



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Pasi Jylhä-Ollila

3D-tulostuksen teknologiakatsaus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Tieto- ja viestintäteknikka

Insinöörityö

21.5.2020

Tekijä Otsikko	Pasi Jylhä-Ollila 3D-tulostuksen teknologiakatsaus
Sivumäärä Aika	47 sivua 21.5.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	tieto- ja viestintäteknikka
Ammatillinen pääaine	mediateknikka
Ohjaaja	lehtori Toni Spännäri
<p>Insinööriyön tarkoituksena oli selvittää 3D-tulostuksen nykytila, haastatella alalla toimivia henkilöitä, tutustua tulostustekniikoihin ja visioida tulevaisuutta. Lisäksi toteutettiin oma 3D-tulostustyö kustannuslaskelmineen.</p> <p>3D-tulostus on löytänyt paikkansa esimerkiksi työkalujen, varaosien, terveysteknologian ja pienoismallien tuotantomenetelmänä. Se soveltuu monenlaisia käyttötarkoituksia varten ja mahdollistaa jopa sellaisten esineiden valmistuksen, joita perinteisillä menetelmillä olisi mahdotonta toteuttaa. Tulostuslaitteistoja ja -tekniikoita on monenlaisia, ja tulostusmateriaaleja on runsaasti tarjolla. Alalla on runsaasti innovatiivisuutta ja tulevaisuuden näkymät ovat valoisat. 3D-tulostusta voi harrastaa kuka vain asiasta kiinnostunut henkilö, mutta alalla on myös paljon asiantuntevaa vakavasti otettavaa yritystoimintaa. Alalla rakennetaan uutta tulevaisuutta. 3D-tulostus mahdollistaa ekologisen ja paikallisen tuotannon joustavasti ja edullisin kustannuksin. Tuotteiden valmistaminen suunnittelusta valmiiksi tuotteeksi asti on nopeaa ja mahdollistaa personoidut tuotteet tarkasti määritellyjä tarkoituksia varten. 3D-tulostusta hyödynnetään kasvavassa määrin myös suuressa mittakaavassa, esimerkiksi taloja jo tulostetaan.</p> <p>Kokeellisen 3D-tulostustyön aiheeksi valittiin shakkilauta ja -nappulat. Paperille hahmotelun jälkeen toteutettiin CAD-mallinnus. Mallit valmisteltiin ja tulostettiin. Ensimmäinen koetulostus epäonnistui, mutta laitteen uudelleenkalibrointi ratkaisi ongelman ja seuraavat tulostukset onnistuivat. Shakkilaudan tulostuksessa ilmeni ongelma, joka ratkesi tarkoitukseen soveltuvan liiman avulla. Tulosteista poistettiin tukirakenteet ja mallit viimeisteltiin maalaamalla. Lopuksi toteutettiin kustannuslaskelma.</p>	
Avainsanat	3D-tulostus, materiaalia lisäävä valmistus

Author Title	Pasi Jylhä-Ollila 3D printing technology survey
Number of Pages Date	47 pages 21 th of May 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Information and Communications Technology
Professional Major	Media Technology
Instructor	Toni Spännäri, Senior Lecturer
<p>The purpose of this study was to investigate the present situation in 3D printing. People working in the field were interviewed, 3D printing technologies were explored and future visions were visualized. Also, a 3D printing project from design to the final products was carried out including the calculation of expenses.</p> <p>3D has become a well-established method in manufacturing e.g. tools, spare parts, health technology and also in miniature manufacturing. It is suitable for many purposes and enables the manufacturing of new kind of products which are impossible to produce by traditional methods. Lots of different printing hardware, technologies and materials are available. There are plenty of innovations in the field and the future looks promising.</p> <p>Nowadays anybody can do 3D printing as a hobby but also companies are making serious business in 3D printing. 3D printing enables ecological ja local production with flexibility and affordable costs. The production is fast from designing to finished products and products can be personalized for precise purposes. 3D printing is also applied for larger 3D printings such as houses.</p> <p>The aim of this final year project was experimental 3D printing to produce a chessboard and the chessmen. After planning the chessboard on paper, the models were created by CAD modeling software. The first test print failed but after recalibration the print succeeded. Printing the chessboard turned out to be problematic but problems were resolved with appropriate glue. Support materials were removed and the models were finished by paint. Finally, the calculation of 3D printing expenses were made.</p>	
Keywords	3D printing, additive manufacturing

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	3D-tulostustekniikoita ja -tulostimia	2
3	3D-tulostus Suomessa	6
3.1	3D-tulostus kirjastossa	6
3.2	3D-tulostusyrietykset	11
4	3D-tulostus terveysteknologiassa	22
4.1	3D-tulostus ja koronavirus	22
4.2	Esimerkkejä tuotteista	23
5	3D-tulostamisen tulevaisuus	25
5.1	Tuottoisaa yritystoimintaa	26
5.2	Suurikoinen 3D-teknologia: talot ja sillat	28
6	Shakkilaudan tulostus	34
6.1	Suunnittelu	34
6.2	Testitulostukset	35
6.3	3D-tulostuksen kustannuslaskelma	44
7	Yhteenveto	46
	Lähteet	48

Lyhenteet

3D	Three Dimensional. Kolmiulotteinen.
CAD	Computer-Aided Design. Suunnitteluohjelma 3D-mallin tekoa varten.
FFF	Fused-Filament Fabrication -tulostustekniikka.
FDM	Fused Deposition Modeling -tulostustekniikka.
SL/SLA	Stereolitografia-tulostustekniikka.
MSLA	Masked Stereolithography -tulostustekniikka.
DLP	Digital Light Processing -tulostustekniikka.
SLM	Selective Laser Melting -tulostustekniikka.
SLS	Selective Laser Sintering -tulostustekniikka eli lasersintraus.
DMLS	Direct Metal Laser Sintering -tulostustekniikka.
MJ	Material Jetting -tulostustekniikka.
DOD	Drop on Demand -tulostustekniikka.
BJ	Binder Jetting -tulostustekniikka.
UV	Ultravioletti.
VR	Virtual Reality. Virtuaalitodellisuus.
CD	Compact Disk. Digitaalisen datan tallennusmedia.
CMYK	Painoalan väritiloista käytetty lyhenne (cyan, magenta, yellow ja key).

- LCD Liquid Chrystal Display. Nestekidenäyttö. Käytetään erityisesti pienissä elektronisissa laitteissa.
- ISS International Space Station. Kansainvälinen avaruusasema.
- IoT Internet of Things. Esineiden internet.

1 Johdanto

3D-tulostus on saavuttanut yleisen tunnettuuden koko kansan keskuudessa. Nykyään kenellä tahansa halukkaalla on mahdollisuus tulostaa itselleen oma 3D-tulostustettu kappale vaikkapa kirjastossa. Edes kappaleen mallintaminen ei ole ongelma, koska internetistä on löydettävissä valmiita malleja [1]. Kirjastossa 3D-tulostaminen on ilmaista ja asiakkaan apuna on asiantunteva henkilökunta. 3D-tulostamiseen erikoistuneet yritykset tarjoavat maksua vastaan erittäin laadukkaita CAD-mallinnuksia ja viimeistelyjä lopputuotteita yrityksien ja yksityishenkilöiden monenkirjavia käyttötarpeita varten.

Tämän insinööriyön tavoitteena on selvittää, minkälainen on 3D-tulostuksen nykytilanne, ja visioida tulevaisuutta. Onko 3D-tulostus vain hetken ilmiö vai muuttaako se tulevaisuuttamme pysyvästi ja kuinka suuressa mitassa?

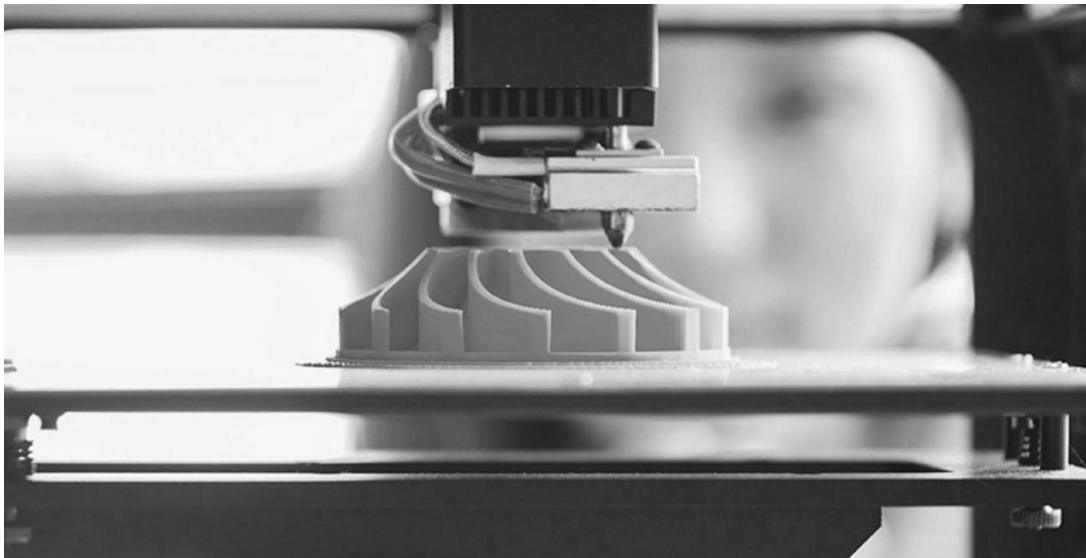
Tarkoituksena on vierailla yrityksissä ja yhteisöissä haastattelemassa alalla toimivia ammattilaisia ja käydä messuilla tutustumassa trendeihin, ohjelmistoihin ja laitteisiin. Aihetta tutkitaan myös lähdemateriaalin avulla. Lopuksi toteutetaan oma CAD-mallinnus ja 3D-tulostustyö.

2 3D-tulostustekniikoita ja -tulostimia

3D-tulostamalla voidaan valmistaa hyvinkin erilaisia tuotteita monenkirjaviin tarkoituksiin, kuten vaikkapa koruja, betoniseiniä, suklaata, verisuonia ja luuta. Esineet suunnitellaan tietokoneella ja tulostetaan 3D-tulostimella sopivaa raaka-ainetta käyttäen. [2.]

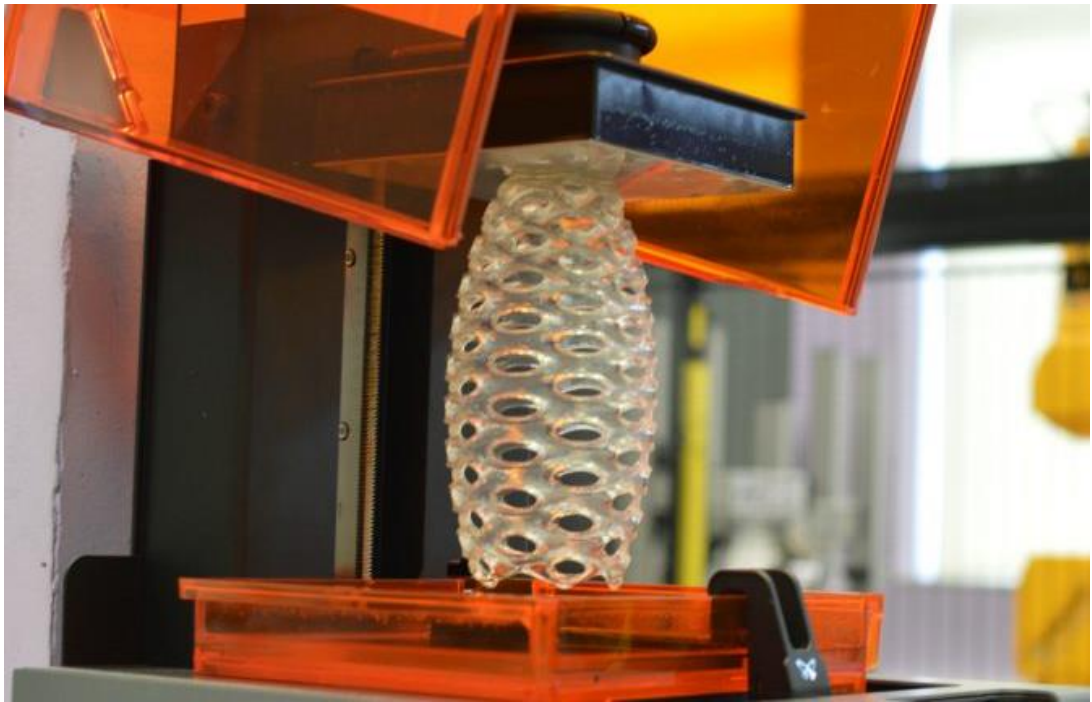
Aiemmin tietynlaisten esineiden valmistaminen oli mahdollista ainoastaan alaan erikoistuneen suurikokoisen yrityksen toimesta. Nykyisin 3D-tulostuksen myötä suunnittelun ja valmistamisen voi tuottaa yksilö. Yksilöllisyys mahdollistaa entistä luovemman ja täsmällisemmän tavarantuotannon. 3D-tulostetun tuotteen etu on edullinen hinta ja mahdollisuus kokeilla erilaisia uusia ideoita. 3D-tulostamista voidaan pitää eräänlaisena tavaroiden tuotannon vallankumouksena. Silti perinteiset tuotantolaitokset pysyvät yhä toiminnassa myös tulevaisuudessa. Teollisessa tuotannossa tuotteita valmistetaan isoissa erissä, mikä pakottaa tuotannon yhdenmukaistamiseen eikä tuotteiden personointi ole mahdollista. [2.]

3D-tulostuksessa käytetään erilaisia tulostuslaitteita ja -tekniikoita, joissa jokaisessa on omat etunsa ja rajoitteensa. Yleisin tekniikoista on pursottaminen (FFF tai FDM = Fused Filament Fabrication tai Fused Deposition Modeling) [3]. Muovilankaa syötetään suuttimelle, joka sulattaa muovin. Suuttimen läpi kulkiessaan muovista saadaan hyvin ohutta materiaalia. Suutin liikkuu esimääritellyn 3D-tulostusohjelman mukaisesti paperinohuella etäisyydellä tulostusalustasta ja tulostettavasta objektista. Muovi jäähtyy, jolloin 3D-tulostettava malli muodostuu reaali maailman kappaleeksi (kuva 1). 3D-tulostus toteutetaan kerroksittain alhaalta ylöspäin edeten. Ulkokuori tulostetaan kokonaisuudessaan ja sisäosat ohjelmassa määritellyn täyttöasteen mukaisesti. [4; 5.] Pursotustekniikan etuna ovat käytön helppous, edullisuus, laitteiden kompakti koko ja materiaalien monipuolinen kirjo [3].



Kuva 1. FDM-tekniikalla tapahtuva 3D-tulostus käynnissä [6].

Allasvalopolymerisaatiossa, engl. Vat Polymerization (esim. stereolitografia (SL tai SLA), MSLA (Masked Stereolithography) tai DLP (Digital Light Processing)), tietokoneohjattu ultraviolettivalo kulkee hartsimaisen nesteen pinnassa, jolloin valon vaikutuksesta pienet pistemäiset alueet kovettuvat ja esine valmistuu. Prosessia kutsutaan fotopolymerisaatioksi ja tulostusmateriaalia fotopolymeeriksi eli resiiniksi. [3; 4; 7.] Tulostetusta mallista liuotetaan ylimääräinen hartsi ja poistetaan tukimateriaalit. Tämän jälkeen tuote kovetetaan ja tehdään lopullinen viimeistely. Valmistettu malli on yksityiskohtaisen tarkka, mutta se on herkkä haurastumaan UV-valossa. Hyviä käyttökohteita ovat esimerkiksi prototyypit, hammastekniset esineet ja kuulolaitteet (kuva 2). [4; 7.]



Kuva 2. SL-tekniikalla tulostettu malli [8].

Jauhepetiteknikassa, engl. Powder Bed Fusion (SLM (Selective Laser Melting) ja lasersintraus SLS (Selective Laser Sintering)), malli tulostuu jauheeseen, jota sulatetaan laservalolla kerros kerrokselta (kuva 3) [4; 9].



Kuva 3. SLM-tekniikalla tulostettu Bugattin jarrusatula [10].

Jokaisen tulostetun kerroksen jälkeen tulostusalustan pohja laskeutuu alemmas. Mallin ympärillä oleva jauhe tukee valmistuvaa mallia, joten tukirakenteita ei välttämättä tarvita lainkaan. Jälkikäsitellyssä ylimääräinen jauhe poistetaan ja tuote on valmis. Käyttämätön jauhe ei mene hukkaan, vaan se hyödynnetään seuraavassa tulostuksessa. Tekniikalla saadaan toteutettua kestäviä, laadukkaita ja monimutkaisia kappaleita, joilla on hyvät metallurgiset ominaisuudet ja korkea tiheys. Yleisimpiä materiaaleja ovat muovijauhe, teräs, kobolttikromi ja alumiini. Käyttökohteita ovat esimerkiksi prototyypit, työkalut, taide-esineet ja konetekniikan tuotteet (kuva 4). [4; 9.]



Kuva 4. DMLS-tekniikalla (Direct Metal Laser Sintering) tulostettu malli [11].

Materiaalin ruiskutus -tekniikassa, engl. Poly Jet (MJ (Material Jetting) ja DOD (Drop on Demand)), valmistaminen tapahtuu pieniä pisaroita ruiskuttamalla tarkasti ennalta määriteltyihin kohtiin. Kovettaminen tapahtuu valon avulla. Tekniikka on nopea ja mahdollistaa useiden erilaisten materiaalien käytön samaan malliin, jota voidaan hyödyntää vaikkapa tukimateriaalina. Tekniikalla voidaan tulostaa myös värejä. Valmiin mallin heikkoutena on esineen hauraus. Käyttökohteina ovat esimerkiksi nopeasti ja edullisesti valmistettavat tarkat prototyypit tai muotit lääketieteen ja teollisuuden tarpeisiin. [4.]

Sideaineen ruiskutustekniikassa, engl. Binder Jetting (BJ), malli muodostuu sidosaineen ja jauheen yhteisvaikutuksesta. Aine levitetään SLS-tekniikan kaltaisella menetelmällä kerros kerrokselta mutta menetelmässä ei käytetä laservaloa. Tulostuksen jälkeen malli jätetään kovettumaan jauheeseen, ja vasta myöhemmin mallin kovetuttua se voidaan poistaa jauheesta ja puhdistaa ylimääräisestä jauheesta. Jauhe voi olla hiekkaa, ruostumatonta terästä, pronssia tai volframia. Valmistaminen on edullista, mutta ominaisuudet eivät ole aivan yhtä hyviä kuin jauhepetiteknikaassa. Malli on tulostettavissa myös värillisenä. Jälkikäsittelyssä mallin ominaisuuksia voi parantaa erilaisin pinnoitustekniikoin. [4.]

3 3D-tulostus Suomessa

3.1 3D-tulostus kirjastossa

Helsingin kaupungin Oodi-kirjastossa on asiakkaiden käytettävissä neljä Ultimaker 3 -tulostinta. Viides on tulossa lähiaikoina. Laitteiden pääasiallinen tarkoitus on tutustuttaa ihmiset 3D-tulostamiseen. Tulostusaika on rajattu neljään tuntiin, jotta mahdollisimman moni pääsee kokeilemaan 3D-tulostamista. Koneet ovat herättäneet suurta kiinnostusta, ja laitteet ovat koko ajan käytössä. Laitteet pidetään siistinä, ja ne huolletaan aina maanantaisin. Laitteita on useissa Helsingin kaupungin kirjastoissa (kuva 6). [12.]



Kuva 6. 3D-tulostimia Oodin kirjastossa.

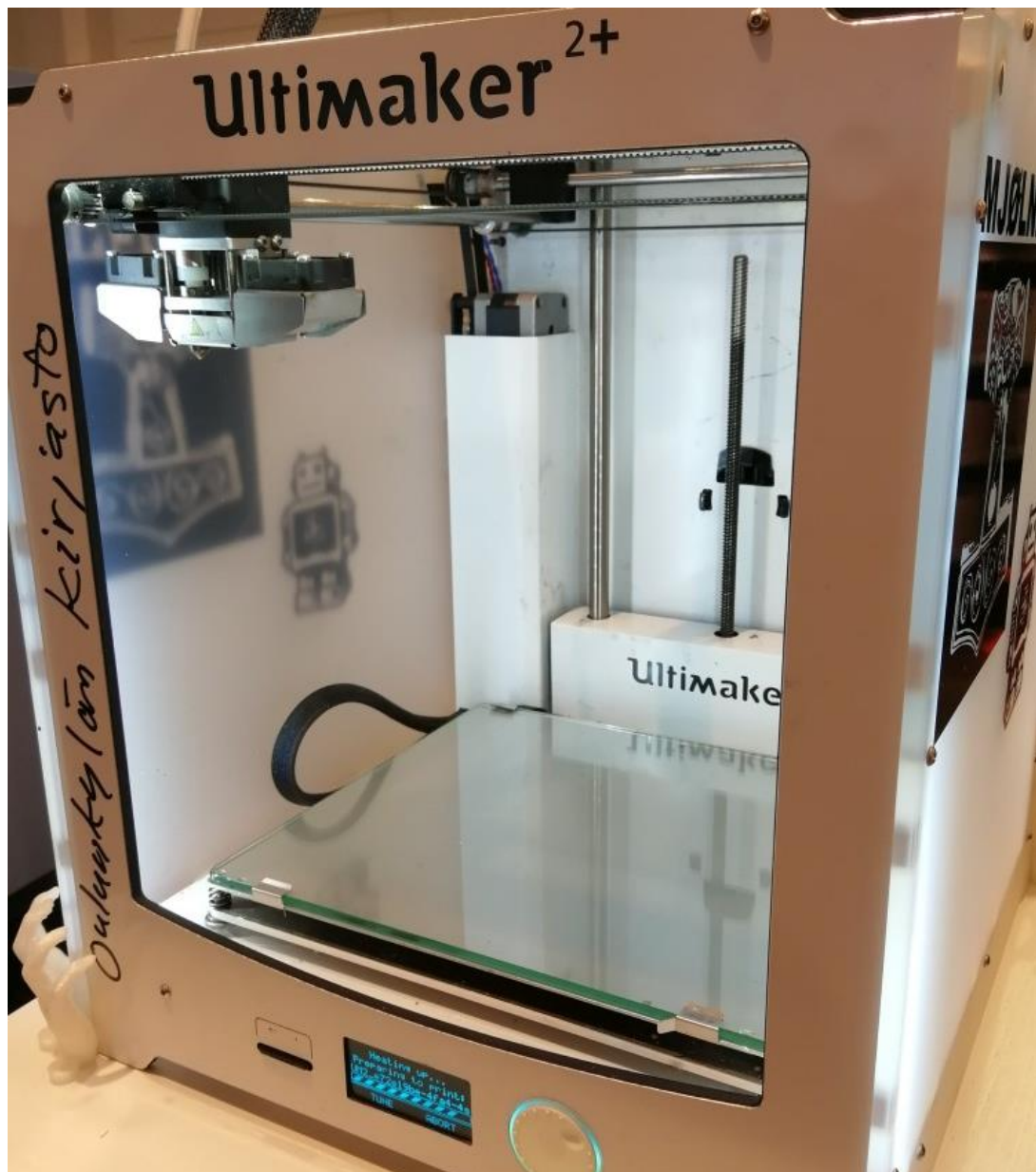
Helsingin kaupungin mediatyöntekijä Tomas Lamas on muutaman vuoden seurannut 3D-tulostuksen kehittymistä Espoon ja Helsingin kaupunginkirjastoissa. 3D-tulostaminen kirjastoissa on laitteiden, henkilökunnan ja asiakkaiden kannalta haasteellista. Oodissa laitteet ovat suuremmalla kuormituksella kuin muissa kirjastoissa pääkaupunkiseudulla. Suunnitelmissa on avata ja ylläpitää ns. kaupunkiverstastyypisiä palveluita. Tästä on esimerkkinä juuri avattu konehuone, jossa on myös musiikki- ja videostudio. Useimmiten vastuussa ovat samat henkilöt, joten 3D-tulostamisen kehitystyö on haastavaa. Työ on lähinnä laitteiden huolenpitoa, jotta suurin osa asiakkaiden tulosteista onnistuu. [13.]

Tulevaisuudessa käyttöön on tulossa 3D-tulostin, jolla kirjaston työntekijät kokeilevat erilaisia sekoitemateriaaleja, kuten esimerkiksi puu- ja kuparipohjaista kuitua. Haaveissa on myös erilaisten tulostusmateriaalien ja -menetelmien kokeileminen esimerkiksi hartsitulostimen kanssa. Kirjastossa otetaan huomioon käytön helppous, asiakkaiden turvallisuus ja ilmanvaihdon riittävyys materiaalien käsittelyssä. Ajan kuluessa tulee ajankohtaiseksi uusien laitteiden hankkiminen, jolloin on mietittävä, mikä on asiakkaiden kannalta paras vaihtoehto. Myös tulosteiden jälkikäsittelymahdollisuuksia voisi lisätä. 3D-tulostusteknologia, laitteet ja materiaalit kehittyvät jatkuvasti. Haasteena on pysyä

mukana kehityksessä ja tuoda asiakkaille uutta kokeiltavaa ja helpompia tulostustapoja. [13.]

3D-tulostamisen lisäksi suunnitelmissa on etsiä uusia tapoja 3D-mallintamisen helpottamiseksi. Hyviä – ja ilmaisiakin – ohjelmistoja on olemassa, mutta tämän lisäksi valokuvastudioon on tulossa 3D-skannaustyöpaikka. Toiveissa on myös VR- eli virtuaalitodellisuusteknologian hyödyntäminen. Kirjastolla on käytössään esimerkiksi HTC Vive Pro -lasit ja Applen iPadeja voitaisiin käyttää mallinnukseen. [13.]

Oulunkylän kirjaston 3D-tulostin on malliltaan Ultimaker 2+. Kirjasto on rajannut tulostimien käytön kuuteen tuntiin. Tästä huolimatta isompikin tulostus on mahdollinen, koska työn voi sopia jätettäväksi tulostumaan yön yli (kuva 7). [14.]



Kuva 7. Ultimaker 2+ -tulostin Oulunkylän kirjastossa.

Kuvassa 8 näkyy Oulunkylän kirjaston Ultimaker-tulostimen PLA-kuitukeloja (kuva 8).



Kuva 8. Erivärisiä PLA-kuituja Ultimaker-tulostinta varten.

Oulunkylän kirjastossa oli esillä runsaasti erilaisia valmiita 3D-tulostustöitä (kuva 9).



Kuva 9. 3D-tulostettuja malleja Oulunkylän kirjastossa.

3.2 3D-tulostusyrietykset

Maker3D on 3D-tulostuslaitteisiin ja -palveluihin erikoistunut vuonna 2012 perustettu yritys. Toimipiste sijaitsee Helsingin Hernesaassa. Maker3D löytyy internetistä osoitteesta 3d-tulostus.fi. Vuonna 2019 Maker3D fuusioitui Grano-nimisen yrityksen kanssa. Yhteensä henkilöstöä on 13. Maker3D on yksi tunnetuimpia 3D-tulostusalan yrityksiä Suomessa. [15.]

Maker3D-yritykseen tutustuttiin paikan päällä Hernesaassa ja haastateltiin myynnistä vastaavaa henkilöä, Joni Kumpulaista. Tämän luvun sisältö perustuu lähinnä tähän haastatteluun. Yrityksessä oli esillä erilaisia tulostettuja malleja (kuva 10).



Kuva 10. Maker3D-yrityksen mainosseinä. 3D-tulostettuja tuotteita ja 3D-tulostin.

3D-tulostuksen alkuaikoina tarjolla oli lähinnä vain kaksi materiaalia, joista kumpikaan ei juuri toiminut. Tulosteet olivat epätarkkoja ja tulosteiden ulkonäkö ja laatu vaihtelivat. Materiaalivalikoima on ajan kuluessa laajentunut. Nykyisin on jopa noin tuhat erilaista materiaalia saatavilla edullisille laitteille. Tässä tapauksessa edullisilla laitteilla tarkoitetaan alle kymmenen tuhatta euroa maksavia laitteita. Niitä kutsutaan myös ns. desktop-laitteiksi. Materiaaleja on noin kymmenen perusmateriaalia, ja komponentteja

yhdistämällä materiaaleja on tullut lisää. On yhdistetty esimerkiksi nailonia, lasikuitua ja hiilikuitua, jolloin materiaalivalikoimaan saadaan variaatiota. [16.]

Teollisten laitteiden hinnat ovat satoja tuhansia euroja. Hinnat ovat kuitenkin tulossa alaspäin, ja jossain vaiheessa saavutetaan kannattavuusraja, jonka jälkeen laitteiden ostaminen tulee yrityksille kannattavaksi. Tällä hetkellä yritykset arvostavat eniten valmistettavan tuotteen läpimenoaika. Yritykselle on etu, jos tuotteet saadaan tehtyä itse. Tällä hetkellä teolliset laitteet ovat kuitenkin niin kalliita, että niitä ei juurikaan yrityksissä ole. Laitteille ei myöskään ole vielä niin paljon käyttöä, että ne olisivat kannattavia hankkia. Kuitenkin laitteiden hintojen laskiessa yrityksille on lopulta halvempaa tehdä tulostukset yrityksen sisällä. Tähän on tärkeänä motiivina myös tietoturva. Yritykset eivät halua lähettää mitään yrityksen ulkopuolelle, koska se on yritykselle aina riski. Teollisia laitteita on kuitenkin hyvin erilaisia, joten valinta ei ole helppo. [16.]

Yritykset eivät tiedosta kaikkia 3D-tulostuksen hyötyjä. Tällä hetkellä arviolta noin kymmenen prosenttia tuotteista kannattaisi tulostaa. Jokin tuote saattaa olla geometrialtaan sopiva tulostettavaksi ja valmistusmäärät sopivia, jolloin se kannattaisi valmistaa 3D-tulostamalla. Kappale tulee suunnitella tulostustekniikkaa ja kappalemäärää ajatellen ja hakea hyötyjä. Esimerkiksi voisi olla jokin kappale, joka on aiemmin tehty useammasta osasta ja tämän jälkeen koottu. Kokoaminen vie kuitenkin aikaa tuotannossa. Jos kappale suunniteltaisiin uudestaan ja tulostettaisiin yhdellä kerralla, säästettäisiin tuotannon kokoonpanoon muutoin kuluva aika. Kappale voisi olla kestävämpi ja palvella paremmin asiakasta. Uudelleensuunnittelu on tärkeää ja tulevaisuudessa jokaiselle yritykselle eilinehto, jotta kilpailussa pysyy mukana. [16.]

3D-tulostamalla on mahdollista saavuttaa merkittäviä säästöjä. Esimerkiksi vanhoja aiemmin käytössä olleita teollisuustyössä tarvittavia apuvälineitä voidaan korvata 3D-suunnitelluilla ja 3D-tulostetuilla työkaluilla. Tuotteiden paino keventyy ja valmistusaika nopeutuu. Työkaluja voidaan toteuttaa monenlaisia tarkoituksia varten nopeasti, laadukkaasti ja edullisesti. [16.]

Aiemmin 3D-tulostustekniikkaa käytettiin lähinnä prototyyppien valmistamiseen, mutta nykyisin yritykset valmistavat työkaluja ja monia muita asennustyötä avustavia tuotteita.

3D-tulostamalla on mahdollista toteuttaa hyvinkin monimutkaisia kappaleita nopeasti ja edullisesti. [16; 17; 18.]

3D-tulostusalalla menee hyvin. Laittevalmistajan puolelta katsottuna alalla on kysyntää runsaasti. 3D-tulostuslaitteita toimitetaan jopa puolivalmiina myyntiin, koska kilpailu asiakkaista on kovaa ja ala kasvaa nopeasti. Valtaosa toimijoista ei pärjäisi perinteisillä aloilla, koska muilla aloilla puolivalmiita laitteita ei voi laittaa myyntiin. Asiakkaat eivät välttämättä tiedosta, mitä heidän kuuluisi saada, koska heiltä saattaa puuttua kokemusta laitteista. [16.]

Suomessa on silti myös yrityksiä, jotka ovat käyttäneet tulostimia jo 1990-luvulta lähtien. Osaamista ja tietotaitoa on, mutta saatetaan luulla, että ainoastaan satojen tuhansien eurojen laitteet ovat hyviä. Kuitenkin edulliset laitteet ovat monilta osin ohittaneet kalliit, koska laitteet ja järjestelmät ovat ketteriä ja avoimia. Laitteisiin on syytä tutustua itse, testata niiden toimivuus ja selvittää, minkälainen oma tarve on. 3D-tulostusta käytetään vähemmän kuin olisi mahdollista, mutta alan nopean kehittymisen vuoksi se on ymmärrettävää. Harvalla yrityksellä on omaa 3D-osastoa, joka seuraisi alan kehittymistä. [16.]

Analogisesta valmistuksesta ollaan siirtymässä digitaaliseen valmistukseen. Maker3D:n toiminta perustuu siihen, että tietoa levitetään ja asiakkaan kanssa ollaan tiiviisti yhteistyössä, pidetään erilaisia tapahtumia ja käydään asiakkaiden luona. Laitteita asennetaan ja konsultoidaan. [16.]

3D-mallinnuksen ja -tulostukseen myötä voidaan vanhoja totuttuja toimintamalleja kehittää paremmiksi ja edullisemmiksi. 3D-tulostamalla kappaleita pystyy tekemään yhdessä osassa ja myös sellaisia kappaleita, joita muutoin ei pystyisi edes tekemään.

Jos tuote tehdään muotilla, on ensin valmistettava muotti. Muotin valmistuskustannukset saattavat olla kymmeniä tuhansia euroja. Näin ollen ensimmäinen tuote on arvoltaan esimerkiksi 10 000 euroa, seuraava on viisi tuhatta, jne. Jotta kulut saadaan pieniksi, muotti täytyy käyttää loppuun eikä mallia voi tänä aikana muuttaa. Lisäksi sarjojen on oltava suuria. 3D-tulostamalla valmis tuote saattaa maksaa vaikkapa kymmenen euroa. Jos tuote ei toimi tai halutaan tehdä erilaisia versioita, siihen voidaan tehdä muutoksia.

Parhaimmillaan 3D-tulostus on personoitua massavalmistusta, paikallista, yksilöllistettyä tulostusta. Joissain tapauksissa raaka-ainekin voidaan tehdä paikallisesti. [16.]

Avaruudessa Maata kiertävällä radalla olevalla avaruusasema ISS:llä on käytössään 3D-tulostin ja raaka-aineet [19]. Malleja voidaan tulostaa tarpeen mukaan eikä asemalle tarvitse toimittaa mahdollisesti vääränlaisia esineitä ja työkaluja. 3D-malleja voidaan suunnitella Maassa, lähettää tiedosto avaruusasemalle ja 3D-tulostaa malli.

Kaikkea tehostetaan. Autourheilussa 3D-tulostusta käytetään paljon. Ruotsalainen urheiluautoja valmistava yritys Koenigsegg tulostaa moottoreiden turboahdit 3D-tekniikalla, jolloin saavutetaan täysin saumaton rakenne [16; 20]. Lentokoneiden valmistuksessa voidaan esimerkiksi suunnitella ja tulostaa kappale yhdessä osassa, kun aiemmin samanlainen osa on valmistettu vaikkapa viidestä osasta. Lentokoneen painoa on mahdollista keventää 3D-tulostuksen avulla. Aiemmin kappale on saattanut olla kiinteä ja metallinen. 3D-tulostamalla voidaan kuitenkin luoda erilaisia kennorakenteita, joka saattavat saavutetun keveyden lisäksi tuoda kappaleeseen jopa lisää kestävyttä. [16.]

3D-skannausta käytetään varaosien digitointiin, varsinkin tuotteissa, joissa on orgaanisia muotoja tai muotteja ei ole enää käytettävissä. Esimerkki skannauslaitteesta samassa laitteessa ovat videoprojektori ja kamera (kuva 11). Videoprojektori valaisee objektin pintaan ruudukon, ja videokamera tallentaa muodon. 3D-skannaus on toteutettavissa myös matkapuhelimen kameralla, jolloin mallista otetaan valokuvia eri kulmista. Tämän jälkeen kuvat voidaan lähettää palveluntuottajalle, joka tekee kuvista tulostettavan 3D-mallin. [16; 21.]



Kuva 11. Skannauslaite. Kamera, videoprojektori ja 3D-skannattava objekti.

Nämä ovat hyviä esimerkkejä tuotteista, jotka olisivat perinteisillä tekniikoilla haastavaa tehdä, ja nämä ovat myös hyviä esimerkkejä työkaluista, joissa toimivuus ratkaisee (kuva 12). Kuluttajat voivat itse suunnitella ja 3D-tulostaa varaosia ja malleja monenlaisiin tarkoituksiin ja kaiken lisäksi edullisesti ja ekologisesti. Siksi kuluttajat saattavat lopulta ratkaista, minkälaiseksi 3D-tulostusmaailma lopulta rakentuu. [16.]



Kuva 12. Itse suunniteltuja ja 3D-tulostettuja malleja.

Vaikka Maker3D tekee pääasiassa tilaustöitä yrityksille, se on toteuttanut myös yksityishenkilölle joitakin tilaustöitä, esimerkiksi parvekelasien pidikkeitä muutamille henkilölle ja varaosan saarella olevaan keinuun. Joskus on helpompaa suunnitella varaosa ja 3D-tulostaa se, kuin vaikkapa kuljettaa vanha muutoin hyväkuntoinen keinu saaresta ja toimittaa uusi tilalle. Asiakkaalle jää myös 3D-malli, joten jatkossa uuden osan voi käydä 3D-tulostamassa vaikkapa kirjastossa. [16.]

Kuvassa 13 etualalla oleva esine on materiaaliltaan kipsikomposiittia. CMYK-mustesuihkuvärit imeytyvät noin millimetrin syvyyteen (kuva 13). [16.]



Kuva 13. 3D-tulostettuja malleja.

Kuvan 14 vasara on 3D-tulostettu malli, jonka raaka-aineena on paperi (kuva 14) [16].



Kuva 14. 3D-tulostettu vasaran näköinen malli.

Kuvassa 15 on nesteestä kovettava laite Formlabs, jolla voidaan tehdä vaikkapa purentakiskoja. Hartsimaisia akryylinkaltaisia aineita kovetetaan laserilla viipaleittain ja valmistaminen on nopeaa (kuva 15). [16.]



Kuva 15. 3D-tulostuslaite Formlabs.

Seuraavassa esitellään lyhyesti muutamia Suomessa 3D-tulostuksen parissa toimivia yrityksiä.

Protolabs

Ruiskuvalu- ja CNC-koneista 20 vuotta sitten toimintansa aloittanut yritys, joka tarjoaa digitaalisia valmistuspalveluja yli tuhannen koneen turvin. Se toimitti asiakkailleen vuonna 2018 yli 47 miljoonaa osaa. [22.]

Ajatec

30 vuoden kokemuksen ja ISO 9001 -sertifioidun laatujärjestelmän omaava 3D-tulostukseen erikoistunut yritys [23].

Maker3D

Vuonna 2012 perustettu 3D-tulostuspalveluihin erikoistunut kotimainen yritys [24].

An-CADSolutions

Myy ja tuo maahan 3D-tulostimia ja 3D-skannereita. Asennus- ja koulutuspalveluita. [25.]

Materflow

Suunnittelee ja valmistaa 3D-tulosteita pääasiallisesti teollisten toimijoiden käyttöön. Perustettu vuonna 2013. [26.]

Plastmode

3D-tulostus ja 3D-suunnittelu teollisuuden ja yritysten tarpeisiin [27].

4 3D-tulostus terveysteknologiassa

4.1 3D-tulostus ja koronavirus

Terveysteknologiassa 3D-tulostus on erittäin hyödyllinen. Erityisesti koronaviruspandemian (COVID-19) alkaessa joulukuussa 2020 kysyntä suojarusteista, terveysteknologian laitteista, komponenteista ja laitteiden varaosista kasvoi huomattavasti erittäin lyhyessä ajassa. Tarvikkeista on yhä tämän työn kirjoittamishetkellä paikoin pulaa ja tarve on akuutti. Perinteisin valmistusmenetelmin suuryritysten toimesta näin nopeaan muutokseen ei olisi ollut minkäänlaista mahdollisuutta reagoida riittävän nopeasti ja tehokkaasti. Tähän tilanteeseen ja vaatimuksiin peilaten CAD-suunnittelu, 3D-tulostus ja paikallisesti valmistetut tuotteet ovat optimaalinen ratkaisu. Tuotannon aloittaminen ja mallien uudelleensuunnittelu onnistuu todella nopealla aikataululla 3D-tulostustekniikan avulla. Toimintaa voidaan pilotoida ja innovoida edullisesti pienillä kokeiluerillä ja uudentyyppisillä komponenteilla. Kun toimiva hyvä tuote on saatu aikaiseksi ja asiakkaiden vaatimukset täyttyvät, toiminta mukautuu sujuvasti suurempaan mittakaavaan (kuva 16). [28; 29.]



Kuva 16. Christian Fracassin suunnittelema ja 3D-tulostama hengityslaitteen venttiili kuvassa oikealla. Suunnittelusta lopputuotteeseen kulunut aika oli vain kuusi tuntia. Vasemmalla alkuperäinen tuote. [30.]

4.2 Esimerkkejä tuotteista

3D-tulostamalla toteutetaan proteeseja, implantteja ja tukia. Voidaan tulostaa lääketieteellisiä malleja esimerkiksi operaatioiden suunnittelua ja koulutustarkoituksia varten (kuva 17 ja 18). [31.]



Kuva 17. Perinteisen kipsin korvaava 3D-tulostettu tuki [31].

3D-tulostustekniikan avulla voidaan kasvattaa jopa monenlaisia ihmiselle soveltuvia varaosia (kuva 18) [32].



Kuva 18. 3D-tulostustekniikalla toteutettu munuainen, korvat ja sormen luut [32].

3D-tulostus on erittäin tarpeellista hammaslääketieteessä. Jokaisen ihmisen suu ja hampaat ovat erilaiset, joten personoidut mallit ovat tarpeen (kuva 19). Valmistaminen onnistuu sujuvasti SL-tekniikkaa käyttävillä laitteilla. [33.]



Kuva 19. 3D-tulostettuja hampaiden parentakiskoja [33].

5 3D-tulostamisen tulevaisuus

Tämän luvun tulevaisuusvisiot pohjautuvat Joni Kumpulaisen (Maker3D) haastatteluun.

Yhdysvaltalainen miljonaari Elon Musk aikoo rakentaa rakennuksia Marsiin pitkälti 3D-tulostamalla [34]. Raaka-aineet louhitaan Marsissa, ja tuote tehdään paikan päällä. Tämä on vielä tieteisfantasiaa, mutta näin tämä aiotaan toteuttaa. [16.]

Uusia tekniikoita tulee koko ajan lisää, ja tekoäly tulee olemaan merkittävässä roolissa. Se, mitä kannattaa milläkin tekniikalla tehdä, riippuu viimeistelyn tasosta. Toiset tekniikat vaativat jälkikäsittelyn, joka on esimerkiksi tukien poistamista. Jälkikäsittely on eri asia, jos tehdään työkaluja tai jos tehdään kuluttajatuotteita. Joissakin kappaleissa on oltava mekaanisia tukirakenteita, koska tyhjän päälle tuotteita ei voi valmistaa. Moni muikin seikka vaikuttaa asiaan: sarjakoko, pitääkö olla esimerkiksi kirkasta eli läpinäkyvää ja tietyt kemikaalit, ja miten löydetään kustannustehokkain valmistustapa asiakkaalle ja luontoa ajatellen. Muuttuvia tekijöitä on paljon, ja laitteet kehittyvät. Mikä tänään on selkeää, vuoden päästä ei välttämättä olekaan kustannustehokkainta. On olemassa erilaisia tulostustekniikoita, eivätkä kaikki tarvitse jälkiprosessointia. Muuta ei tarvitse kuin puhaltaa pölyt pois ja kappale on valmis. Mutta valmistus saattaa olla hidasta.

Samanlainen kappale nesteestä kovettavalla tekniikalla tekeekin valmiin kappaleen jopa kymmenessä minuutissa. Ero saattaa olla 50 kertaa nopeampi, mutta tällöin tarvitaan tukien poisto. Näitä kaikkia muuttuvia seikkoja ei kukaan pysty prosessoimaan optimaalisesti. Lisäksi on myös kappaleen geometria. Avainasemassa on tekoäly ja koneoppiminen. Kappaletta voitaisiin esimerkiksi muokata sen verran, että se toimii 3D-tulostuskoneessa. Jokaisessa koneessa on omat lainalaisuutensa. Tekoäly voisi automaattisesti muokata hieman kappaleen geometriaa, jolloin kappale toimii paremmin 3D-tulostuslaitteeseen. Ihminen ei pysty tällaista tehokkaasti toteuttamaan. Mallin muokkaaminen on myös hidasta, jos sitä ihminen joutuisi tekemään. Ympäristön ja yrityksen kannalta tekoäly tulee olemaan eilinehto, koska tekniikan kehitys on niin nopeaa. Vasta aivan viime aikoina markkinoille on ilmestynyt nesteestä kovettava tekniikka, joka on sata kertaa nopeampi kuin perinteiset. Viisi vuotta sitten tällaista tekniikkaa ei vielä ollut. [16.]

5.1 Tuottoisaa yritystoimintaa

Joni Kumpulaisen mukaan 3D-tulostus tulee olemaan tuottoisaa yritystoimintaa. Vasta nyt vanhat toimijat ovat lähteneet mukaan. Hewlett Packard (HP) on perustanut uuden tuotekehitysyksikön vain 3D-tulostusta varten. Siihen sisältyy 1–2 isoa hallia ja 250 tuotekehittelijää. [16; 35] Nämä ovat suuren kokoluokan sijoituksia. HP näkee, kuinka ala tulee mullistumaan. Vuosikymmenen lopulla tämä on valtavirtaa. On monia tekijöitä, jotka vaikuttavat yleistymiseen. Jos tulisi iso talouden laskukausi, se edesauttaisi 3D-tulostusta entisestään sen ketteryyden vuoksi, ja silloin kustannuksia katsotaan tarkemmin. 3D-tulostamalla voidaan tehdä asioita kustannustehokkaasti. [16.]

3D-tulostaminen voi tuoda säästöä, kuten esimerkiksi Wärtsilän ja Aalto-yliopiston digitaaliset varaosat -projektissa havaittiin [16; 36]. Wärtsilällä on varaosia varastoissaan kymmenien miljoonien eurojen arvosta ja isoja varastohalleja niitä varten. Tiloja on lämmitettävä, ja niissä on paljon pääomaa kiinni. Tuotteet voitaisiin digitoida ja valmistaa ne vasta tarpeen tullen. Tässä voisi toteutua myös Internet of Things (IoT). Tuote kykenisi esimerkiksi havaitsemaan, jos on menossa rikki vaikkapa puolen vuoden päästä, ja ilmoittaisi asiasta. Tällöin varaosa voitaisiin valmistaa hyvissä ajoin ennen laitteen rikkoontumista. Tuote voisi jopa tietää, miksi rikkoutui, ja kykenisi kehittämään itsestään paremman version. [16.]

Aiemmin tehtiin prototyyppejä, nykyään ollaan monipuolisempia. Ala kehittyy koko ajan. Tällä alalla on hyvä visioida mielessään kaikenlaista, keskustella asioista ja huomata, että jotkin niistä todella toteutuvat. Joku oli keksinyt akustiseen levitointiin perustuvan vetosäteen. Styroksia ohjattiin äänikentässä, joka sintrattiin radioaaltojen avulla. Boeing on patentoinut tekniikan. Tämä on hyvä esimerkki siitä, kuinka ala kehittyy. Kaikki on mahdollista – kaikki riippuu vain ajasta. [16.]

Katastrofialueille voitaisiin pystyttää nopeasti hätämajoituksia 3D-tulostamalla taloja. Suomen isojen säävaihteluiden vuoksi talojen 3D-tulostaminen ei tule kuitenkaan Suomessa olemaan arkipäivää. [16.]

Lähes kaikkea voidaan tulostaa: ihoa ja silkkiä, myös sisäelimiä, mutta asia on vielä tutkimusasteella. Enimmäkseen tehdään anatomisia havainnollistavia malleja. Ihmisen vartalon osa 3D-skannataan ja luodaan kohteesta 3D-tulostettu malli. Näin lääkärit voivat harjoitella toimenpidettä ennen varsinaista operaatiota, jolloin leikkausaika on lyhyempi ja komplikaatoriskit pienemmät. [16.]

Kenties tulevaisuudessa voisi tulostaa täydellistä lasia tai posliinia. Olisiko 3D-kuvatusta kohteesta laillista tehdä oma versio omaan käyttöön? Jos tuotetta hieman muokkaisi, olisiko se silloin uusi tuote ja vapaasti myytävissä? Pian tämä on yhtä helppoa kuin musiikin kopioiminen kasetille tai CD-levylle. Asia kannattaisi yrityksissä kääntää voitoksi. [16.]

Nykyisin laitteet suunnitellaan rikkoutuviksi, mutta se ei ole kestävä kehitystä. Internetistä on löydettävissä 3D-tulostettavia varaosia [1], ja laitevalmistajien on vastattava tähän. Valmistajien täytyy joko alkaa tehdä tuotteistaan parempia tai kuluttajat alkavat itse tehdä parempia varaosia. Itse 3D-tulostamalla varaosan hinta tulee myös edulliseksi ja on ympäristöystävällinen, koska varaosan voi tulostaa biohajoavasta muovista. [16.]

3D-tulostusratkaisujen myötä yritykset voisivat pienentää nykyisiä varastojaan ja tulostaa asiakkaille varaosia tarpeen mukaan. Tuotteen valmistusprosessiin on kuitenkin kehitettävä hyvä laadunvalvonta, jotta varaosaturvallisuuteen liittyvät seikat tulevat täytettyä. On tulossa myös itsepalvelutyypisiä 3D-tulostuspalveluita on tulossa, jotka sisältävät automaattisen laadunvarmistuksen ja toimitusketjun. [16.]

Voidaan tehdä lääkkeitä, jotka ohjautuvat suoraan syöpäsoluun, ja kehon ulkopuolelta voidaan ohjata lääke kohteeseen. Laite, jolla voidaan sormenpäästä katsoa, minkälainen aamiainen on henkilökohtaisesti optimaalisin, voisi sekoittaa aamiaisen juuri sellaiseksi, kuin tarve on. [16.]

Silmälaseja ei tehdä vain yksittäistä asiakasta varten, vaan ne ovat aina yleismalliset. Jos silmälaseista halutaan täysin istuvat, ihmisen kasvot tulee 3D-skannata. Tällöin voidaan valmistaa aidosti istuvat lasit. [16.]

Jos henkilöllä on ongelmia vaikkapa jaloissa tai ryhdissä, hänet tulisi 3D-skannata ja tehdä henkilölle soveltuvat kengän lestit ja pohjat. Urheilussa tätä on käytetty jo pitkään. Amerikkalaisessa jalkapallossa kenkien piikit tulostetaan yksilöllisesti kullekin pelaajalle. [16.]

3D-tulostus mahdollistaa tieteisfantasioiden toteutumisen. Nykyään voidaan valmistaa tuotteita, jotka ovat ennen olleet mahdottomia toteuttaa. [16.]

5.2 Suurikoinen 3D-teknologia: talot ja sillat

3D-tulostaminen ei ole enää vain pienessä mittakaavassa toteutettavaa mallien tulostamista, vaan jopa talojakin voidaan 3D-tulostaa. Perinteiseen talon rakentamiseen verrattuna 3D-tulostustekniikan etuna ovat nopea valmistusaika, edullinen hinta ja ylimääräisenä lisänä uuden teknologian viehätys. Talojen 3D-tulostaminen ja talojen 3D-suunnittelu ovat jo aitoa vakavasti otettavaa yritystoimintaa (kuva 20). [37.]



Kuva 20. 3D-tulostettu talo Meksikossa vuonna 2019 [38].

Nopeaa ja edullista rakentamista tarvitaan erityisesti kehitysmaiden tarpeisiin ja kriisialueille, jolloin heikkolaatuisista asumuksista voidaan osittain luopua ja siirtyä huomattavan paljon mukavampaan, toimivampaan ja laadukkaampaan asumiseen. [39.]

Talojen 3D-tulostustekniikkaa hyödynnetään muuallakin kuin kehitysmaissa. Dubaissa sijaitsee vuonna 2019 rakennettu tyylikäs ja toistaiseksi suurikokoinen 3D-tulostettu rakennus (kuva 21). Talossa on kaksi kerrosta, rakennuksen korkeus on 9,5 metriä ja siinä on 640 neliömetriä sisätilaa. Rakennus on toimistokäytössä. [40.]



Kuva 21. 3D-tulostettu talo Dubaissa [41].

3D-tulostaminen tapahtuu suurikokoisella 3D-tulostimella ja käytettävä tulostusaine on betoni (kuva 22).



Kuva 22. Yksityiskohta talon 3D-tulostusprosessista [42].

Siltojakin jo valmistetaan 3D-tulostamalla. Alan kehityksen tässä vaiheessa kokoluokkana on kävelysillat. Kiinan Shanghaissa on valmistettu betonisilta, joka

koostuu 44:stä 3D-tulostetusta osasta ja kaiteet 68 osasta (kuvat 23 ja 24). Silta on 26,3 metriä pitkä ja 3,6 metriä leveä. [43.]



Kuva 23. 3D-tulostettu kävelysilta Kiinassa [43].



Kuva 24. Kävelysillan 3D-tulostusta [43].

Alankomaissa on toteutettu Amsterdamin kanaalin ylittävä 12 metriä pitkä 3D-tulostettu metallisilta (kuvat 25 ja 26) [44].



Kuva 25. Metallinen kävelysillan 3D-tulostus meneillään Alankomaissa [45].



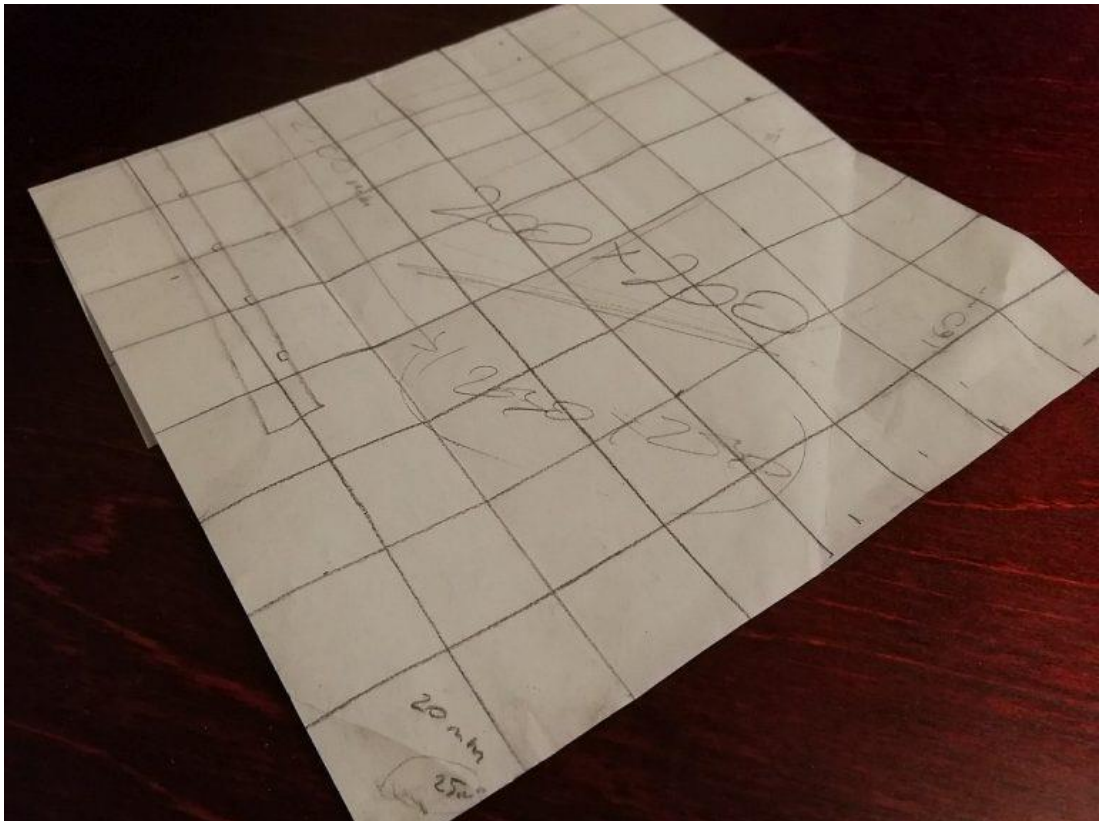
Kuva 26. 3D-tulostettu kävelysilta Alankomaissa. [46].

6 Shakkilaudan tulostus

Insinööriyön osana haluttiin toteuttaa itse jokin kiinnostava 3D-tulostustyö suunnittelusta lopputuotteen viimeistelyyn asti. Kohteeksi valittiin shakkilaudan ja shakkinappuloiden 3D-tulostus. Tulostustekniikkana oli FFF (Fused-Filament Fabrication).

6.1 Suunnittelu

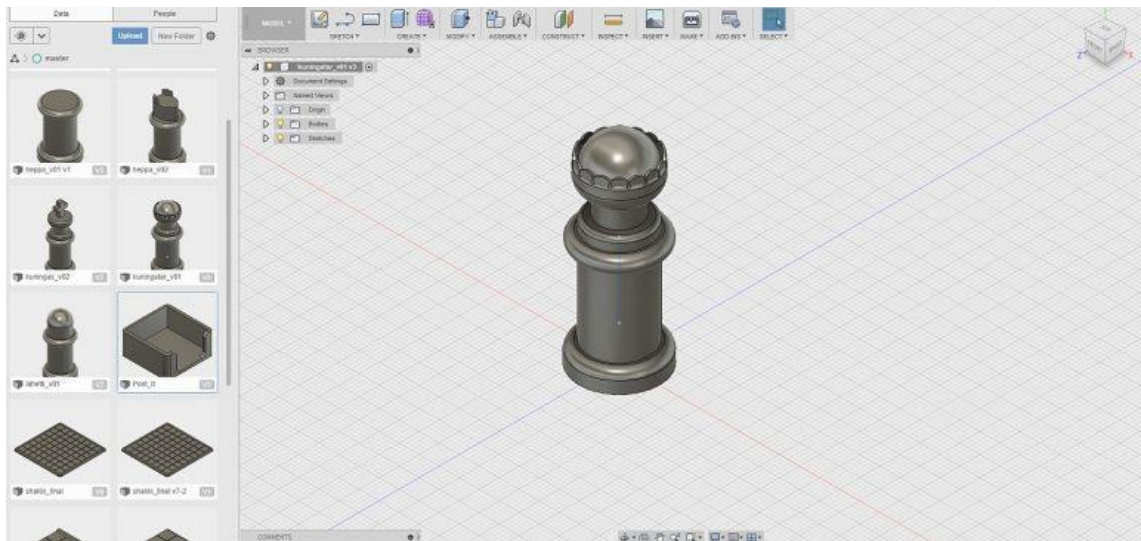
Työ alkoi pelilaudan koon hahmottelulla, johon nopein ja havainnollisin tapa oli suunnittelu paperin avulla (kuva 27). Tällöin myös pelilaudan ruudukko oli helppo mitata ja hahmotella ja pelinappuloiden sopivin koko selkiintyi.



Kuva 27. Shakkilaudan hahmottelua paperille.

Suunnittelussa käytettiin Autodesk Fusion 360 -ohjelmaa [47], jossa 3D-mallit suunniteltiin alusta loppuun asti. Valmiit mallit (kuva 28) siirrettiin Ultimaker Cura -

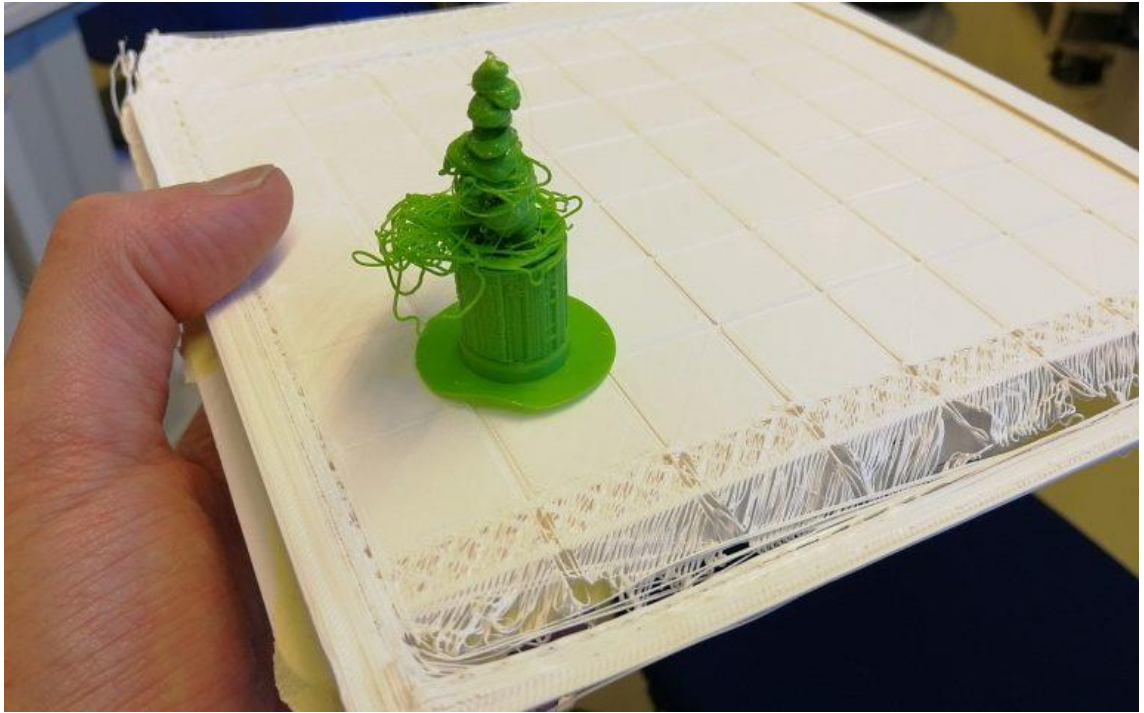
ohjelmaan [48], jossa mallit valmistettiin varsinaista 3D-tulostamista varten. Tulostuslaitteina käytettiin Ultimaker 2+- ja 3-tulostimia [49, 50].



Kuva 28. CAD-suunniteltu shakkinappula Autodesk Fusion 360 -ohjelmassa [47].

6.2 Testitulostukset

Shakkilaudan tulostusaika nopeilla asetuksilla oli 13 tuntia ja testitulostuspelinappulan tulostusaika 40 minuuttia. Tulosteet jätettiin tulostumaan itsekseen yön yli. Aamulla 3D-tulostuksen lopputulos oli nähtävillä, mutta työn tulos yllätti (kuva 29). Tulosteet olivat alkuvaiheessa tulostuneet normaalisti, mutta myöhemmin tulostuksen edetessä jotain oli mennyt vikaan.



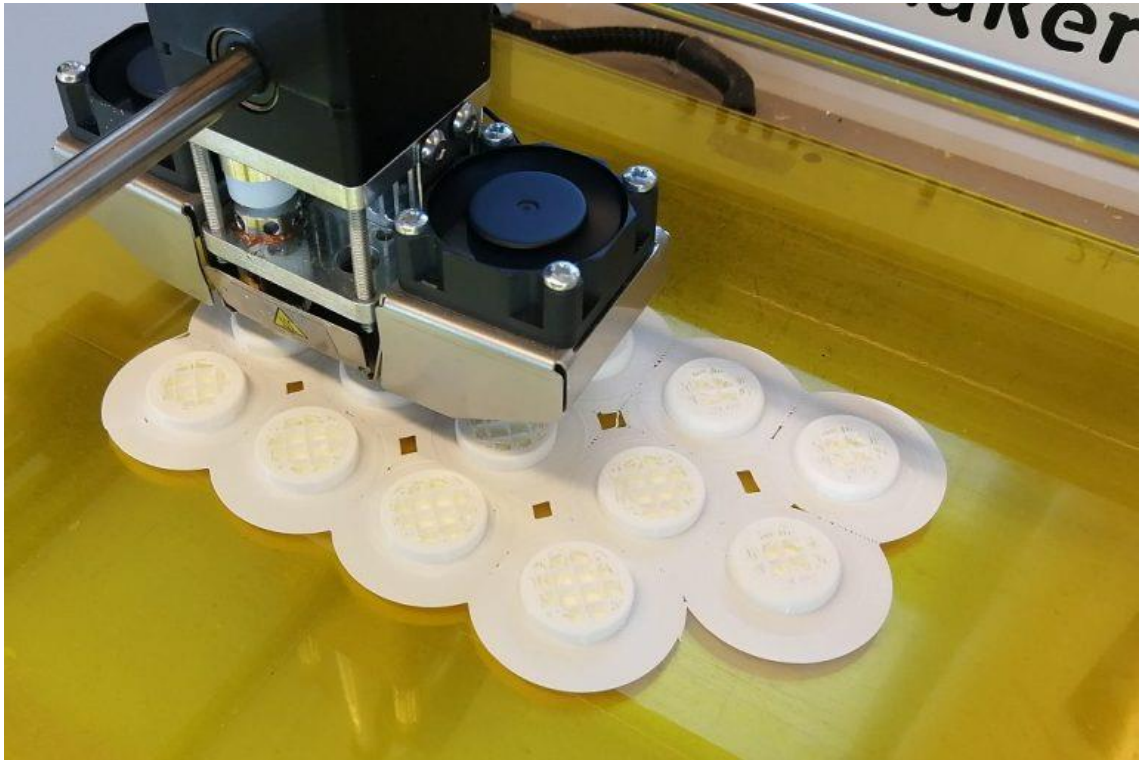
Kuva 29. Epäonnistuneet testitulosteet.

Aluksi ongelma tuntui mystiseltä. Ratkaisu oli 3D-tulostimien uudelleenkalibrointi. Kalibrointi onnistui sujuvasti laitteiden LCD-näyttöjen ohjeiden mukaisesti, ja testipelinappulan 3D-tulostus lopulta onnistui (kuva 30).



Kuva 30. Testishakinappulan onnistunut tulostus. Vasemmalla tukimateriaali paikoillaan. Oikealla tukimateriaalin poiston jälkeen.

Onnistuneiden testitulostusten jälkeen tulostettiin useampi shakkinappula (kuva 31).



Kuva 31. Nappuloiden tulostus Ultimaker 2+ -tulostimella.

3D-tulostus onnistui (kuva 32). Shakkinappuloissa oli kuvanottohetkellä vielä tukimateriaalit paikoillaan.



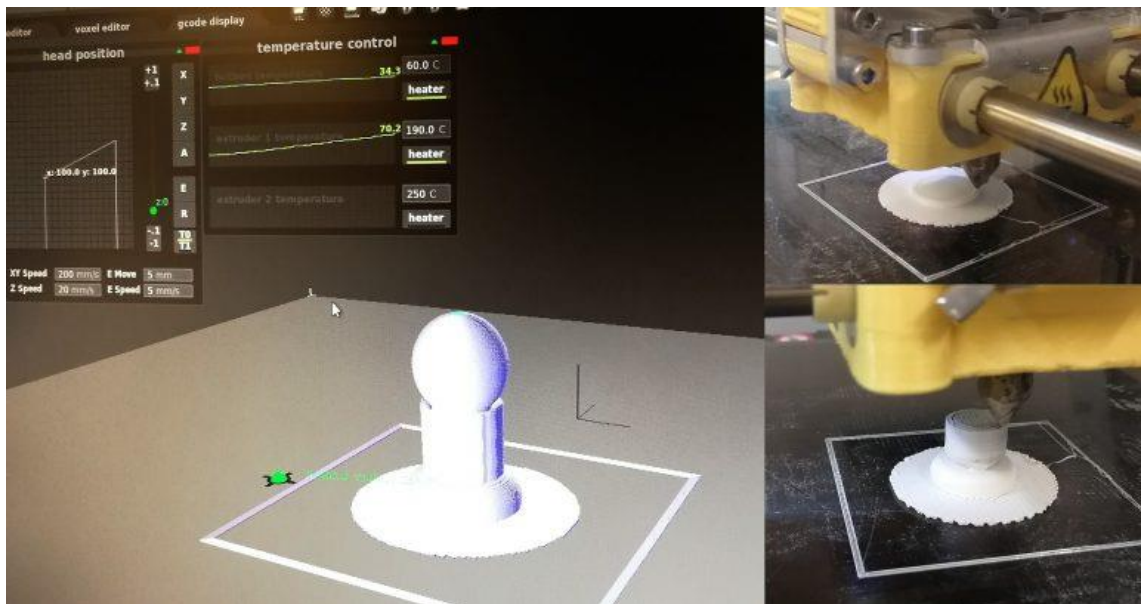
Kuva 32. Shakkinäppulät onnistuneesti tulostuneet.

Shakkilaudan 3D-tulostus toteutettiin Zmorph-tulostimella ja Voxelizer-ohjelmiston avulla [50; 51]. Työ alkoi laitteen kalibroinnilla (kuva 33).



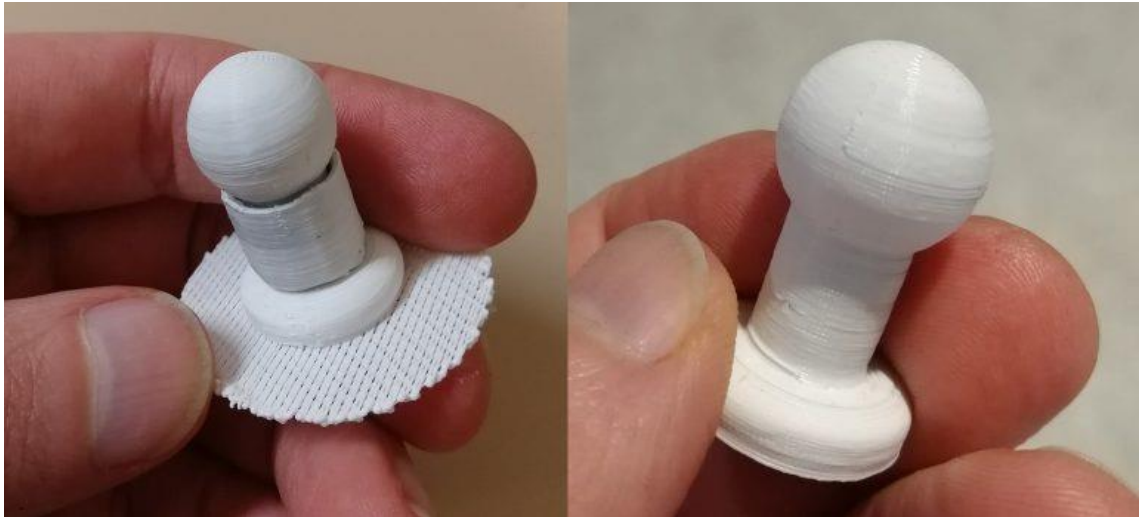
Kuva 33. Zmorph-tulostimen manuaalinen kalibrointi käynnissä.

Kalibronnin jälkeen testinappula esivalmisteltiin Voxelizer-ohjelmassa, minkä jälkeen käynnistettiin tulostus (kuva 34).



Kuva 34. Testinappulan suunnittelu ja 3D-tulostaminen.

Testinappulan tulostaminen onnistui (kuva 35).



Kuva 35. Testinappula. Vasemmalla tukimateriaalien kanssa, oikealla tukimateriaalit poistettu.

Hyvin onnistuneesta testistä huolimatta shakkilaudan tulostaminen epäonnistui, vaikka tulostuslevy oli tarkkaan puhdistettu ennen tulostustyön aloittamista (kuva 36).



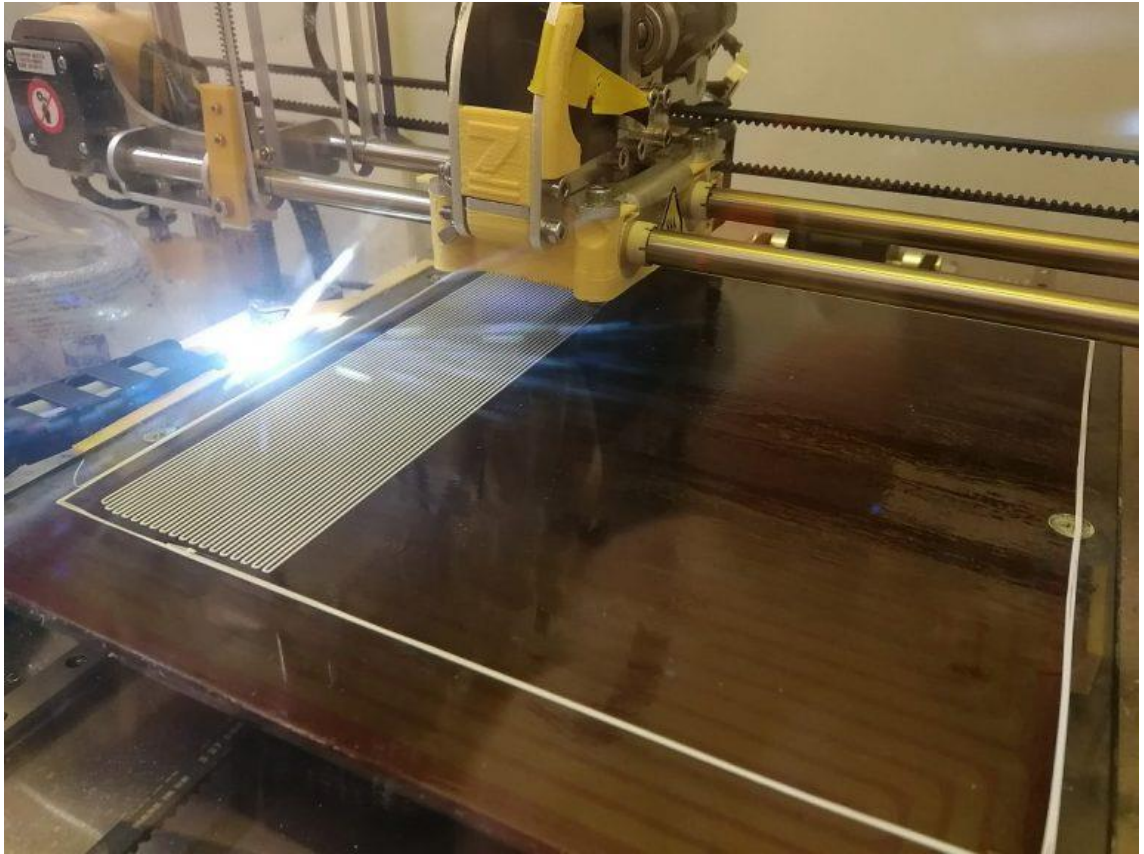
Kuva 36. Epäonnistunut 3D-tulostus Zmorph-tulostimella.

Ratkaisuksi löytyi 3D-tulostuslevyyn tarkoitettu liima, joka tulee levittää tulostuslevylle tarkasti, tasaisesti ja ohuesti (kuva 37).



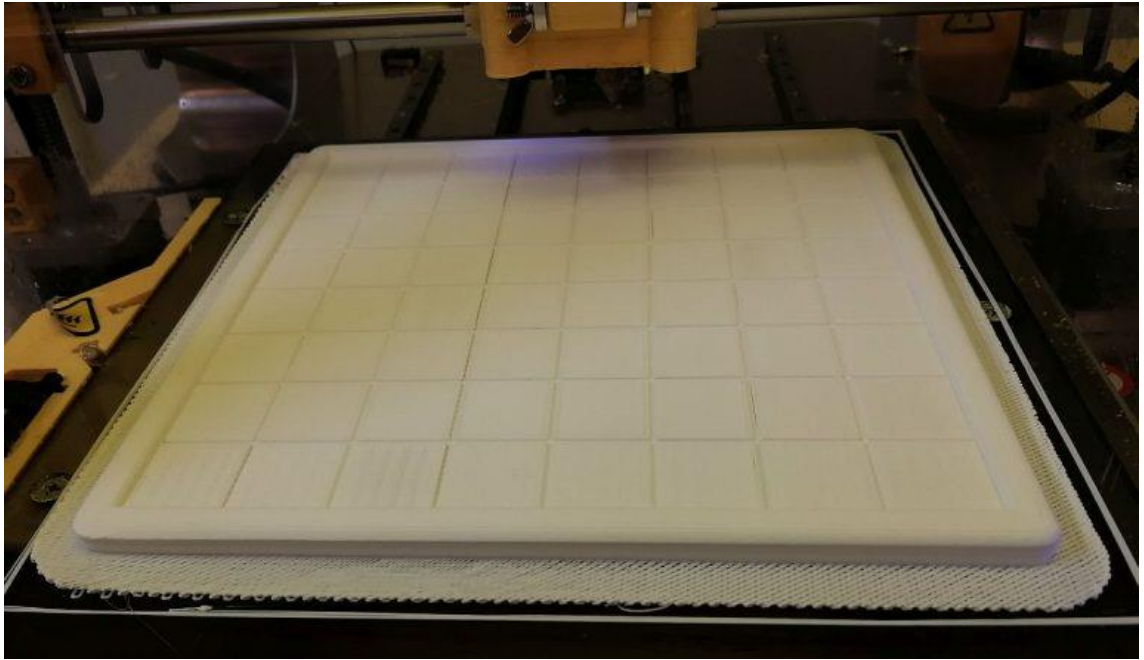
Kuva 37. Liima 3D-tulostinlevyä varten.

Liiman levittämisen jälkeen tulostus käynnistettiin ja alku vaikutti lupaavalta (kuva 38).



Kuva 38. 3D-tulostus onnistuneesti käynnissä.

Shakkilaudan tulostus onnistui täydellisesti (kuva 39).



Kuva 39. 3D-tulostettu shakkilauta.

Shakkilaudan ja -nappuloiden tulostusten jälkeen toteutettiin mallien maalaaminen emalimaalein (kuva 40).



Kuva 40. Maalipurkit.

Huolellisen maalaamisen myötä shakkilauta alkoi näyttää hienolta (kuva 41).



Kuva 41. Shakkilaudan maalaus.

Valmiiksi maalattu shakkilauta (kuva 42).



Kuva 42. Shakkilauta maalattu.

6.3 3D-tulostuksen kustannuslaskelma

Shakkilaudan ja -nappuloiden kustannuslaskelmassa hyödynnettiin sivustoa Shapeways [53], joka tarjoaa 3D-mallien tulostuspalveluita muoveista metalleihin – jopa arvometalleihin. Tässä laskelmassa selvitettiin edullisin hinta, jolla mallit voitaisiin tulostaa Shapeways-yrityksen kautta. Materiaaliksi valittiin Versatile Plastic, joka tarkoittaa polyamidi- (PA) eli nylon-muovia. [54; 55.] Kustannuslaskelma taulukkona (taulukko 1).

Taulukko 1. Tulostettavien 3D-mallien kustannuslaskelma.

Tulostettava malli	Kappale-hinta, euroa	Kappale-määrä	Yhteensä, euroa (PA)	Kappale-hinta, euroa (alumiini)	Yhteensä, euroa (alumiini)
Hevonen	6,90	4	27,60	107,80	431,20
Kuningas	8,11	2	16,22	126,61	253,22
Kuningatar	8,11	2	16,22	129,84	259,68
Lähetti	7,45	4	29,80	121,10	484,40
Sotilas	5,66	16	90,56	69,88	1.118,08
Torni	6,38	4	25,52	96,63	386,52
Shakkilauta	202,03	1	202,03	3.865,40	3.865,40
Yhteensä	244,64	33	407,95	4.517,26	6.798,50
Valmistuskus-tannukset			24,29		
Toimituskus-tannukset			15,83		
Kokonaishinta			448,08		

Muovin (PA) vertailukohtaksi valittiin alumiini. Taulukossa on listattuna tulostettavat mallit ja kustannukset euroina. PA-muovilla tulostettaessa kustannukset ovat kohtuulliset. Alumiiniksi tulostettaessa kustannukset nousee huomattavasti. Valmistus- ja toimituskustannukset on mainittu PA-muovin osalta.

7 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteet pääosin onnistuivat. Helsingin kirjastoissa käytiin tutustumassa toimintaan ja keskusteltiin työntekijöiden kanssa. Maker3D-yrityksessä toteutettiin haastattelu, tutustuttiin yrityksen toimintaan, laitteisiin, keskusteltiin 3D-tulostuksen nykytilanteesta ja visioitiin tulevaisuuden näkymiä. Keskustelut olivat hedelmällisiä ja kiinnostavia. Messuiksi valittu Tampereella järjestettävä 3D&NEW MATERIALS -ammattilaismessut peruuntuivat ennakkoon arvaamattoman maailmanlaajuisen koronavirus (COVID-19) -kriisin vuoksi. Messutapahtuma siirrettiin tulevaisuuteen myöhemmin ilmoitettavaan ajankohtaan.

3D-tulostus on löytänyt paikkansa uudehkona tekniikkana tuotteiden valmistuksessa. Se mahdollistaa yksilöllisten esineiden valmistamisen suhteellisen sujuvasti niin yksilön kuin yritystenkin tarpeisiin. Laitteistoja ja tekniikoita on olemassa runsaasti. Laitteita on saatavilla edullisista ja kompakteista kuluttajatuotteista hyvinkin arvokkaisiin suurempikokoisiin yrityslaitteisiin. 3D-tulostus mahdollistaa aivan uudenlaisten tuotteiden valmistamisen, jotka aiemmin olivat vain korkealentoisia haaveita. Lukuisat kirjastot ja alalla toimivat yritykset tarjoavat asiantuntevaa apua ja tietoa tavalliselle kuluttajalle. Alan yrityksissä tietotaito on ollut vahvaa jo pitkään.

3D-tulostusalalla toimivat yritykset ovat löytäneet paikkansa markkinoilta, ja niillä on kiinnostavia tulevaisuuden näköaloja. 3D-tulostuksessa ei ole läheskään kaikkea vielä nähty. Tulevaisuudessa uudet innovaatiot toteuttavat mahdollisimminakin pidettäviä asioita. Vain mielikuvitus on rajana 3D-maailman mahdollisuuksien toteuttamisessa. 3D-tulostuksen etuna on myös erittäin nopea reagointi kuten koronaviruspandemiakin osoittaa: 3D-tulostustekniikka pelastaa jopa ihmishenkiä.

3D-tulostus ei ole vain pienoismallien 3D-tulostamista, vaan alalle on kehittynyt suunnittelua ja tuotantoa myös suuressa mittakaavassa, kuten esimerkiksi talot ja sillat.

Oman 3D-tulostustyön toteuttaminen osana insinööriyötä oli onnistunut ja opettava kokemus, joka vahvisti luottamusta 3D-tuotteiden tulevaisuuteen. Mallit onnistuivat alun haasteista huolimatta erinomaisesti. Mallit tulostettiin FFF-tekniikalla. Metallien tulostaminen olisi myös ollut kiinnostavaa, mutta siihen ei tämän insinööriyön puitteissa ollut aikaa eikä tarvetta. Mallit voi valmistaa myös internetin kautta kohtuullisin

kustannuksin PA-muovilla. Metalliksi tulostettaessa mallien valmistuskustannus kohoaa huomattavasti.

Lähteet

- 1 MakerBot Thingiverse. 2020. Verkkoaineisto. MakerBot Industries. <<https://www.thingiverse.com/>>. Luettu 19.3.2020.
- 2 Paukku, Timo. 2013. Kymmenen uutta ihmettä – teknologiat jotka muuttavat maailmaa. Helsinki: Gaudeamus.
- 3 Lohilahti, Jarkko. 2018. Vertailussa FDM-, SLA- ja SLS- teknologiat. Verkkoaineisto. Maker3D. <<https://www.3d-tulostus.fi/uutiset/Vertailussa-FDM-SLA-ja-SLS-teknologiat>>. 10.8.2018. Luettu 2.5.2020.
- 4 2020 Types of 3D Printing Technology. 2020. Verkkoaineisto. All3DP. <<https://all3dp.com/1/types-of-3d-printers-3d-printing-technology>>. 7.2.2020. Luettu 2.5.2020.
- 5 Hackett, Chris. 2014. The Big Book of Maker Skills. Weldonowen.
- 6 Manufacturers of FDM 3D printers. Verkkoaineisto. Kimya. <<https://www.kimya.fr/en/manufacturers-of-fdm-3d-printers>>. Luettu 27.4.2020.
- 7 Stereolitografia. Verkkoaineisto. Protolabs. <<https://www.protolabs.fi/palvelut/3d-tulostus/stereolitografia>>. Luettu 26.4.2020.
- 8 3D Printing – Stereolithography (SLA). Verkkoaineisto. Re-FREAM. <<https://www.re-fream.eu/portfolio/3d-printing-stereolithography-sla/>>. Luettu 27.4.2020.
- 9 3D-tulostus: Katsaus tekniikkaan. Verkkoaineisto. Materflow. <<https://www.materflow.com/teknologiakatsaus/>>. Luettu 27.4.2020.
- 10 Bugatti Brake Calipers 3D Printed with SLM Solutions. Verkkoaineisto. YouTube. <<https://youtu.be/tMGHpo0Ozuo>>. Luettu 27.4.2020.
- 11 DMLS tulostettu malli. Verkkoaineisto. 3D Logics. <<https://3dlogics.com/blog/2018/6/25/how-many-kinds-of-3d-printing>>. Luettu 27.4.2020.
- 12 Kirjaston työntekijä. 2020. Helsingin keskustakirjasto Oodi, Helsinki. Keskustelu 27.1.2020.
- 13 Lamas, Tomas. 2020. Mediatyöntekijä, Helsingin keskustakirjasto Oodi, Helsinki. Sähköpostikeskustelu. 4.2.2020.

- 14 Kirjaston työntekijä. 2020. Oulunkylän kirjasto, Helsinki. Keskustelu 27.1.2020.
- 15 Yritys. Verkkoaineisto. Maker3D. <https://www.3d-tulostus.fi/epages/3dtulostus.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/20131018-11092-264846-1/Categories/Yritys>. Luettu 17.5.2020.
- 16 Kumpulainen, Joni. 2020. Myynti ja markkinointi, Maker3D, Helsinki. Haastattelu. 31.1.2020.
- 17 de Vries, Caspar. 2017. Volkswagen Autoeuropa: Maximizing production efficiency with 3D printed tools, jigs, and fixtures. Verkkoaineisto. Ultimaker. <<https://ultimaker.com/learn/volkswagen-autoeuropa-maximizing-production-efficiency-with-3d-printed>>. Luettu 10.3.2020.
- 18 van de Staak, Steven. 2019. Heineken: Ensuring production continuity with 3D printing. Verkkoaineisto. Ultimaker. <<https://ultimaker.com/learn/heineken-ensuring-production-continuity-with-3d-printing>>. Luettu 10.3.2020.
- 19 International Space Station's 3-D Printer. 2014. Verkkoaineisto. Nasa. <<https://www.nasa.gov/content/international-space-station-s-3-d-printer>>. Luettu 28.3.2020.
- 20 The World's First 3D Printed Turbocharger. 2020. Verkkoaineisto. Turbo Dynamics. <<https://www.turbodynamics.co.uk/media/blog/3d-printed-turbocharger>>. Luettu 5.4.2020.
- 21 Biehler, John & Fane, Bill. 2014. 3D Printing with Autodesk 123D. Que Publishing.
- 22 Protolabs. Verkkoaineisto. Protolabs. <<https://www.protolabs.fi>>. Luettu 27.4.2020.
- 23 Ajatec. Verkkoaineisto. Ajatec. <<https://ajatec.fi>>. Luettu 27.4.2020.
- 24 3D-tulostimet. Verkkoaineisto. Maker3D. <<https://www.3d-tulostus.fi>>. Luettu 27.4.2020.
- 25 An-CADSolutions. Verkkoaineisto. An-CADSolutions. <<https://www.an-cadsolutions.fi>>. Luettu 27.4.2020.
- 26 Materflow. Verkkoaineisto. Materflow. <<https://www.materflow.com>>. Luettu 27.4.2020.

- 27 Plastmode. Verkkoaineisto. Plastmode.<<https://plastmode.fi>>. Luettu 27.4.2020.
- 28 Rantanen, Kalevi. 2020. Kolmiulotteinen tulostus tekee ketterästi lääketieteen laitteiden ja suojaimien osia – menetelmälle nyt uudenlainen tarve. Verkkoaineisto. Helsingin Sanomat. <<https://www.hs.fi/tiede/art-2000006468463.html>>. Luettu 4.5.2020.
- 29 Huusko, Anna. 2020. Merkittäviä 3D-tulostusinnovaatioita ja onnistumisia maailmalta; 3D-tulostamisen hyödyntämisessä pitää käyttää harkintaa kriisitilanteessakin. Verkkoaineisto. MFG 4.0 <<https://mfg40.fi/merkittavia-3d-tulostusinnovaatioita-ja-onnistumisia-maailmalta-3d-tulostamisen-hyodyntamisessa-pitaa-kayttaa-harkintaa-kriisitilanteessakin/>>. Luettu 4.5.2020.
- 30 Sher, Davide. 2020. [Updating] Italian hospital saves Covid-19 patients lives by 3D printing valves for reanimation devices. Verkkoaineisto. 3D Printing Media Network. <<https://www.3dprintingmedia.network/covid-19-3d-printed-valve-for-reanimation-device/>>. Luettu 4.5.2020.
- 31 Hämäläinen, Tuukka. 2016. 3D-tulostus lisääntyy myös lääketieteessä: ”Ihmiset uskovat nyt sen mahdollisuuksiin”. Verkkoaineisto. Muropaketti. <<https://muropaketti.com/tietotekniikka/3d-tulostus-lisaantyy-myos-laaketieteessa-ihmiset-uskovat-nyt-sen-mahdollisuuksiin/>>. Luettu 5.5.2020.
- 32 Fox, Maggie. 2012. Modern medicine: Lab-grown genitals, spray-on skin. Verkkoaineisto. NBC News. <http://www.nbcnews.com/id/48976348/ns/health-mens_health/t/modern-medicine-lab-grown-genitals-spray-on-skin/>. Luettu 5.5.2020.
- 33 Eskelilä, Tom. 2019. Digitaalinen hammaslääketiede: 5 asiaa joilla 3D-tulostus on mullistanut hampaiden hoitoalaa. Verkkoaineisto. Maker3D. <https://www.3d-tulostus.fi/epages/3dtulostus.sf/fi_FI/?ViewObjectID=5648763&ViewAction=ViewTag&Tag=l%C3%A4%C3%A4ketiede>. 10.6.2019. Luettu 5.5.2020.
- 34 Petch, Michael. 2016. Elon Musk Shows How 3D Printing Powers Mission to Colonize Mars. Verkkoaineisto. 3D Printing Industry. <<https://3dprintingindustry.com/news/elon-musk-shows-3d-printing-powers-mission-colonize-mars-96417/>>. Luettu 28.3.2020.
- 35 Griffiths, Laura. 2019. HP announces 3D printing partnerships, services and million-part milestones. Verkkoaineisto. The Magazine for Design-to-manufacturing Innovation. <<https://www.tctmagazine.com/3d-printing-news/hp-3d-printing-services-partnerships-milestones/>>. Luettu 29.3.2020
- 36 Digitaaliset varaosat. 2018. Verkkoaineisto. Aaltodoc. <<https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/30188>>. Luettu 9.3.2020.

- 37 Niemi, Veikka. 2018. Melkoinen keksintö! 3d-tulostin rakentaa yhdessä päivässä 74 neliön halvan kivitalon. Verkkoaineisto. Tekniikan maailma. <<https://tekniikanmaailma.fi/melkoinen-keksinto-3d-tulostin-rakentaa-yhdessa-paivassa-74-nelion-halvan-kivitalon/>>. Luettu 5.4.2020.
- 38 Introducing the Vulcan II. 2019. Verkkoaineisto. Icon. <<https://www.iconbuild.com/>>. 25.10.2019. Luettu 5.4.2020.
- 39 New Story + ICON : 3D Printed Homes for the Developing World. 2018. Verkkoaineisto. 3Dhome.org. YouTube. <<https://youtu.be/SvM7jFZGAec>>. Luettu 5.4.2020.
- 40 Cheniuntai, Nikita. 2019. Collaborative project with Dubai municipality. Verkkoaineisto. Apis Cor. <<https://www.apis-cor.com/dubai-project>>. 25.10.2019. Luettu 5.4.2020.
- 41 3D printed building. Verkkoaineisto. Apis Cor. <<https://www.apis-cor.com/dubai-project>>. Luettu 5.4.2020.
- 42 The biggest 3d printed building. 2019. Verkkoaineisto. YouTube. <<https://youtu.be/69HrqNnrfh4>>. Luettu 5.4.2020.
- 43 Walsh, Niall Patrick. 2019. World's Largest 3D-Printed Concrete Pedestrian Bridge Completed in China. Verkkoaineisto. ArchDaily. <<https://www.archdaily.com/909534/worlds-largest-3d-printed-concrete-pedestrian-bridge-completed-in-china>>. 16.1.2019. Luettu 5.4.2020.
- 44 Yalcinkaya, Günseli. 2018. World's first 3D-printed steel bridge unveiled at Dutch Design Week. Verkkoaineisto. <<https://www.dezeen.com/2018/10/22/worlds-first-3d-printed-steel-bridge-completed-mx3d-technology/>>. 22.10.2018. Luettu 5.4.2020.
- 45 Lynch, Patrick. 2017. Work is Underway on The World's First 3D-Printed Metal Bridge. Verkkojulkaisu. <<https://www.archdaily.com/883476/work-is-underway-on-the-worlds-first-3d-printed-metal-bridge>>. 14.11.2017. Luettu 6.4.2020.
- 46 Hedmond, Shane. 2018. Latest Update on World's First 3D Steel Bridge. Verkkojulkaisu. <<https://www.constructionjunkie.com/blog/tag/install+date+of+3d+printed+steel+bridge+amsterdam>>. 25.11.2018. Luettu 6.4.2020.
- 47 Autodesk Fusion 360 overview. Verkkoaineisto. Autodesk Inc. <<https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview>>. Luettu 1.4.2020.

- 48 Johansson, Keijo. 2019. Ultimaker Cura 4.4. Verkkoaineisto. <<https://www.3d-tulostus.fi/uutiset/Ultimaker-Cura-44>>. 25.11.2019. Luettu 1.4.2020.
- 49 Ultimaker 2+ series. Verkkoaineisto. Ultimaker. <<https://ultimaker.com/3d-printers/ultimaker-2-plus>>. Luettu 1.4.2020.
- 50 Ultimaker 3. Verkkoaineisto. Ultimaker. <<https://ultimaker.com/3d-printers/ultimaker-3>>. Luettu 1.4.2020.
- 51 Zmorph 2.0 S. Verkkoaineisto. Aniwaa. <<https://www.aniwaa.com/product/3d-printers/zmorph-zmorph-2-0-s/>>. Luettu 1.4.2020.
- 52 Print Anything. Verkkoaineisto. Voxelizer. <<https://voxelizer.com/>>. Luettu 1.4.2020.
- 53 Shapeways. Verkkoaineisto. <<https://www.shapeways.com>>. Luettu 21.4.2020.
- 54 Versatile Plastic. Verkkoaineisto. Shapeways. <<https://www.shapeways.com/materials/versatile-plastic>>. Luettu 21.4.2020.
- 55 Osa 4 – tekniset muovit. 2016. Verkkoaineisto. Muoviyhdistys. <<http://www.muoviyhdistys.fi/2016/07/15/osa-4-tekniset-muovit>>. Luettu 21.4.2020.