muoville. Koska PLA-muovi ei jousta, maali ei pääse lohkeilemaan ja rapisemaan irti tulosteesta.



Kuva 58 Maalauskoekilut NinjaFlexilla. Vasemmalta oikealle: 1. Akryyli maali 2. Gesso ja akryyli maali 3. Spraymaali, 4. Spraymaali ja akryyli maali 5. Öljy maali (Lindh 2019)

NinjaFlexissa maalit eivät kestä kiinni yhtä hyvin kuin PLA-muovissa. Kokeilin maalata NinjaFlexia akryylilla, spraymaalilla sekä öljyvärimaalilla. Pohjustin yhden akryylilla maalattavan kokeen gessolla, toisen spraymaalilla ja kolmannessa olin käyttänyt pelkkää akryyliä. Öljymaalien kuivumiseen meni useita viikkoja, joten sitä ei ole järkevää käyttää tähän tarkoitukseen. Kokeessa, jossa oli käytetty pelkkää spraymaalia, maali rapisi irti, kun tulostetta väänteli. (Kuva 58.)

Parhaiten maali kesti tulosteissa, joissa oli akryylimaalia, etenkin spraymaalilla ja gessolla pohjustetut kokeilut onnistuivat hyvin. Akryylimaali lähti irtoamaan vain, jos koepalaa taivutteli voimaa käyttäen molempiin suuntiin. Normaalissa käytössä kuitenkin se tulisi kestävänsä hyvin tulosteen pinnassa ja kohdat, joista maali on irronnut voi korjata maalaamalla ne uudestaan. (Kuva 58.)

### **Huolto**

Kokeilin PLA-tulosteen pesua keittämällä saippuavettä kattilassa. Lämpötila, jossa PLA-muovi lähtee taipumaan on noin 60 °C, joten suositeltavaa olisi pitää pesulämpötila alle 40 °C. PLA-muovi kuitenkin on kovaa ja saattaa vahingoittaa kangasta konepesussa, joten PLA-tulosteita sisältäviä puvunusia ei kannata pestä pesukoneessa vaan ne vaativat käsinpesun.

PLA-muovi on biohajoavaa, joten sitä tulisi säilyttää kuivassa ja huoneenlämmössä. Jos muovi pääsee kuumenemaan liikaa, se myös alkaa sulaa.

En tässä tutkimuksessa testannut, miten NinjaFlex-materiaali käyttäytyy pesussa. Polyuretaania, josta NinjaFlex on valmistettu, kuitenkin käytetään vaatetuksessa esimerkiksi tekonahoissa, joten siihen pätee melko varmasti samat pesu- ja hoito-ohjeet kuin muihin polyuretaanista valmistettuihin tuotteisiin.

### **Materiaalikulut**

Tavallisen PLA-muovin hinta on noin 22–25 €/kg. NinjaFlexin kilohinta on noin 100 €/kg. 3D-tulosteissa käytetyt materiaalit ovat kuitenkin kevyitä.

Esimerkiksi kuvan 56 koristekulkusen paino tukirakenteineen oli 44,62 g.

Kulkunen on noin 4,5 cm korkea ja sisältä ontko. Käyttämäni PLA-filamentin



kilohinta on 21,90 €, joten valmiin tulosteen hinnaksi tuli 0,98 €. Aiemmin työssä esittelemieni NinjaFlexista valmistetuiden sulkakoristeiden yhteispainoksi tuli 48,71 g. Kun käytetyn filamentin kilohinta oli 99,80 € niin näiden 28 sulan yhteishinnaksi tuli 4,87€ eli noin 0,17€ kappaleelta.

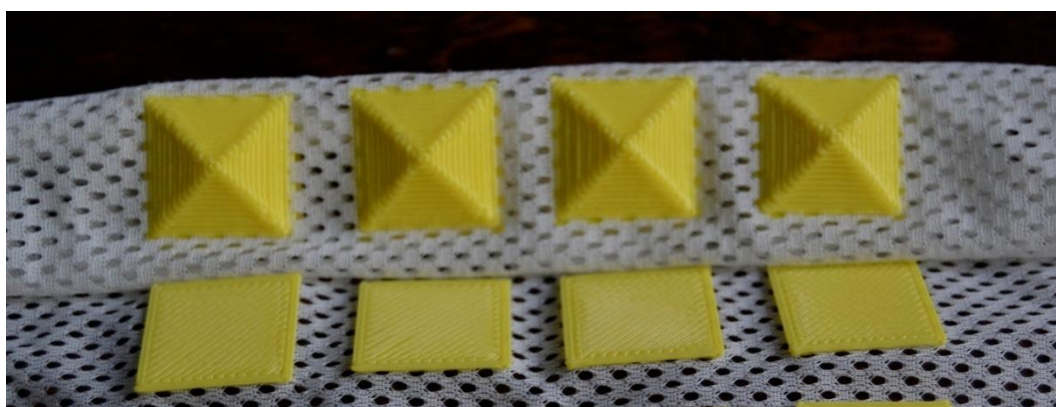
Otin vertailukohteeksi Kankaita.com-verkkokaupasta löytyvän polyesterinapin. Se on läpimitaltaan 15 mm ja hintaa napilla oli 0,90 € (Fabfab GmbH, 2019). 3D-tulostuksen hyödyntämisestä puvustuksessa ei synny suuria lisäkuluja vaan yksittäiset asusteet ja osat saattavat tulla jopa halvemmiksi kuin kaupasta ostetut. Laskelmissa ei ole kuitenkaan huomioitu tulostimen hankintakustannuksia.

## 5.4 Materiaalien yhdistäminen

### 3D-tulosteet kankaalle

3D-tulostusta voi yhdistää kankaaseen joko tulostamalla suoraan kankaalle tai tulostamalla osia, jotka kiinnitetään kankaaseen esimerkiksi ompelemalla tai liimaamalla. Jos 3D-tulostetun osan haluaa kiinnittää kankaaseen ompelemalla, siihen täytyy mallintaa reikiä tai kiinnitysrenkaita, joista neula mahtuu läpi.

### Tulostaminen kankaalle



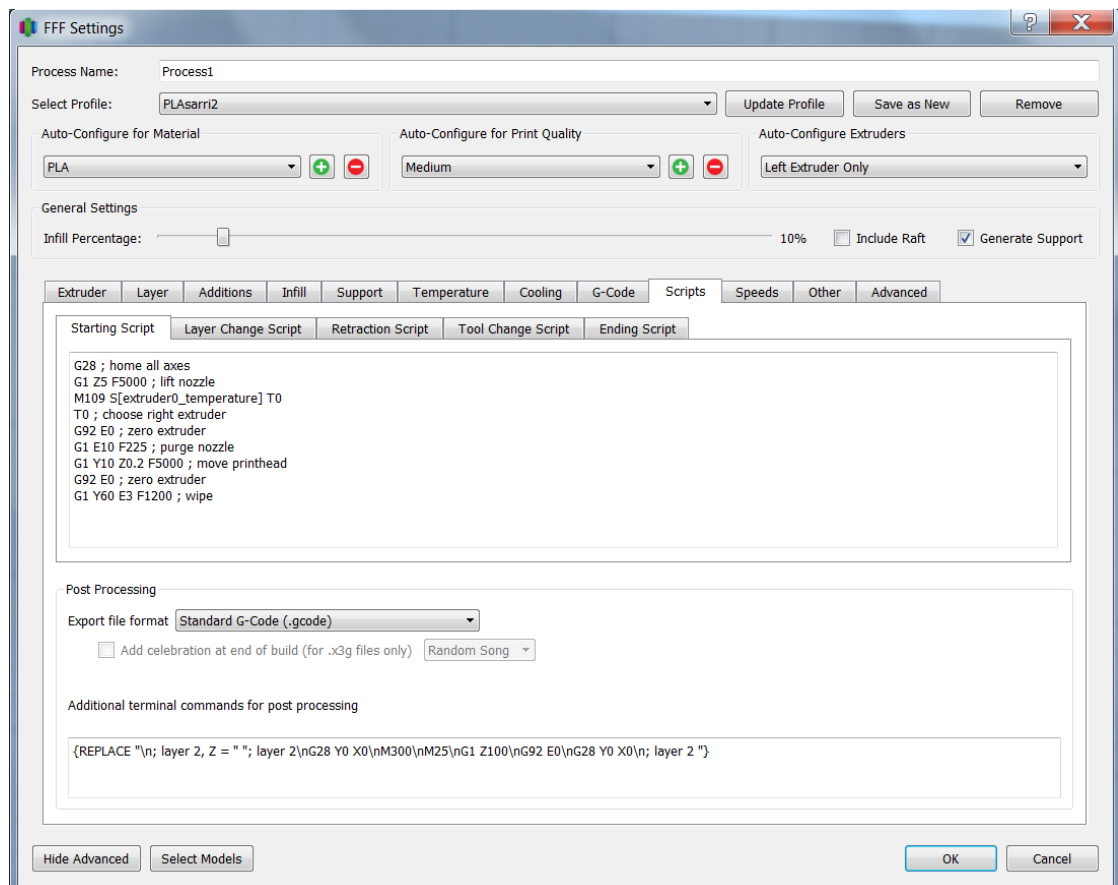
Kuva 59 Kangas 3D-tulosteen välissä (Lindh 2019)

3D-tulostaessa kankaalle, kangas jää tulosteen väliin (kuva 59). Jotta kangas saataisiin lisättyä tulostuksen välissä, tulostin täytyisi saada pysäytettyä kokonaisen kerroksen tulostamisen jälkeen, ennen uuden kerroksen tulostamisen aloittamista. Tämä onnistuu tulosteen G-koodia muokkaamalla.

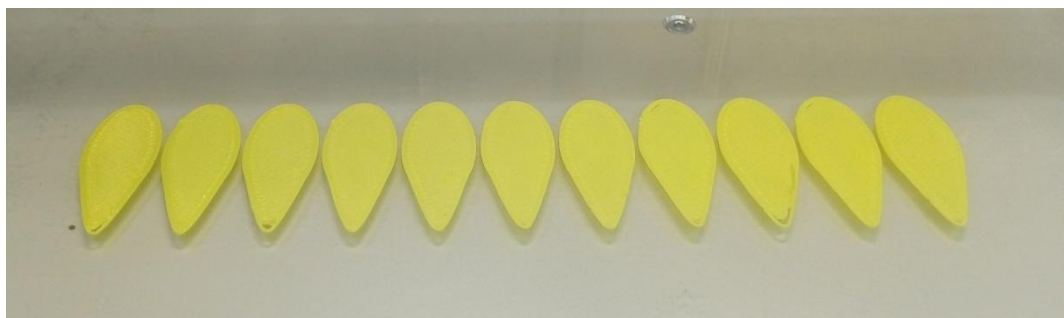
Simplify3D:ssa tulostusasetuksista löytyy ”Scripts”-osio. ”Additional terminal commands for post processing”-kenttään syötetään seuraava koodi:

```
{REPLACE "\n; layer 2, Z=" "; layer 2\nG28 Y0
X0\nM300\nM25\nG1 Z100\nG92 E0\nG28 Y0 X0\n; layer 2 "}
```

Tämän koodin avulla voidaan säätää, kuinka monta kerrosta tulostetaan. Koodissa oleva layer on se kerros, jota ennen tulostus pysäytetään. Jos koodissa lukee ”layer 2” se tarkoittaa, että tulostin tulostaa yhden kerroksen ja pysähtyy ennen kuin aloittaa tulostamaan toista kerrosta. (Kuva 60.)



Kuva 60 Scripts Simplify3D:ssa (Lindh 2019)



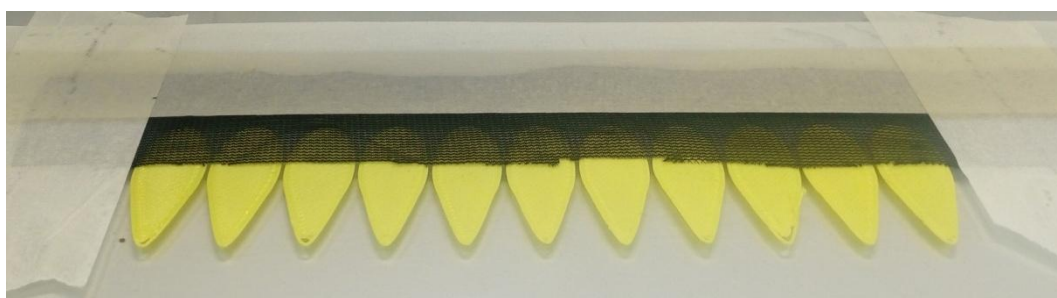
Kuva 61 Ensimmäiset kerrokset tulostetaan suoraan tulostusalustalle (Lindh 2019)

Aluksi tulostetaan yksi tai kaksi kerrosta tavalliseen tapaan tulostusalustan päälle (kuva 61).

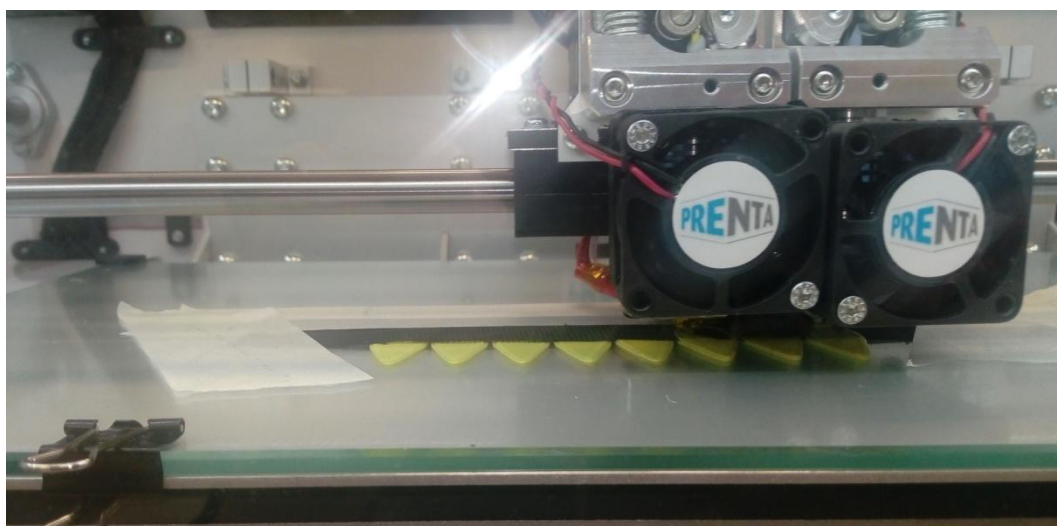


Kuva 62 Kangas asetetaan aiemmin tulostettujen kerrosten päälle (Lindh 2019)

Tulostin pysähtyy ja väliin asetetaan kangas (kuva 62). Kangas teipataan kiinni tulostusalustaan (kuva 63).



Kuva 63 Kangas teipataan kiinni tulostusalustaan (Lindh 2019)



Kuva 64 Tulostin tulostaa loput kerrokset kankaan päälle (Lindh 2019)

Kun kangas on kiinnitetty tulostusalustaan, tulostusta jatketaan. Prentan Duo XL 3D-tulostimella tulostusta jatketaan valitsemalla laitteen näyttöruudun valikosta SD-kortti. SD-kortin valikosta löytyy ”jatka tulostusta”-vaihtoehto.

Tulosteen loput kerrokset tulostuvat tulostinalustaan teipillä kiinnitetyn kankaan päälle (kuva 64). Tulostusmateriaali pursuaa kankaan aukoista läpi ja kiinnittyy kankaan alla olevaan tulostusmateriaaliin. Valmiissa tulosteessa kangas jää tulosteen sisään (kuva 65).



Kuva 65 Valmis tuloste (Lindh 2019)

### Tulostaminen kahdella eri materiaalilla



Kuva 66 Musta NinjaFlex ja valkoinen PLA-muovi (Lindh 2019)

3D-tulostimilla, joissa on kaksi suutinta, on mahdollista tulostaa kahta eri materiaalia, kuten esimerkiksi NinjaFlexia ja PLA-muovia (kuva 66). Jos tulostaessa haluaa käyttää kahta suutinta, tulostettavan esineen malli täytyy olla myös jaettu omiksi malleikseen käytettäviä materiaaleja varten. Kahta eri materiaalia tulostaessa kannattaa erityisesti kiinnittää huomiota siihen, että kummankin materiaalin tulostusasetusprofiileissa suuttimien lämpötilat on säädetty oikein ja tulostusnopeus on molemmissa suuttimissa sama. Jos tulostusasetuksissa on jotain ristiriitaisuuksia, tulostus ei onnistu.

## 5.5 Näyteportfolion kokoaminen

Valmistin portfolio 3D-tulostuskokeiluista (liite 3) kolmena kappaleena, yhden Kouvolan teatterille, yhden Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoululle ja yhden itselleni. Portfoliossa on yhteensä 19 sivua. Ensimmäiset 16 sivua muodostavat portfolion kirjallisen osuuden ja kolmelta viimeiseltä, numeroimattomalta sivulta löytyvät fyysiset tulostusnäytteet.

Heti kansilehden jälkeen on sisällysluettelo. Portfolion ensimmäinen luku on työtekniikat, luvun alaotsikoita ovat Tulostaminen kankaalle sekä Muut tavat yhdistää kangasta ja 3D-tulostusta. Tässä luvussa kerrotaan, kuinka 3D-tulostaminen kankaalle tapahtuu ja mitä muita tapoja on kiinnittää 3D-tulosteita kankaalle.

Seuraavassa luvussa Tulostusmateriaalit, esitellään lyhyesti testitulosteissa käytetyt PLA-muovi sekä NinjaFlex. Tämän lisäksi luvussa on listattu muita 3D-tulostuksessa käytettäviä materiaaleja, joita tässä työssä ei tarkemmin käsitellä.

Tulostusmateriaalien käsitellään lyhyesti 3D-tulostuksella koristellun kankaan ominaisuuksia. Jälkikäsitteily-luvussa puolestaan kerrotaan tulosteiden pinnan käsitteystä hiomalla ja maalaamalla. Huolto ja säilytys luvussa kerrotaan, kuinka 3D-tulosteita sisältävät puvunosat tulisi säilyttää ja pestä.

3D-mallien hankkiminen luvussa kerrotaan, että 3D-malleja voi valmistaa itse, tilata muilta tai etsiä valmismalleja Internetistä esimerkiksi Thingiverse-sivustolta. Samalla portfolion sivulla on myös kerrottu 3D-tulostusmahdollisuuksista Kouvolassa sekä 3D-tulosteiden tilaamisesta Internetistä.

Työn lopussa on luku Testitulosteet, jonka alussa esitellään testitulosteita, joista ei ole fyysisiä näytteitä. Tällaisia testitulosteita ovat haarniskamateriaalit sekä toimiva hammasrataskoneisto kankaan pinnalla. Näiden jälkeen on lista portfoliosta löytyvistä näytteistä numerojärjestyksessä. Kuvien avulla on helppo löytää oikea näytepala. Lisäksi jos näytepalat irrotetaan paperista tai ne katoavat, myös pelkkien kuvien avulla saa hyvän kuvan tehdyistä



testitulosteista. Kuvien vieressä on tekstiä, jossa kerrotaan testitulosteista tehdyt huomiot.

Kolme viimeistä, numeroimatonta sivua sisältävät fyysiset näytteet. Näytteiden yläreuna on ommeltu kiinni paksuun paperiin. Näin kiinnitettynä näytteet kestävät hyvin kiinni paperilla ja näytteitä on mahdollista tunnistella, käännellä sekä tarkastella myös näytteiden nurjaa puolta. Näytteet on numeroitu ja nimetty.

## 6 LUOTETTAVUUS

### 6.1 Lähteiden luotettavuus

3D-tulostaminen on suhteellisen tuore aihe, joten siihen liittyvää kirjallisuutta on vielä melko vähän. Suomeksi painettua kirjallisuutta aiheesta ei ole tällä hetkellä helposti saatavilla, joten olen käyttänyt lähteenä englanninkielistä kirjallisuutta sekä Internet-lähteitä. Olen pyrkinyt käyttämään työssäni mahdollisimman luotettavia ja ajankohtaisia lähteitä.

Pääasialliset lähteeni ovat olleet englanninkieliset *3D Printing For Dummies* ja *Fabricated: The New World of 3D Printing* kirjat. Tutkimusmenetelmien selittämiseen olen käyttänyt Pirkko Anttilan teosta *Tutkiva toiminta ja ilmaisu*, teos, tekeminen.

Internet-lähteinä olen käyttänyt yritysten virallisilta nettisivuilta löytyviä tietoja käsitellen heidän valmistamiaan tuotteita, kuten 3D-tulostimia, tulostusmateriaaleja sekä tietokoneohjelmia. Tämän lisäksi olen käyttänyt lähteenä erilaisten yhdistysten, kuten Muoviteollisuus Ry:n sivuilta löytyvää tietoa apuna käsitteiden selittämiseen. Olen turvautunut internetlähteisiin, kun tarvittavaa tietoa ei ole löytynyt kirjoista tai esimerkiksi englanninkieliselle sanalle on täytynyt etsiä suomen kielessä käytettävä vastaava termi.

Käsitelistassa on kaksi käsitettä, layer ja tukirakenne, joissa ei viitata lähteeseen. Käsitteen layer olen selittänyt käsitteen päättelyn pohjalta eikä käsitteen määritelmää välttämättä löydy kirjoitettuna mistään. Layer on suoraan suomennettuna taso, mutta halusin vielä täydentää, että 3D-tulostaessa layer tarkoittaa tulostuskerrosta. Myös tukirakenne-käsite on suora käännös ja olen selittänyt omin sanoin, mitä kyseisellä käsitteellä tässä työssä tarkoitetaan.

Olen yrittänyt välttää Wikipedian käyttämistä lähteenä, mutta en löytänyt käsitteen vahvikerengas määritelmälle muuta lähdeä ja arvelin, että on parempi käyttää Wikipediaa lähteenä käsitteen määritelmässä kuin jättää se kokonaan ilman lähdeviitettä.

## 6.2 Päätelyn luotettavuus

Työn aiheena rajaaminen ja otsikon keksiminen oli vaikeaa, sillä halusin luoda materiaaliportfoliosta mahdollisimman kattavan ja teatteripuvustusta palvelevan. Olin jo varhaisessa vaiheessa päättänyt, että halusin erityisesti tutkia 3D-tulostamista kankaalle, mutta halusin sisällyttää portfolioon myös muita teatteripuvustajalle hyödyllisiä näytteitä.

Vaihdoin otsikon moneen kertaan, mutta lopulta päädyin pääotsikkoon ”3D-tulostuksen mahdollisuudet teatteripuvustuksessa” sekä alaotsikkoon ”3D-tulostus kankaalle”, sillä yhdessä nämä otsikot tiivistävät hyvin tutkimukseni aiheen.

Työn teoriaosuudessa esittelin lyhyesti käyttämiäni ohjelmat, materiaalit ja 3D-tulostimen ja sen toiminnan. Keskityin kertomaan vain työn kannalta olennaisen taustatiedon mahdollisimman tiiviisti ja helposti ymmärrettävästi. Olen määrittänyt työssä käytetyt käsitteet mahdollisimman selkeästi.

Rajasin työstä tietoisesti pois esimerkiksi sen, miten 3D-tulostusta on jo hyödynnetty teatteripuvustuksessa. Päätin myös työn produktiivisessa osassa jättää pois tarkemman selostuksen 3D-mallinnuksesta ja kerroin vain olennaisen tiedon 3D-mallintamiseen liittyen.

Työn tutkimuskysymys on: Kuinka valmistaa teatteripuvun osia kangasta ja 3D-tulostusta yhdistäen. Alakysymys on: Millaisia ominaisuuksia näillä 3D-tulostusta ja kangasta yhdistävillä puvunosilla on. Tutkimukseni vastasi työn alussa asettamiini tutkimuskysymyksiin ja pysyi tiukasti aiheessa. Koen siis työni rajauksen onnistuneeksi.

## 6.3 Prosessin uskottavuus ja dokumentointi

Olen tehnyt muistiinpanoja työskentelyn aikana vihkoon. Muistiinpanoista löytyy muun muassa tulostusajat sekä työskentelyn aikana tekemäni havainnot. Olen myös kirjoittanut muistiinpanoihin ylös ideoita siitä, mitä voisin testata seuraavaksi ja mitä minun täytyy muistaa seuraavia kokeita tehdessäni. Olen hyödyntänyt tekemiäni muistiinpanoja myöhemmin portfolioa kootessa sekä työn produktiivisen osuuden raportoinnissa.



Olen dokumentoinut työtäni runsaasti valokuvaamalla. Kattavat valokuvat antavat lukijalle mahdollisuuden tehdä omia havaintoja

3D-tulostuksen hyödyntäminen puvustuksessa on vielä suhteellisen vähän tutkittu aihe. Olen pyrkinyt kuvaamaan työskentelyäni mahdollisimman tarkasti, jotta lukija voi halutessa toistaa tekemäni testit sekä verrata saamiaan tuloksia tämän tutkimuksen tuloksiin.

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

Työn alussa esitettiin tutkimuskysymys: ”Miten valmistaa teatteripuvun osia yhdistäen kangasta ja 3D-tulostusta?” sekä sen alakysymys: ”Millaisia ominaisuuksia 3D-tulostusta ja kangasta yhdistävillä puvunosilla on?” Grounded Theory -menetelmän mukaisesti olen muodostanut väittämäni havainnoimalla keräämäni aineiston pohjalta.

3D-tulostamalla on mahdollista koristella kankaita ja luoda esimerkiksi suomupintoja ja rengashaarniskamateriaaleja. Lisäksi sillä voi valmistaa kankaaseen sirkkoja sekä erilaisia kiinnittimiä, kuten nappeja ja solkia.

3D-tulostamalla tulostusmateriaalia on mahdollista yhdistää kankaaseen tulostamalla suoraan kankaalle tai ompelemalla tulosteet kiinni kankaaseen. Kankaalle tulostaessa kangas jää tulostuskerroksien väliin. Käytetyssä kankaassa tulee olla reikiä, joista materiaali mahtuu pursuamaan läpi. Tutkimuksessa huomattiin myös, että jos kankaan pinta on liian liukas, tulostus saattaa epäonnistua. Suurempi merkitys tulostuksen onnistumiselle on siis kankaan sidoksella kuin kankaan kuidulla. Hyväksi todettuja kankaita 3D-tulosteen pohjalle ovat esimerkiksi puuvillaharso ja tylli.

Suunnitellessa 3D-tulostetta, jonka on tarkoitus tulla kankaan pinnalle, pitää ottaa huomioon, että PLA-muovinen tuloste ei jousta tai taivu. 3D-tulostettujen osien koko, muoto ja asettelu vaikuttavat siihen, kuinka 3D-tulostein koristeltu kangas käyttäytyy.

3D-tulostusta hyödyntäen on mahdollista myös valmistaa vaatteiden pinnalle liikkuvia osia ja toimivia koneistoja. Paras tapa toteuttaa tämä, on tulostaa kankaaseen kiinnitystappeja ja tulostaa erikseen muut osat. Erilaisten 3D-tulostettujen kiinnittimien, kuten tappien ja renkaiden, avulla kankaaseen on helpompi yhdistää tukevasti myös muita materiaaleja tai esineitä, kuten esimerkiksi puuta, johtoja, ketjuja ja hammasrattaita.

PLA-muovisia osia ei kannata asettaa suoraan ihoa vasten, sillä ne saattavat tuntua epämukavilta. Suoraan ihoa vasten olevat osat myös likaantuvat

helpommin ja niitä täytyy pestä useammin, joten 3D-tulosteita sisältävät puvunosat olisi hyvä sijoittaa muiden vaatteiden päälle.

PLA-muovia voi pintakäsitellä hiomalla ja maalaamalla. Akryyli- sekä spraymaali kestävät molemmat hyvin PLA-muovin pinnalla. Koska NinjaFlex on taipuisaa, myös sen kanssa käytettävän maalin tulisi olla joustavaa, jottei se rapisi pois. Kevyessä käytössä akryylimaaali kuitenkin kestää NinjaFlexin pinnassa hyvin.

PLA-muoviset tulosteet tuottavat kilisevää ääntä osuessaan toisiinsa tai muuhun kovaan materiaaliin. Tämä kannattaa ottaa huomioon suunnittelussa, sillä teatteripuvuissa kannattaa välttää osia, joista lähtee liikaa ääntä, joka kantautuu esiintyjien mikrofoneihin.

Tavallisen PLA-muovin hinta on noin 22–25 €/kg. NinjaFlexin kilohinta on noin sata euroa. 3D-tulosteissa käytetyt materiaalit ovat kevyitä, joten 3D-tulostuksen hyödyntämisestä ei synny suuria lisäkuluja vaan yksittäiset asusteet ja osat saattavat tulla jopa halvemmiksi kuin kaupasta ostetut.

3D-tulostinta tulee valvoa sen työskennellessä, jotta tulostin olisi mahdollista pysäyttää heti, kun tulostaessa ilmenee jokin ongelma. Kuitenkin 3D-tulostimen työskennellessä on mahdollista samanaikaisesti hoitaa muita töitä. Käytännössä yleensä mahdolliset virheet tapahtuvat tulostuksen alkuvaiheissa, jolloin tulostetta kannattaa valvoa tarkemmin, mutta jos tulostus näyttää sujuvan hyvin, eikä esimerkiksi jokin osa näytä siltä, että se on vaarassa irrota, tulostimen voi jättää työskentelemään yksin pitkäksi aikaa, suositeltavaa kuitenkin olisi silloin tällöin tarkistaa tulostuksen edistyminen. Erityisesti uusia materiaaleja ja tulostusasetuksia käyttäessä sekä monimutkaisia muotoja, kuten pyöreitä esineitä, tulostaessa tulostinta kannattaa valvoa.

Uusia materiaaleja käyttäessä on suositeltavaa ennen varsinaisen työn tulostamista tulostaa pieniä koekappaleita löytääkseen parhaan mahdollisen lopputuloksen takaavat tulostusasetukset.

## 8 POHDINTA

3D-tulostuksen hyödyntäminen teatteripuvustuksessa on vielä suhteellisen vähän tutkittu aihe, sillä 3D-tulostus on noussut pinnalle vasta viime vuosina. Tämä tutkimus tarjoaa hyvän pohjan jatkotutkimuksille. Hyviä tutkimusaiheita olisi esimerkiksi koneistojen rakentaminen esiintymisasuihin 3D-tulostusta hyödyntäen. Lisäksi tätä tutkimusta voi täydentää käsittelemällä esimerkiksi sellaisten tulostusmateriaalien käyttöä puvustuksessa, joihin tässä työssä ei paneuduttu, kuten puu- tai hiilikuitu. Jatkotutkimus voi myös keskittyä tutkimaan syvemmin tässä tutkimuksessa käsiteltyjä aiheita tai jatkaa tässä työssä kesken jääneitä tutkimuksia. Tutkimuksen kohteena voi esimerkiksi olla rengashaarniskamateriaalien suunnittelu ja valmistus tai 3D-tulostaminen sametille.

Sen lisäksi, että tutkimus luo hyvän pohjan muille tutkimuksille, tekemäni tutkimuksen avulla saatua tietoa on mahdollista suoraan hyödyntää teatteripuvustuksessa. Se kertoo teatteripukusuunnittelijalle, millaisia mahdollisuuksia 3D-tulostus voi tarjota puvustukselle, mitä ominaisuuksia 3D-tulosteilla on sekä kuinka 3D-tulostaminen kankaalle tapahtuu.

Valmistin näyteportfoliot Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoululle, Kouvolan teatterille sekä itselleni. Portfolioista on hyötyä Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun nykyisille ja tuleville opiskelijoille sekä Kouvolan teatterin puvuston työntekijöille, sillä he pääsevät tutustumaan portfolioon tulostusnäytteisiin kaikin aistein ja toimii inspiraation lähteenä. Itselle valmistamastani portfolioista puolestaan on hyötyä sellaisissa tilanteissa kun haluan esitellä 3D-tulostusta muille, esimerkiksi tilanteissa, joissa haluan itse käyttää 3D-tulostettuja osia jollekin teatterille suunnittelemassa puvustuksessani.

Kun päätin tehdä opinnäytetyön 3D-tulostuksesta, en ollut itse vielä kertaakaan 3D-tulostanut, joten kaikki 3D-tulostamiseen liittyvä tieto oli minulle uutta, lukuun ottamatta 3D-mallinnusta, jota olin kokeillut jo muutaman kerran ennen työn aloittamista. Kirjallisen aineiston avulla opin esimerkiksi, millaisia erilaisia 3D-tulostimia on olemassa ja kuinka ne toimivat sekä millaisia tulostusmateriaaleja on saatavana FFF-tyyppiselle tulostimelle ja mitkä ovat

näiden materiaalien ominaisuudet. Kokeita tekemällä puolestaan opin tuntemaan, miten eri tulostusmateriaalit käyttäytyvät tulostaessa sekä FFF-tyyppisen 3D-tulostimen ja Simplify3D-ohjelman käytön. Opin myös, millaisia kankaita kannattaa käyttää 3D-tulosteen pohjakankaina ja millaisia ominaisuuksia valmiilla tulosteilla on.

Kokeilin paljon sellaisia asioita, joita koulumme tulostimilla ei ollut aiemmin tehty. Merkittävin näistä oli kankaalle tulostaminen, mutta halusin esimerkiksi myös kokeilla tulostamista NinjaFlexilla, materiaalilla, jota koulussamme ei ollut aiemmin käytetty. Koululle tilattiin NinjaFlexia tätä työtä varten. Tein testitulosteita oikeiden tulostusasetusten löytämiseksi ja olin ensimmäinen, joka onnistui tulostamaan NinjaFlexilla. Kiinnostuksestani NinjaFlexiin seurasi se, että myös muut koulumme 3D-tulostimen käyttäjät pääsivät nyt tutustumaan uuteen materiaaliin.

Tiivistettynä opin tässä työssä kuinka 3D-tulostaminen kankaalle tapahtuu, mitä ongelmia tulostaessa voi tulla vastaan ja kuinka nämä ongelmat ovat ratkaistavissa. Uskon tämän tutkimuksen kautta hankittujen taitojen olevan eduksi oman alan töitä hakiessani ja mahdollisesti myös pystyn hyödyntämään oppimaani työelämässä.

Lopuksi esittelen vielä kaksi tutkimuksen synnyttämää palveluideaa: 3D-mallikirjaston ja puvustukseen erikoistuneen 3D-tulostusyriksen.

### **3D-mallikirjaston perustaminen**

Puvun yksityiskohtia, asusteita ja varaosia voi säilyttää digitaalisessa muodossa ja ne voi tulostaa vasta tarpeen tullen, joten ne eivät tarvitse fyysistä varastointitilaa. 3D-malleja voi muokata ja saman mallin voi tulostaa monessa eri koossa.

3D-tulostamalla voisi esimerkiksi valmistaa kengänpohjia tai jopa kokonaisia kenkiä NinjaFlexista. Jos sopivia kenkiä ei löydy varastossa oikeassa koossa, uudet kengät olisi mahdollista tulostaa juuri oikean kokoisina.

3D-mallikirjaston toteuttamiseen on monia vaihtoehtoja. Jokaisella teatterilla voi olla oma 3D-mallikirjasto tallennettuna tietokoneelle, mutta se voisi olla



myös useamman teatterin käytössä oleva Internet-sivusto, jonne käyttäjät kirjautuvat omilla tunnuksillaan ja pystyvät sitten selaamaan ja lataamaan valmiita malleja omaan käyttöönsä sekä tallentamaan omia mallejaan muiden käyttöön.

3D-mallikirjastoon voisi hankkia 3D-malleja joko palkkaamalla vakituisia 3D-mallintajia tai tilaamalla 3D-malleja muilta yrittäjiltä. Etenkin 3D-mallikirjaston perustamisvaiheessa 3D-mallintajien tarve on suuri.

### **Puvustukseen erikoistunut 3D-tulostusyritys**

Voidakseen hyödyntää 3D-tulostustusta puvustuksen tarpeisiin, 3D-mallintajan ja -tulostajan täytyy myös omata vaateen suunnitteluun ja valmistukseen tarvittavat taidot. En ole tähän mennessä itse löytänyt yhtenkään 3D-tulostuspalveluita tarjoavan yrityksen sivuilta mainintaa siitä, että heiltä voi tilata 3D-tulosteita kankaalla. Vaikka jokin yritys suostuisi 3D-tulostamaan kankaalle, usein näissä työskentelevillä ihmisillä ei ole käsitystä siitä, miten tulosteen muoto esimerkiksi vaikuttaa vaateen istuvuuteen.

3D-tulostusyritys, joka on erikoistunut tulostamaan puvustuksen tarpeisiin vaatisi itselleen siis työntekijöitä, jotka hallitsevat sekä 3D-tulostuksen että vaatteiden valmistuksen. Yritys voisi valmistaa jopa valmiita 3D-tulostusta sisältäviä vaatekappaleita asiakkailleen tai toimittaa tulostetut osat valmiiksi leikattuina, asiakkaan toivomien saumavarojen kanssa. Koska kaikki kankaat eivät ole soveltuvia 3D-tulosteen pohjakankaaksi, voi olla järkevää, että 3D-tulostuspalveluita tarjoava yritys on vastuussa kankaiden hankkimisesta.

Yrityksen kangasvarastosta löytyisi hyväksi havaittuja pohjakankaita ja kankaista olisi mahdollista toimittaa asiakkaalle näytteet. Jos asiakas ei löydä mieleistä kangasta näistä näytteistä, yritys voi tarjota mahdollisuuden esimerkiksi tilata jotain muuta kangasta tai käyttää asiakkaan omaa kangasta edellyttäen, että se soveltuu 3D-tulostuksen pohjakankaaksi ja yrityksellä on mahdollisuus testata tulostamista koepalalle ennen varsinaisen tulosteen valmistamista.

## LÄHTEET

Anttila, P. 2006. Tutkiva toiminta ja ilmaisu, teos, tekeminen. 2.painos.  
Hamina: AKATIIMI Oy.

Fabfab GmbH. 2019. Polyesterinappi hämähäkin verkko. WWW-dokumentti.  
Saatavissa: [https://www.kankaita.com/24-453172-080\\_polyesterinappi-haemaehaekin-verkko.html](https://www.kankaita.com/24-453172-080_polyesterinappi-haemaehaekin-verkko.html) [Viitattu 12.3.2019].

Hitachi. s.a. Production process for polylactic acid (PLA). WWW-dokumentti.  
Saatavissa:  
[https://www.hitachi.com/businesses/infrastructure/product\\_site/ip/process/pla.html](https://www.hitachi.com/businesses/infrastructure/product_site/ip/process/pla.html) [Viitattu 12.1.2019].

Horne, R. & Hausman, K. 2017. 3D Printing For Dummies. E-kirja. 2.painos.  
Hoboken: John Wiley & Sons.

Lehtinen, K. 2014. Sanasto. WWW-dokumentti. Saatavissa:  
[http://www.firpa.fi/html/sanasto\\_html.html](http://www.firpa.fi/html/sanasto_html.html) [Viitattu 31.12.2018].

Lipson, H. & Kurman, M. 2013. Fabricated: The New World of 3D Printing.  
Indianapolis: John Wiley & Sons.

Microsoft. 2019. 3D Builder. WWW-dokumentti. Saatavissa:  
<https://www.microsoft.com/fi-fi/p/3d-builder/9wzdnrcfj3t6?activetab=pivot:overviewtab> [Viitattu 12.1.2019].

Mikkonen, K. 2017. Biopohjainen ja biohajoava muovi – eivät tarkoita samaa.  
WWW-dokumentti. Päivitetty 7.9.2017. Saatavissa:  
<https://www.pakkaus.com/biopohjainen-ja-biohajoava-muovi-eivat-tarkoitaa-samaa/> [Viitattu 31.12.2018].

Muoviteollisuus Ry s.a. Muovisanastoa. WWW-dokumentti. Saatavissa:  
<https://www.plastics.fi/fin/muovitieto/sanasto/> [Viitattu 31.12.2018].

Ninjatek. 2018. Ninjaflex. Saatavissa: <https://ninjatek.com/ninjaflex/> [Viitattu 9.2.2019].

Prenta Oy. 2015a. 3D-tulostin – Mikä se on? WWW-dokumentti. Saatavissa. <https://www.prenta.fi/laitteet-palvelut/3d-tulostimet> [Viitattu 12.1.2019].

Prenta Oy. 2015b. Suurin suomalainen 3D-tulostin on nyt täällä – Prenta Duo XL. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.prenta.fi/index.php/laitteet-palvelut/3d-tulostimet/prenta-duo-xl> [Viitattu 12.1.2019].

Simplify3D. 2019a. Amazing features. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.simplify3d.com/software/features/> [Viitattu 12.1.2019].

Simplify3D. 2019b. G-code tutorial. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.simplify3d.com/support/articles/3d-printing-gcode-tutorial/> [Viitattu 9.1.2019].

MakerBot Industries. 2019. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.thingiverse.com/about/> [Viitattu 31.3.2019].

Tmi filamentti. 2015. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.filamentti.com/tekniset-tiedotPLA/> [Viitattu 12.1.2019].

Wikipedia. 2019. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Vahvikerengas> [Viitattu 21.3.2019].

Winge, T. 2006. Costuming the Imagination: Origins of Anime and Manga Cosplay. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.739.787&rep=rep1&type=pdf> [Viitattu 31.12.2018].

## KUVALUETTELO

Kuva 1: Viitekehys. Lindh, S. 2019.

Kuva 2: 3D-tulosteet tyllin, sifongin ja satiinin pinnalla. Lindh, S. 2019.

Kuva 3 Tuloste sifongin pinnalla. Lindh, S. 2019.

Kuva 4 Valkoinen joustava satiini, sininen joustamaton satiini. Lindh, S. 2019.

Kuva 5 Tulosteet tyllille, joustavalle tyllille, pellavalle ja puuvillaharsolle. Lindh, S. 2019.

Kuva 6 Tähdet pitsillä. Lindh, S. 2019.

Kuva 7 Niittejä urheilukankaalla. Lindh, S. 2019.

Kuva 8 Teräväkärkiset suomet. Lindh, S. 2019.

Kuva 9 Suomuja. Vasen ilman tukirakenteita, oikea tukirakenteilla. Lindh, S. 2019.

Kuva 10 Suomujen pohjat. Vasen ilman tukirakenteita, oikea tukirakenteilla. Lindh, S. 2019.

Kuva 11 Erilaisia haarniskamateriaaleja Thingiversesta. Lindh, S. 2019.

Kuva 12 NinjaFlex-verkko. Lindh, S. 2019.

Kuva 13 Ninjaflex-suomuja. Lindh, S. 2019.

Kuva 14 NinjaFlex kankaalla. Lindh, S. 2019.

Kuva 15 Pienempi NinjaFlex-verkko. Lindh, S. 2019.

- Kuva 16 3D-tulostettuja kiinnitystappeja ja johdon paloja. Lindh, S. 2019.
- Kuva 17 Hammasrattaat 1. testi. Lindh, S. 2019.
- Kuva 18 Hammasrattaat 2. testi. Lindh, S. 2019.
- Kuva 19 Hammasrattaat 2. testi, pohja. Lindh, S. 2019.
- Kuva 20 Hammasrattaat 3.testi 1. Lindh, S. 2019.
- Kuva 21 Kiinnitystapit. Lindh, S. 2019.
- Kuva 22 Päätyosat. Lindh, S. 2019.
- Kuva 23 Hammasrataskoneiston kokoaminen. Lindh, S. 2019.
- Kuva 24 Hammasrattaat 3.testi 2. Lindh, S. 2019.
- Kuva 25 Hammasrattaat 3.testi 3. Lindh, S. 2019.
- Kuva 26 Hammasrattaat 3. testi 4. Lindh, S. 2019.
- Kuva 27 Hammasrattaat 3. testi 5. Lindh, S. 2019.
- Kuva 28 3D-tulostamalla valmistetut vahvikerengaat. Lindh, S. 2019.
- Kuva 29 Sulkamallit PLA-muovista. Lindh, S. 2019.
- Kuva 30 Mustat niitit mustalla kankaalla. Lindh, S. 2019.
- Kuva 31 Epäonnistunut suomunauhakoe. Lindh, S. 2019.
- Kuva 32 Suomunauha mustalle kankaalle, koe 2. Lindh, S. 2019.
- Kuva 33 Suomunauha pitsillä. Lindh, S. 2019.



Kuva 34 Sulat NinjaFlexista. Lindh, S. 2019.

Kuva 35 Hieno vs. normaali tulostuslaatu. Vasemmalla on hieno, oikealla normaali tulostuslaatu. Lindh, S. 2019.

Kuva 36 Niitit kankaalla 1. Lindh, S. 2019.

Kuva 37 Niitit kankaalla 2 . Lindh, S. 2019.

Kuva 38 Mustat niitit mustalla kankaalla 1. Lindh, S. 2019.

Kuva 39 Mustat niitit mustalla kankaalla 2 . Lindh, S. 2019.

Kuva 40 Tähdet pitsillä. Lindh, S. 2019.

Kuva 41 Hexa Chainmail taivutus 1. Lindh, S. 2019.

Kuva 42 Hexa Chainmail taivutus 2. Lindh, S. 2019.

Kuva 43 Rengashaarniska 1. Lindh, S. 2019.

Kuva 44 Rengashaarniska 1 pöydällä. Lindh, S. 2019.

Kuva 45 Rengashaarniska 2. Lindh, S. 2019.

Kuva 46 Rengashaarniska 2 pöydällä. Lindh, S. 2019.

Kuva 47 NinjaFlex-verkon taivuttaminen. Lindh, S. 2019.

Kuva 48 NinjaFlex-verkon venyttäminen. Lindh, S. 2019.

Kuva 49 Rullattu NinjaFlex-verkko. Lindh, S. 2019.

Kuva 50 NinjaFlex-verkko kankaalla taivuttaminen. Lindh, S. 2019.

Kuva 51 NinjaFlex-verkko kankaalla jousto. Lindh, S. 2019.

Kuva 52 NinjaFlex-suomun taivuttaminen. Lindh, S. 2019.

Kuva 53 NinjaFlex-suomut kädellä 1. Lindh, S. 2019.

Kuva 54 NinjaFlex-suomut kädellä 2. Lindh, S. 2019.

Kuva 55 NinjaFlex-suomut kädellä 3. Lindh, S. 2019.

Kuva 56 Spraymaali PLA-muovilla. Lindh, S. 2019.

Kuva 57 Akryylimaali ja lakka PLA-muovilla. Lindh, S. 2019.

Kuva 58 Maalauskokeilut NinjaFlexilla. Vasemmalta oikealle: 1.Akryylimaali  
2.Gesso ja akryylimaali 3.Spraymaali, 4. Spraymaali ja akryylimaali 5.  
Öljymaali. Lindh, S. 2019.

Kuva 59 Kangas 3D-tulosteen välissä. Lindh, S. 2019.

Kuva 60 Scripts Simplify3D:ssa . Lindh, S. 2019.

Kuva 61 Ensimmäiset kerrokset tulostetaan suoraan tulostusalustalle. Lindh,  
S. 2019.

Kuva 62 Kangas asetetaan aiemmin tulostettujen kerrosten päälle. Lindh, S.  
2019.

Kuva 63 Kangas teipataan kiinni tulostusalustaan . Lindh, S. 2019.

Kuva 64 Tulostin tulostaa loput kerrokset kankaan päälle. Lindh, S. 2019.

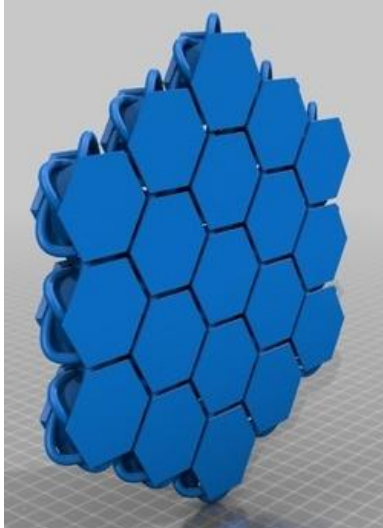
Kuva 65 Valmis tuloste. Lindh, S. 2019.

Kuva 66 Musta NinjaFlex ja valkoinen PLA-muovi. Lindh, S. 2019.

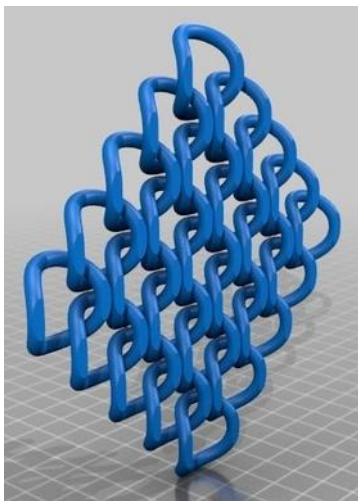
**TAULUKKOLUETTELO**

Taulukko 1: NinjaFlex-sulat. Lindh, S. 2019.

## Thingiversesta ladatut mallit



Deryoshi. 2018. Hexa chainmail – Futuristic Armor. Saatavilla:  
<https://www.thingiverse.com/thing:3240545/files> [Viitattu 14.1.2019].



PlasticBits. 2013. Chainmail. Saatavilla:  
<https://www.thingiverse.com/thing:42850/files> [Viitattu 14.1.2019].



Sterling500. 2014. Desk Toy – Variable Speed Gears. Saatavilla:  
<https://www.thingiverse.com/thing:409124/files> [Viitattu 14.1.2019].



Zomboe. 2011. Chainmail. Saatavilla:  
<https://www.thingiverse.com/thing:8724/files> [Viitattu 14.1.2019].



## NinjaFlex asetukset

FFF Settings

Process Name:

Select Profile:

Auto-Configure for Material:

Auto-Configure for Print Quality:

Auto-Configure Extruders:

General Settings

Infill Percentage:   Include Raft  Generate Support

Extruder **Layer** Additions Infill Support Temperature Cooling G-Code Scripts Speeds Other Advanced

Extruder List  
(click item to edit settings)

Right Extruder  
Left Extruder

### Left Extruder Toolhead

Overview

Extruder Toolhead Index:

Nozzle Diameter:  mm

Extrusion Multiplier:

Extrusion Width:  Auto  Manual  mm

Ooze Control

Retraction

Retraction Distance:  mm

Extra Restart Distance:  mm

Retraction Vertical Lift:  mm

Retraction Speed:  mm/min

Coast at End

Coasting Distance:  mm

Wipe Nozzle

Wipe Distance:  mm

Simplify3D: Tulostuspään asetukset. (Lindh, S. 2019.)

FFF Settings

Process Name:

Select Profile:

Auto-Configure for Material:

Auto-Configure for Print Quality:

Auto-Configure Extruders:

General Settings

Infill Percentage:   Include Raft  Generate Support

Extruder Layer Additions Infill Support Temperature Cooling G-Code Scripts Speeds Other Advanced

Layer Settings

Primary Extruder:

Primary Layer Height:  mm

Top Solid Layers:

Bottom Solid Layers:

Outline/Perimeter Shells:

Outline Direction:  Inside-Out  Outside-In

Print islands sequentially without optimization

Single outline corkscrew printing mode (vase mode)

First Layer Settings

First Layer Height:  %

First Layer Width:  %

First Layer Speed:  %

Start Points

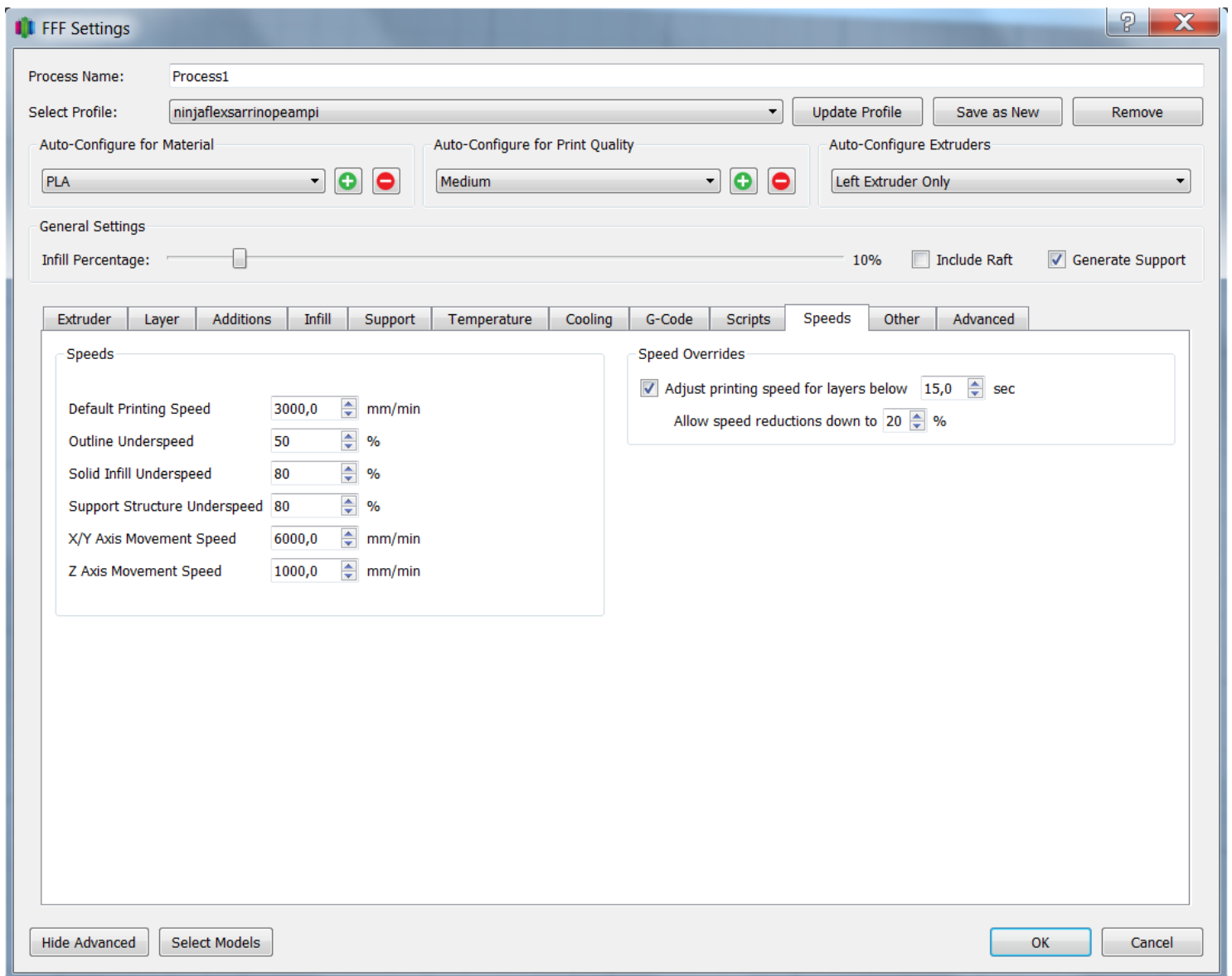
Use random start points for all perimeters

Optimize start points for fastest printing speed

Choose start point closest to specific location

X:  Y:  mm

Simplify3D: Layerin asetukset (Lindh, S. 2019.)



Simplify3D: Nopeusasetukset (Lindh, S. 2019.)

# 3D-tulostusnäyteportfolio

---

Sarri Lindh 2019

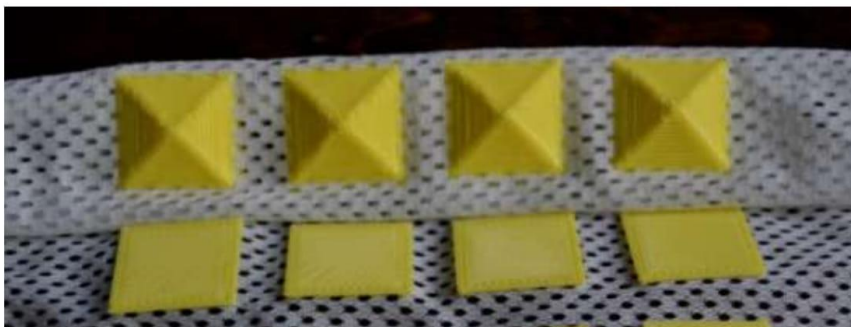
## Sisällysluettelo

Työtekniikat.....	3
Tulostaminen kankaalle.....	3
Muut tavat yhdistää kangasta ja 3D-tulostusta.....	5
Tulostusmateriaalit.....	6
3D-tulostuksella koristellun kankaan ominaisuudet .....	7
Jälkikäsittely.....	7
Huolto ja säilytys.....	8
3D-mallien hankkiminen.....	8
3D-tulostus Kouvolassa .....	8
3D-tulosteiden tilaaminen netistä.....	8
Testitulosteet .....	9
Haarniskamateriaalit.....	9
Liikkuvat koneistot vaatteen pinnalla .....	11
PLA-muovi: Tulosteet kankaan pinnalle .....	12
PLA-muovi: Kangas jää tulosteen väliin .....	14
NinjaFlex .....	16



## Työtekniikat

### Tulostaminen kankaalle

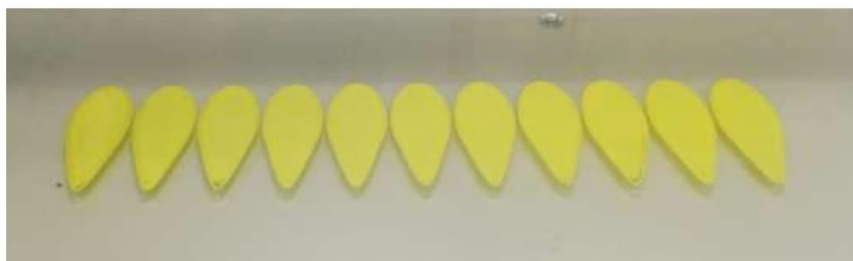
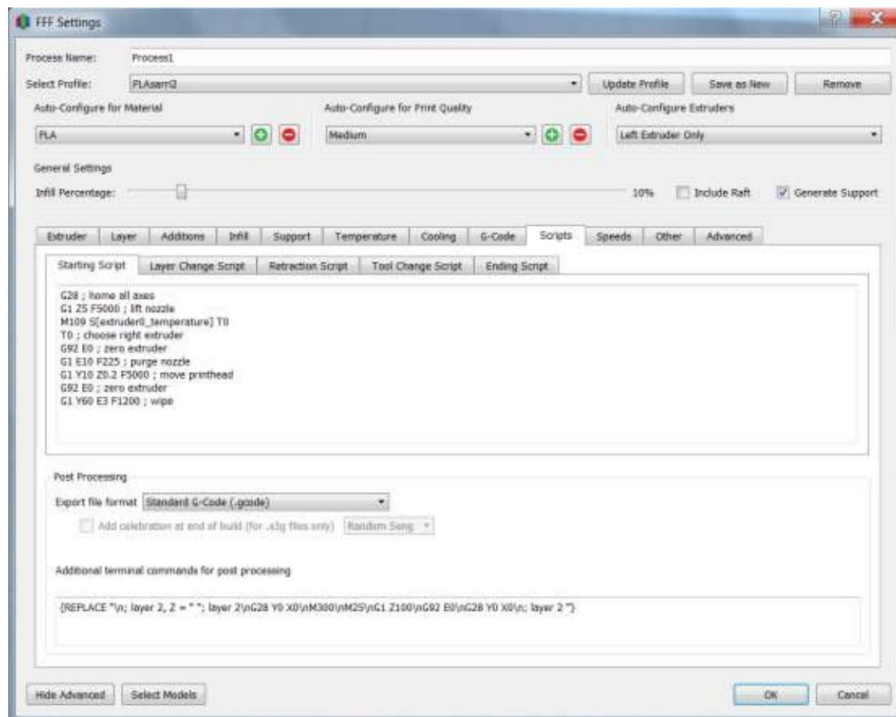


**Ennen tulostamista:** Jotta tulostin saataisiin pysähtymään tietyn kerroksen jälkeen, 3D-mallin G-koodiin täytyy lisätä komentosarja, jolla tulostin saadaan pysähtymään tietyn layerin kohdalla ja tulostamista voi jatkaa valitsemalla tulostimesta "jatka tulostusta". Simplify3D:ssa tulostusasetuksista löytyy "Scripts"-osio. "Additional terminal commands for post processing"-kenttään syötetään seuraava koodi:

```
{REPLACE "\n; layer 2, Z=" "; layer 2\nG28 Y0 X0\nM300\nM25\nG1  
Z100\nG92 E0\nG28 Y0 X0\n; layer 2 "}
```

Tämän koodin avulla voidaan säätää, monta kerrosta tulostetaan. Koodissa oleva layer on se kerros, jota ennen tulostus pysäytetään. Jos koodissa lukee "layer 2" se tarkoittaa, että tulostin tulostaa yhden kerroksen ja pysähtyy ennen kuin aloittaa tulostamaan toista kerrosta.

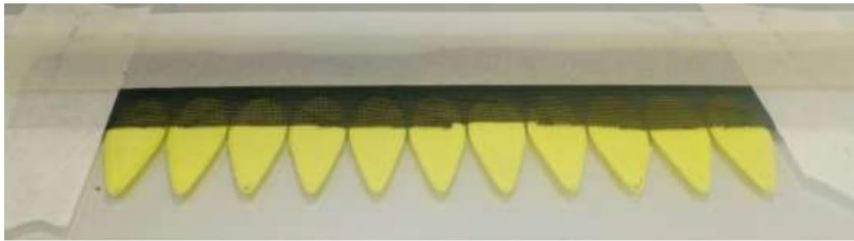
**Kankaan valinta:** Käytetyssä kankaassa tulee olla reikiä, joista materiaali mahtuu pursuamaan läpi. Kankaan rakenteella on suurempi merkitys kuin sillä, mistä kuidusta kangas on valmistettu. Jos kankaan pinta on liian liukas, tulostusmateriaali ei välttämättä tartu siihen kunnolla kiinni ja tulostus epäonnistuu. Jos kangas on puolestaan liian paksu, tulostuspää tulee liian lähelle kangasta. Hyväksi todettuja kankaita 3D-tulosteen pohjalle olivat esimerkiksi puuvillaharso ja tylli.



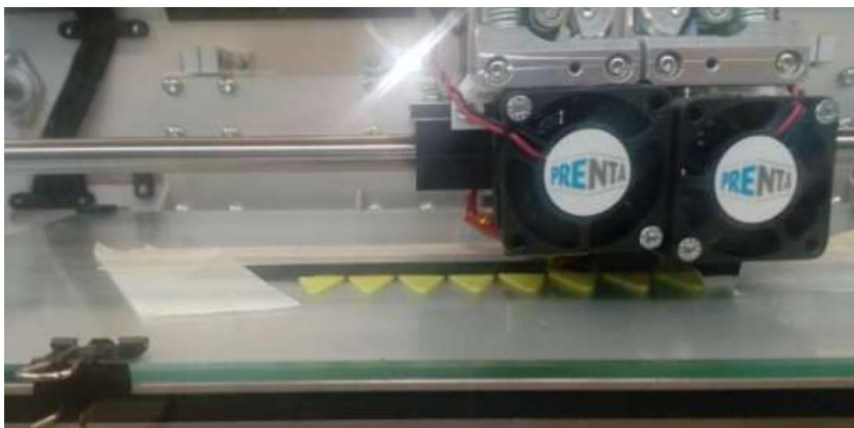
1. Tulosta 1-3 kerrosta tavalliseen tapaan tulostusalustan päälle.



2. Kun tulostin pysähtyy lisää väliin kangas.



3. Teippaa kangas kiinni tulostusalusta



4. Jatka tulostamista.



Lopputulos

### **Muut tavat yhdistää kangasta ja 3D-tulostusta**

Tulostetut osat voi myös kiinnittää kankaaseen ompelemalla tai liimaamalla. Jos tulostetun osan haluaa kiinnittää kankaaseen, siihen täytyy mallintaa myös reikiä, joiden läpi neulan saa pistettyä.

## Tulostusmateriaalit

### PLA eli polylaktidi

3D-tulostuksessa käytettävä PLA eli polylaktidi on biohajoava ja biopohjainen muovi . Se valmistetaan uusiutuvasta, biologista alkuperää olevasta raaka-aineesta ja hajoaa biologisten prosessien kautta vedeksi ja hiilidioksidiksi.

### NinjaFlex

NinjaTekin NinjaFlex on joustava tulostusmateriaali, joka on valmistettu TPU:sta eli termoplastisesta polyuretaanielastomeerista.

Tulostusasetussuositukset	PLA	NinjaFlex
Tulostuslämpötila	210°C ± 10°C	225°C–235°C
Tulostuspöydän lämpötila	50–60°C	40°C
Tulostusnopeus	1800–6000 mm/min	900–2100 mm/min
<b>Hinta</b>	n. 22–25€/kg	n. 100€/kg

### Muut tulostusmateriaalit

Muita 3D-tulostuksessa käytettäviä materiaaleja ovat mm. ABS-, Nylon-, PETG-, PVA-, bambu-, hiilikuitu- ja metallifilamentit.

### Filamenttien ostaminen

Tulostukseen käytettäviä filamentteja myydään mm. Clas Ohlsonilla. Tämän lisäksi niitä voi tilata netistä esim. Prentan nettikaupasta (<https://www.prenta.fi/shop/>).

### 3D-tulostuksella koristellun kankaan ominaisuudet

Kangasta ja PLA-muovia yhdistäessä lopputuotteen kestävyys vaikuttaa myös se, millaista kangasta on käytetty. Jos tuloste ei tartu kunnolla kankaan pintaan tai kangas on haurasta, myös lopullinen tuote on helposti hajoava.

Suunnitellessa 3D-tulostetta, jonka on tarkoitus tulla kankaan pinnalle pitää ottaa huomioon, että PLA-muovinen tuloste ei jousta tai taivu. 3D-tulostettujen osien koko, muoto ja asettelu vaikuttavat siihen, kuinka 3D-tulostein koristeltu kangas käyttäytyy.

### Jälkikäsittely



PLA-muovia on mahdollista hioa, maalata ja lakata. Spraymaali ja akryylimaaali kestävät hyvin kiinni PLA-muovissa.



Maalauskokeilut NinjaFlexilla. Vasemmalta oikealle: 1. Akryylimaaali 2. Gesso ja akryylimaaali 3. Spraymaali, 4. Spraymaali ja akryylimaaali 5. Öljymaali

Koska NinjaFlex on taipuisa materiaali, parhaiten sille sopii maalit, jotka joustavat, kuten kumimaali. Myös akryylimaali kestää suhteellisen hyvin tulosteen pinnassa ja lähtee irtoilemaan vain kun tulostetta taivuttelee voimakkaasti molempiin suuntiin Pohjustuksen voi tehdä gessolla tai spraymaalilla. Pelkkä spraymaali karisee irti helpommin kuin jos sen pinnan maalaa lisäksi akryyllilla.

### **Huolto ja säilytys**

PLA-muovia sisältäville puvunosille on suositeltavaa käsinpesu korkeintaan 40°C lämpimässä vedessä.

En ole testannut NinjaFlexin pesuominaisuuksia, joten suosittelen sille samaa kuin PLA-muoville eli käsinpesu 40°C vedessä. Voi kuitenkin olla mahdollista, että sitä voi pestä kuten muuta polyuretaania.

PLA-muovi on biohajoavaa. Sitä tulisi säilyttää kuivassa ja huoneenlämmössä. Jos muovi pääsee kuumenemaan liikaa, se saattaa sulaa.

### **3D-mallien hankkiminen**

3D-mallit voi mallintaa itse, tilata ulkopuoliselta tai käyttää netistä löytyviä vapaasti käytettävissä olevia 3D-malleja. Esimerkiksi Windowsin 3D Builder on ilmaiseksi ladattavissa oleva helppokäyttöinen 3D-mallinnusohjelma, joka soveltuu hyvin 3D-tulostettavien mallien luomiseen. Thingiverse (<https://www.thingiverse.com/>) puolestaan on sivusto, josta löytyy ilmaisia valmismalleja.

### **3D-tulostus Kouvolassa**

Kouvolan Mediamajalta ja Xamkin Kouvolan kampukselta löytyy 3D-tulostimet.

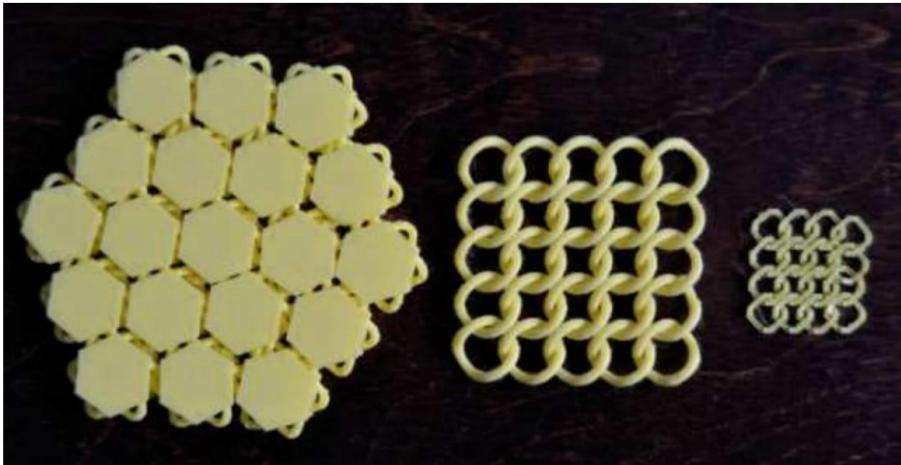
### **3D-tulosteiden tilaaminen netistä**

3D-tulosteita voi tilata myös netistä. Sivulta: <http://3dprinttaus.com/3d-tulostuspalvelut-suomessa/> löytyy lista 3D-tulostuspalveluista Suomessa.



## Testitulosteet

### Haarniskamateriaalit



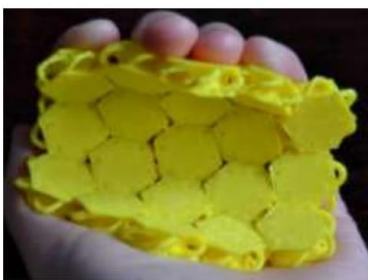
Thingiversesta ladatut haarniskamateriaalit:

Deryoshi. 2018. Hexa chainmail – Futuristic Armor. Saatavilla:

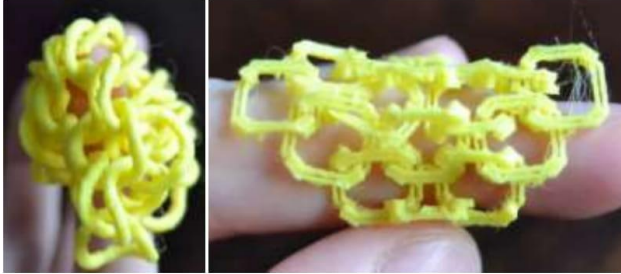
<https://www.thingiverse.com/thing:3240545/files>

Zomboe. 2011. Chainmail. Saatavilla: <https://www.thingiverse.com/thing:8724/files>

PlasticBits. 2013. Chainmail. Saatavilla: <https://www.thingiverse.com/thing:42850/files>



Hexa Chainmail -mallinen haarniskamateriaali taipui vähiten koska osien liikkuvuus oli rajoitettua. Taivuttaessa näytettä kahden vierekkäisen kuusikulmion välille jää noin 120–130 asteen kulma ja neljän kuusikulmion rivistä muodostuu puolipyörä.



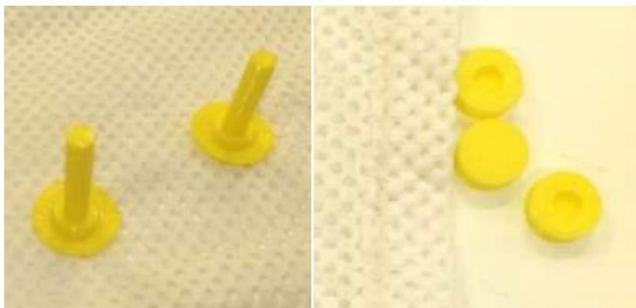
Rengashaarniskamateriaaleissa osat pääsivät liikkumaan hyvin ja näytteet oli mahdollista puristaa pieneksi kasaksi. Muoviset rengashaarniskamateriaalit ovat huomattavasti kevyempiä kuin esimerkiksi metallista valmistetut.

### Liikkuvat koneistot vaatteen pinnalla



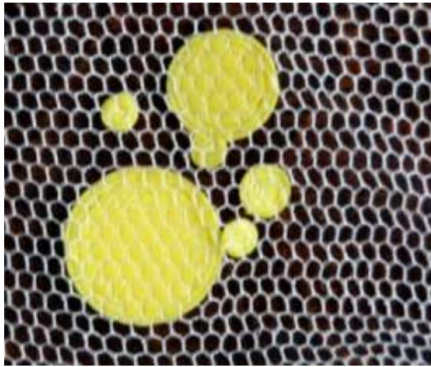
Halusin kokeilla luoda kankaan pinnalle mekaanisia, liikkuvia osia. Koetta varten latsin Thingiversesta Sterling500 mallintaman Desk Toy – Variable Speed Gears 3D-mallin (<https://www.thingiverse.com/thing:409124/files>) josta muokkasin käyttämäni mallin.

Kokeilin aluksi tulostaa osat valmiiksi koottuna suoraan kankaalle, mutta näissä testitulosteissa osat eivät liikkuneet, joten päätin tulostaa kankaalle vain kiinnitystapit. Muut osat tulostin erikseen suoraan tulostusalustan päälle. Kokosin hammasrataskoneiston ja lopuksi kuumaliimasin tappien päähän osat, jotka lukitsivat muut osat paikoilleen.



Näin syntynyt hammasrataskoneisto toimi, mutta tämäkään kokeilu ei ollut vielä täydellinen. Hammasrattaat liikkuvat, mutta yksi hammasrattaista ei ollut kiinnitetty välikappaleella muihin ja kangasta taittaessa hammasratas irtautui muista hammasrattaista. Kangas myös kiertyi hammasrattaita liikuttaessa. Yksi vaihtoehto korjata aiemmin mainitut ongelmat olisi ollut tulostaa kankaalle hammasrattaiden alle kiinteä alusta, jolloin kangasta ei pystyisi taittamaan. Tämän testin avulla sain selville, että kankaan pinnalle on mahdollista tulostaa jopa liikkuva koneisto.

### PLA-muovi: Tulosteet kankaan pinnalle



Ensimmäinen tulostuskerros on tulostettu suoraan kankaan päälle. Vain kankaan pinnalle tulostaessa tulosteet eivät kestä kunnolla kiinni kankaassa, joten on suositeltavaa mieluummin tulostaa kankaalle siten, että kangas jää tulostuskerrosten väliin.



Sametille tulostaessa tulostusmateriaali kesti suhteellisen hyvin kiinni kankaassa, mutta tulostuspää oli liian lähellä kangasta ja tulostuspää sotkeutui tulostusmateriaaliin. Kuitenkin on mahdollista, että tulostuspään korkeutta säätämällä 3D-tulostaminen sametille saattaisi onnistua.



### 1. Satiini

Tulosteet irtoilevat helposti kankaasta.



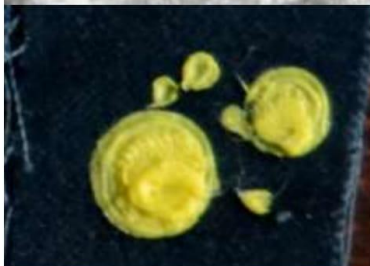
### 2. Tylli

Tulosteet irtoilevat helposti kankaasta.



### 3. Joustava sametti

Tuloste kestää hyvin kiinni kankaassa, mutta tulostuspää lähti tulostaessa liikuttamaan kangasta ja sotkemaan tulostusmateriaalia.



### 4. Joustamaton sametti

Tuloste kestää hyvin kankaassa, mutta kuten aiemmassa samettikokeilussa, tulostuspää tui liian lähellä kangasta ja tulostus epäonnistui.



**PLA-muovi: Kangas jää tulosteen väliin****5. Puuvillaharso**

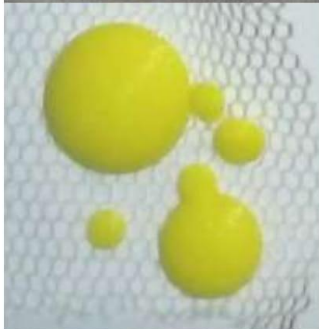
Soveltuu hyvin 3D-tulostuksen pohjakankaaksi.

**6. Palttinasidos pellava**

Kankaan aukot aavistuksen liian pieniä. Tulostusmateriaali kuitenkin kestää hyvin kiinni, ellei osia yritä väkisin irrottaa kankaasta.

**7. Joustava tylli**

Soveltuu hyvin 3D-tulostuksen pohjakankaaksi.

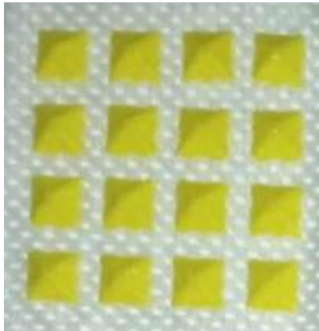
**8. Tylli. Hieno tulostuslaatu**

Tylli soveltuu hyvin 3D-tulostuksen pohjakankaaksi. Hienolla laadulla tulostaessa kappaleen pinnasta tulee tasaisempi.

**9. Tylli. Normaali tulostuslaatu**

Tulosteen pintaan jää selkeämpi kuviointi kuin hienolla laadulla tulostaessa.





### 10. Urheilupukukangas

Soveltuu hyvin 3D-tulostuksen pohjakankaaksi. Tulostetut niitit ovat pieniä ja harvassa, joten kangas pääsee taipumaan hyvin.



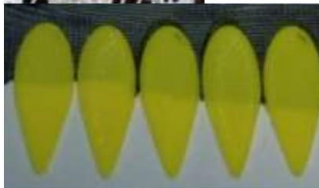
### 11. Pitsi

Soveltuu hyvin 3D-tulostuksen pohjakankaaksi. Sakarat jäivät töröttämään, kun kangasta taittoi pieneksi. Tähtien väliin jäävä kangas myös rypistyi hieman kun näyte aseteltiin ranteen ympärille.



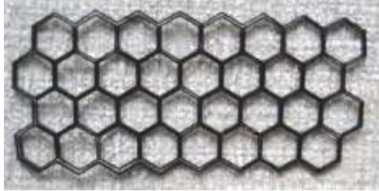
### 12. Sirkat pitsillä

3D-tulostin kankaalle vahvikerenkaita ja leikkasin kankaan pois renkaiden sisältä. 3D-tuloste sulaa kankaaseen kiinni eikä kankaan reuna pääse purkautumaan. Tällä tekniikalla on mahdollista tehdä aukkoja kankaisiin, joihin normaalisti ei pysty vahvikerenkaita kiinnittämään kuten pitsiin ja tylliin.



### 13. Suomunauha

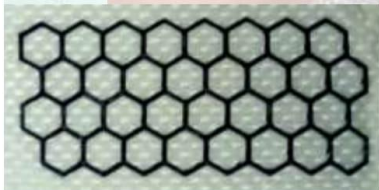
Koristeet voi tulostaa myös kankaan reunaan. Näin syntynyt nauha on helppo ommella ompelukoneella kiinni vaatteeseen.

**NinjaFlex****14. NinjaFlex verkko**

NinjaFlexista tulostettu verkko taipui ja venyi. NinjaFlex materiaalina ei kuitenkaan veny vaan tulosteen venymisen mahdollisti sen malli: venyttäessä verkkoa kuusikulmion muotoiset kappaleet muuttuivat suorakulmioiksi.

**15. NinjaFlex somu**

NinjaFlexista tulostetut somut taipuivat muiden NinjaFlex tulosteiden tapaan. Kankaalle ommellut somut asettuivat toistensa päälle käden ollessa suorana, mutta sormia taivuttaessa somut nousivat pystyyn.

**16. NinjaFlex kankaalla**

Kankaalle tulostettu NinjaFlex verkko jousti ja taipui kankaan mukaisesti.

**17. PLA-muovi NinjaFlex-verkolla**

3D-tulostimilla, joilla on kaksi suutinta on mahdollista tulostaa kahta eri materiaalia kuten esimerkiksi NinjaFlexia ja PLA-muovia (kuva). Jos tulostaessa haluaa käyttää kahta suutinta, tulostettavan esineen malli täytyy olla myös jaettu omiksi malleikseen käytettäviä materiaaleja varten. Kahta eri materiaalia tulostaessa kannattaa erityisesti kiinnittää huomiota siihen, että kummankin materiaalin tulostusasetusprofiileissa suuttimien lämpötilat ovat säädetty oikein ja tulostusnopeus on molemmissa suuttimissa sama. Jos tulostusasetuksissa on ristiriitaisuuksia, tulostus ei onnistu.

PLA-MUUVI

TULOSTEET KANKAAN  
PINNALLE



1. Satini
2. Tylli
3. Joustava sametti
4. Joustamaton sametti



KANGAS JÄÄ  
TULOSTEEN VÄLIIN

5. Puuvilla harso
6. Paltinasidos pellava
7. Joustava tylli
8. Tylli, Hiero tulostus-  
laatu
9. Tylli, Normaali tulostus-  
laatu



PLA-MUOVI



10 URHEILUPOKUKANGAS



11 PITSI



12 SIRKAT PITSILLÄ



13 SUOMUNAUHA

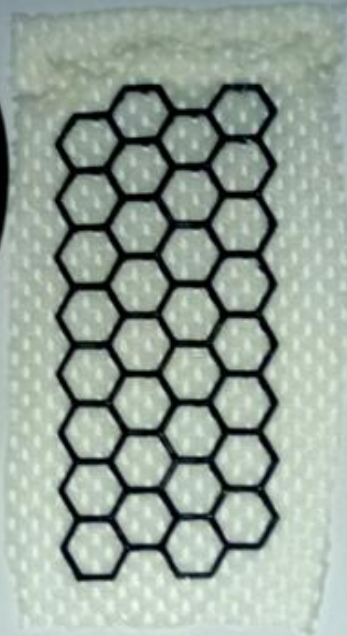
NINJAFLEX



14



15



16



17

- 14. NinjaFlex verkko
- 15. NinjaFlex suomu
- 16. NinjaFlex kankaalla
- 17. PLA-muovi NinjaFlex-verkolla