

Jesse Hannonen

Tulevaisuuden markkinapotentiaalit 3D-tulostuksessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Tuotantotalouden koulutusohjelma

Insinöörityö

28.1.2016

Tekijä Otsikko	Jesse Hannonen Tulevaisuuden markkinapotentiaalit 3D-tulostuksessa
Sivumäärä Aika	36 sivua 28.1.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Tuotantotalous
Suuntautumisvaihtoehto	Kansainvälinen ICT-liiketoiminta
Ohjaaja	Yliopettaja Thomas Rohweder
<p>Tämän insinöörityön tarkoituksena oli selvittää 3D-tulostamisen tulevaisuuden kiinnostavia liiketoimintamahdollisuuksia. Työn tavoitteena oli muodostaa perusteltu näkemys liiketoimintamahdollisuuksista alalla jo toimivan tai alalle vasta aikovan yhtiön näkökulmasta seuraavien 3–5 vuoden perspektiivillä.</p> <p>Työ sisältää 3D-tulostuksen taustakuvausten sekä selvityksen alan nykytilasta. Nykytilan selvitys perustuu nykyisin käytössä oleviin tulostusmateriaaleihin ja tulostusmenetelmiin, sekä alan kahdeksan keskeisimmän globaalin toimijan vertailuun. Näiden lisäksi työssä käydään läpi alan keskeisimmät tulevaisuuden näkymät.</p> <p>Työn lopputuotos syntyi nykyisin käytössä olevien tulostusmenetelmien ja materiaalien selvityksen, alan keskeisten kahdeksan globaalin toimijan vertailun, sekä alan tulevaisuuden kehityksen yhteenvedon synteisiin perustuen. Lopputuloksena syntyi viisi kohtaa sisältävä listaus ja päätason kuvaus 3D-tulostuksen tulevaisuuden kiinnostavista markkinapotentiaaleista.</p> <p>Tämä insinöörityöhanke ei ota kantaa lopputuloksena syntyneiden tulevaisuuden markkinapotentiaalien niin sanottuun paremmuusjärjestykseen. Lopputuloksena syntyneen listauksen sisältämät viisi liiketoimintamahdollisuutta erosivat toisistaan paljoltikin, joten näiden vertaileminen ei ole mielekäästä. Tämän johdosta liiketoimintamahdollisuuksien keskinäinen vertailu on rajattu pois tästä insinöörityöhankkeesta.</p>	
Avainsanat	3D-tulostus, tulostusmenetelmät, tulostusmateriaalit, markkinapotentiaali

Author Title	Jesse Hannonen Future Market Potential in 3D Printing Business
Number of Pages Date	36 pages 28 January 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Industrial Management
Specialisation option	International ICT Business
Instructor	Thomas Rohweder, Principal Lecturer
<p>The purpose of this Bachelor's thesis was to explore interesting market opportunities for 3D printing business in the future. The main aim of this thesis was to form a justifiable view of these market opportunities within the perspective of the next 3–5 years, for a company that already operates in 3D printing business or for a company that is planning to start operating in the field of 3D printing.</p> <p>The study provides a background description of 3D printing as well as a description of the current state of the industry based on printing materials and printing methods used nowadays, and a comparison of eight key companies in the industry. In addition, the study explores key future views of the industry.</p> <p>The end results of this study are based on a synthesis of the research on 3D printing methods and materials used nowadays, a comparison of these eight key companies in the industry, and a summary of the future views of the industry. Based on these, a list containing five interesting market opportunities in the future of 3D printing business was formed.</p> <p>This Bachelor's thesis does not take a stand about any ranking order of these market opportunities in the end results of this study. These five market opportunities differed from each other quite much, so a comparison between these is not meaningful. Based on that, a comparison of these future market opportunities is out of the scope of this Bachelor's thesis.</p>	
Keywords	3D printing, printing methods, printing materials, market opportunities

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	3D-tulostuksen taustakuvaus	1
1.2	Liiketoimintahaaste, tavoite ja aiottu lopputuotos	3
1.3	Hankkeen toteutustapa	4
2	3D-tulostuksen nykytila	7
2.1	3D-tulostuksen kehityshistoria	7
2.2	Nykyisin käytössä olevat tulostusmenetelmät ja materiaalit	9
2.2.1	Tulostusmenetelmät	10
2.2.2	Tulostusmateriaalit	13
2.3	Keskeiset globaalit toimijat ja näiden liiketoimintamallit	14
2.3.1	Stratasys	14
2.3.2	3D Systems	15
2.3.3	Materialise	16
2.3.4	ExOne	16
2.3.5	Arcam	17
2.3.6	SLM Solutions	17
2.3.7	Alphaform	17
2.3.8	Voxeljet	18
2.4	Nykytilan yhteenveto	18
3	3D-tulostuksen keskeiset tulevaisuuden näkymät	23
3.1	Tuotteiden paikallinen valmistaminen	24
3.2	Uudet tulostusmateriaalit	24
3.3	Ongelmat lakien ja yksityisyyden suojan suhteen	25
3.4	Teknologian yleistymisen edellytykset	26
3.5	Yhteenveto tulevaisuuden kehityksestä	27
4	Näkemys 3D-tulostuksen kiinnostavista liiketoimintamahdollisuuksista	29
5	Johtopäätökset	32
5.1	Hankkeen yhteenveto	32
5.2	Suosittelut toimenpiteet	32
5.3	Hankkeen onnistumisen arviointi	33

Kuvat

Kuva 1. Insinööritöyhankkeen vaiheet	s. 4
Kuva 2. Insinööritöyhankkeen tiedonkeruun malli	s. 5
Kuva 3. 3D-tulostusprosessin eteneminen	s. 9
Kuva 4. 3D-tulostuksen tulevaisuuden kasvuennusteet	s. 23

Taulukot

Taulukko 1. Nykyisin käytössä olevat tulostusmenetelmä	s. 10
Taulukko 2. Yleisimmät 3D-tulostuksessa käytettävät materiaalit	s. 13
Taulukko 3. 3D-tulostuksen keskeisten globaalien toimijoiden vertailu	s. 19
Taulukko 4. 3D-tulostamisen tulevaisuuden näkymät	s. 27
Taulukko 5. 3D-tulostamisen tulevaisuuden kiinnostavat liiketoimintamahdollisuudet	s. 33

Lyhenteet

CAD	<i>Computer-aided Design</i> – Tietokoneavusteinen suunnittelu.
DMP	<i>Direct Metal Printing</i> – 3D Systemsin pikavalmistusmenetelmä metallisten objektien valmistamiseen.
DMLS	<i>Direct Metal Laser Sintering</i> – Pikavalmistusmenetelmä metallisten objektien valmistamiseen.
EBM	<i>Electronic Beam Melting</i> – Pikavalmistusmenetelmä metallisten objektien valmistamiseen.
FDM	<i>Fused Deposition Modeling</i> – Pikavalmistusmenetelmä muovisten objektien valmistamiseen.
LOM	<i>Laminated Object Manufacturing</i> – Pikavalmistusmenetelmä paperisten objektien valmistamiseen.
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i> – Amerikkalainen yliopisto.
RP	<i>Rapid Prototyping</i> – Pikavalmistaminen.
SLA	<i>Stereolithography</i> – Pikavalmistusmenetelmä muovisten objektien valmistamiseen.
SHS	<i>Selective Heat Sintering</i> – Pikavalmistusmenetelmä muovisten objektien valmistamiseen.
SLM	<i>Selective Laser Melting</i> – Pikavalmistusmenetelmä metallisten objektien valmistamiseen.
SLS	<i>Selective Laser Sintering</i> – Pikavalmistusmenetelmä muovisten objektien valmistamiseen.
UAM	<i>Ultrasonic Additive Manufacturing</i> – Pikavalmistusmenetelmä metallisten objektien valmistamiseen.

1 Johdanto

Tässä luvussa kuvaillaan, mitä on 3D-tulostus sekä mikä on tämän insinööriyhankkeen liiketoimintahaaste, tavoite ja aiottu lopputuotos. Näiden lisäksi myös koko hankkeen toteutustapa on kuvattu tässä luvussa.

1.1 3D-tulostuksen taustakuvaus

3D-tulostus, eli materiaalia lisäävä valmistus on prosessi, jolla tarkoitetaan digitaalisesta tiedostosta tehtävää kolmiulotteisen objektin valmistusta. 3D-tulostuksessa materiaalia lisätään tulostettavaan objektiin kerros kerrokselta, kunnes haluttu objekti on täysin valmis.

Tulostusprosessi alkaa tulostettavan objektin suunnittelulla, jonka suorittaminen on mahdollista käyttäen kahta eri teknologiaa. Ensimmäinen vaihtoehto on uuden objektin piirtäminen käyttäen CAD-ohjelmaa ja toinen on jonkin jo olemassa olevan objektin mallintaminen käyttäen 3D-skanneria, joka tarkoittaa, että jokin objekti kuvataan monesta eri kulmasta siihen erityisesti suunnitellulla laitteella, jonka jälkeen tämä laite muodostaa kuvista tulostettavan tiedoston. Tämän jälkeen 3D-tulostimella voidaan tulostaa haluttu objektin digitaalisen tiedoston perusteella. (3DPrinting.com 2015.)

Monet 3D-tulostimet toimivat eri periaatteilla, ja nämä periaatteet eroavat toisistaan pääosin tavalla, jolla tulostettavan objektin kerrokset muodostetaan (3DPrinting.com 2015). Näitä teknologioita ovat muun muassa *EBM*, *FDM*, *LOM*, *SLA*, *SLM* ja *SLS* (3D Printing from scratch 2015). Käytettävän menetelmän valintaan vaikuttavat paljolti muun muassa tulostusmateriaalit, joita on nykyisin laaja kirjo aina papereista metalleihin, muoveista lasiin ja kemikaaleista rakennusmateriaaleihin. Nykyisin pystytään tulostamaan jopa ihmisten kudosta, joten voitaneenkin sanoa, että 3D-tulostettavia objekteja pystytään nykyisin tulostamaan lähes mistä tahansa materiaalista.

3D-tulostamista käytetään nykyisin laajasti eri toimialoilla. Suurimmat tämän teknologian käyttöönsä omaksuneet toimialat ovat lentoteollisuus, rakennusteollisuus, autoteollisuus, elektroniikkateollisuus, lääketeollisuus ja aseteollisuus. 3D-tulostus on myös

paljolti käytössä koulutustarkoituksessa ja erilaisten muottien valmistuksessa. (Javelin Technologies Inc. 2015.)

3D-tulostamista on käytetty jo 1980-luvulta lähtien (McLellan 2014), mutta monille asian parissa toimimattomille koko termi saattaa vieläkin olla täysin tuntematon. Erityisesti kuluttajapuolella tämä johtuu siitä, että kuluttajille suunnattuja tulostimia ei ole ollut saatavilla kohtuullisessa hintaluokassa vielä kovinkaan kauan. Ensimmäinen alle 10 000 USA:n dollaria maksava tulostin tuli markkinoille itse asiassa vasta vuonna 2007, eikä tämäkään saavuttanut suurta menekkiä (3D Printing Industry 2014).

Vuonna 2004 tohtori Adrian Bower oli jo kuitenkin aloittanut *RepRap*-projektin, jonka tarkoituksena oli luoda 3D-tulostin, joka kykenee tulostamaan itse suurimman osan osistaan ja on täten edullinen valmistaa (3D Printing Industry 2014; RepRap 2015). Ensimmäinen *RepRap*-tulostin valmistui kuitenkin vasta vuonna 2008, ja sitä voidaankin pitää 3D-tulostimien yleistymisen kannalta käänteen tekevänä vuotena (RepRap 2011). Nykyisin *RepRap*-tulostimia on jo lukemattomia eri versioita, koska se perustuu avoimeen lähdekoodiin, ja tämän johdosta *RepRapin* parissa toimiikin erittäin aktiivinen yhteisö.

Samaan aikaan kun *RepRap*-tulostimet alkoivat yleistyä, alkoivat myös 3D-tulostimien valmistajat valmistaa pöytämallin 3D-tulostimia kotikäyttöön. Nykyisin näiden pöytämallisten tulostimien hinta on aikalailla samalla tasolla kuin *RepRap*-projektin ohjeilla itse valmistettujen tulostimien valmistuskustannukset, ja nämä kaksi asiaa yhdistämällä 3D-tulostimien määrä onkin viime aikoina kasvanut nopeasti. Kotikäyttöön tarkoitettujen tulostimien käyttöä rajoittavana asiana voidaan kuitenkin pitää tulostusmateriaalien määrää. Lähes kaikilla näistä voidaan tulostaa melkein pä ainoastaan erilaisia muovisia objekteja.

3D-tulostimien yleistyessä perustettiin myös maailmanlaajuinen 3D Hub -verkosto, joka tarkoittaa, että jokainen 3D-tulostimen omistaja voi halutessaan ilmoittaa internetsivustolle oman tulostimensa muiden käytettäväksi korvausta vastaan. Näiden verkostossa olevien tulostimien määrä oli joulukuuhun 2015 mennessä kasvanut jo lähes 25 000 kappaleeseen, joka vuoden 2015 alun noin 10 000 kappaleeseen verrattuna kertoo tulostimien ja teknologian suosion huimasta kasvamisesta (3D Hubs 2015). Tällainen toiminta kuitenkin vie, mitä ilmeisimmin, asiakkaita virallisilta 3D-tulostuskauppapaikoilta, joita monella alalla globaalisti toimivista yhtiöistä on.

3D-tulostamisen historiaa ja viime vuosien nopeaa kasvua tutkimalla on nähtävissä, että alalla vallitsee tällä hetkellä todella vauhdikas kasvu, ja tulostettavien materiaalien monipuolisuudesta johtuen ala tulee vaikuttamaan moneen muuhun toimialaan monella eri tavalla. Erityisesti prototyyppien valmistaminen onkin jo monilla aloilla siirtynyt tehtäväksi ainoastaan 3D-tulostamista hyväksi käyttäen.

Teknologian suuremman luokan hyödyntämistä ei olla kuitenkaan nähty vielä paljoakaan siinä mittakaavassa kuin olisi mahdollista, koska esimerkiksi kokonaisten tuotteiden tulostamiseen vaadittavat tulostimet ovat hinnaltaan vielä kalliita. Kun valmistavat yhtiöt kuitenkin jossain vaiheessa alkavat hyödyntää 3D-teknologiaa suuremmassa mittakaavassa, tulee se vaikuttamaan muun muassa yhtiöiden toimitusketjuihin, henkilöstöjen määriin, kehittyvien maiden työllisyystilanteisiin, ja yleisesti tuotteiden valmistuskustannuksiin.

Toisaalta jo nykyisinkin kuluttajat pystyvät halutessaan tulostamaan tarvittavia pieniä objekteja itselleen ja tämän voisi kuvitella vaikuttavan joidenkin valmistavien yhtiöiden toimintaan. Muovin ollessa kuitenkin lähes ainoa kuluttajilla käytössä oleva tulostusmateriaali, ei asialla ole vielä suuremmin ollut maailmanlaajuisesti vaikutusta. Asia saattaa kuitenkin muuttua tulevaisuudessa, kun muita materiaaleja käyttävät tulostimet tulevat edullisemmiksi.

1.2 Liiketoimintahaaste, tavoite ja aiottu lopputuotos

Teknologiana 3D-tulostus on todella mielenkiintoinen ja monikäyttöinen, ja tämän takia ala onkin nykyisin todella nopeasti kasvava. Toimialana sillä on merkittävä liiketoimintapotentiaali, ja vaikka 3D-tulostus valmistusteknologiana on ollut käytössä jo 1980-luvulta asti, on se vasta viime vuosien aikana saavuttanut todella nopean kasvuvauhdin.

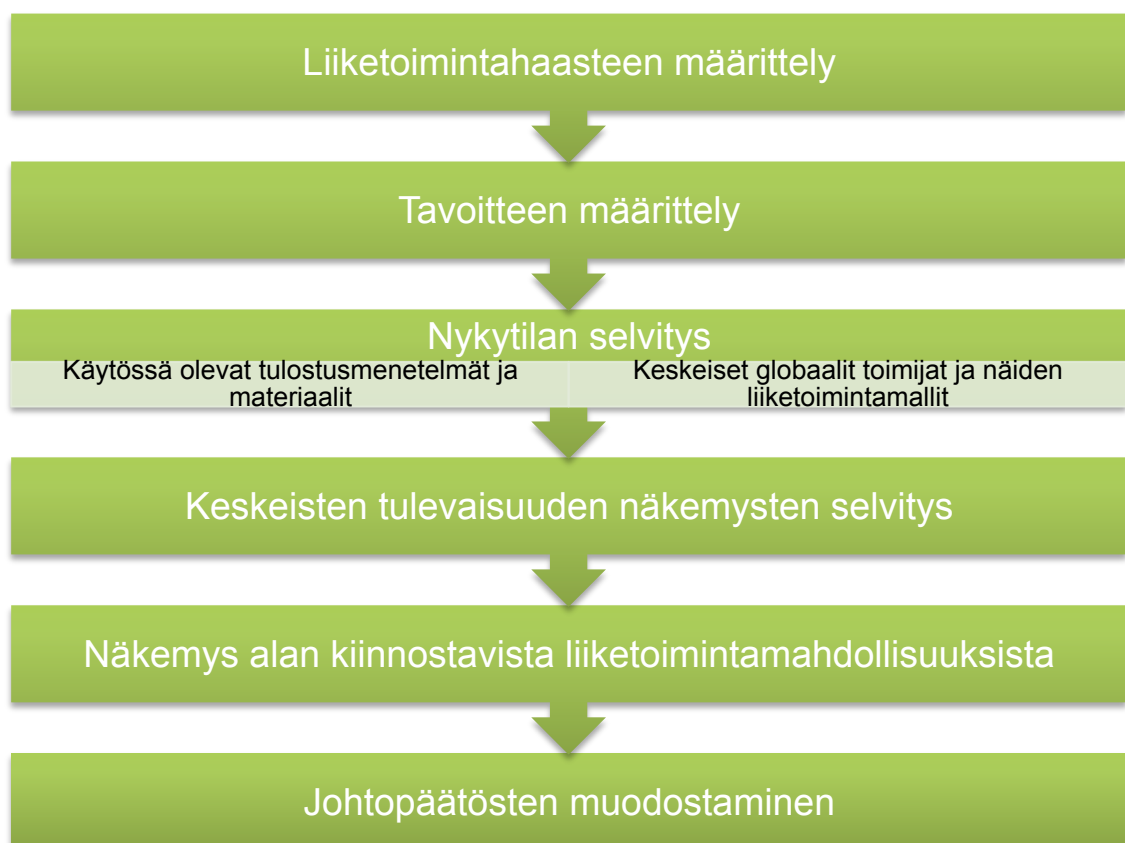
Tämän johdosta alalla toimiikin jo joissakin sovelluksissa ja joillakin liiketoimintamalleilla useita yhtiöitä, mikä tarkoittaa joidenkin markkinasegmenttien olevan jo hyvinkin vaikiintuneita ja kilpailtuja, mutta toisaalta jotkin toiset alueet liiketoiminnassa ovat puolestaan vielä kehittymättömämpiä ja vähemmän kilpailtuja. Tämän vuoksi alalla jo toimivan yhtiön tai alalle vasta pyrkivän uuden yhtiön kannalta onkin tärkeää hahmottaa,

missä liiketoiminta-alueilla on vielä potentiaalia ja mitkä osa-alueet ovat jo nykyisin todella kilpailtuja.

Näin ollen tämän insinööriyön tavoitteena on muodostaa **perusteltu näkemys 3D-tulostuksen kiinnostavista liiketoimintamahdollisuuksista alalla jo toimivan yhtiön tai alalle vasta aikovan yhtiön näkökulmasta seuraavien 3 - 5 vuoden perspektiivillä**. Täten tämän insinööriyön aiottuna lopputuloksena on **listaus ja päätason kuvaus 3D-tulostuksen kiinnostavista markkinapotentiaaleista**.

1.3 Hankkeen toteutustapa

Tässä insinööriyössä keskitytään muodostamaan käsitys 3D-tulostuksen tulevaisuuden markkinapotentiaaleista. Kuva 1 selventää, kuinka tämä insinööriyöhanke etenee ja kuinka hankkeen aiottuun lopputulokseen päästään.



Kuva 1. Insinööriyöhankeen vaiheet.

Kuten kuvasta 1 on nähtävissä, tämä insinööriyöhanke alkaa liiketoimintahaasteen ja hankkeen tavoitteen määrittelyllä. Seuraavassa vaiheessa perehdytään 3D-tulostuksen nykytilaan tutkimalla sekä nykyisin käytössä olevia tulostusmenetelmiä ja materiaaleja että alan keskeisiä globaaleja toimijoita ja näiden liiketoimintamalleja. Näiden jälkeen tutustutaan alan tulevaisuuden näkymiin erilaisten kirjallisten aineistojen pohjalta ja muodostetaan käsitys alan tulevaisuuden kehityksestä.

Edellisten vaiheiden jälkeen muodostetaan perusteltu näkemys alan kiinnostavista liiketoimintamahdollisuuksista, jonka jälkeen tapahtuu koko insinööriyöhankeen yhteenveto. Insinööriyöhanke tiedonkeruumalli, ja lopputulokseen pääsy on kuvattu vielä tarkemmin kuvassa 2.



Kuva 2. Insinööriyöhanke tiedonkeruumalli.

Kuvasta 2 on nähtävissä, että tämän insinööriyön lopputuotos, eli kuvaus 3D-tulostuksen kiinnostavista markkinapotentiaaleista muodostuu kolmesta osiosta. Nämä osiot, joilla haluttuun lopputuotokseen päästään, ovat nykyisin käytössä olevien tulosmenetelmien ja materiaalien selvittäminen, keskeisiin globaaleihin toimijoihin ja näiden liiketoimintamalleihin tutustuminen sekä alan tulevaisuutta käsitteleviin julkaisuihin perehtyminen ja näistä yhteenvedon muodostaminen. Lopuksi näiden kolmen osion perusteella pystytään muodostamaan perusteltu näkemys 3D-tulostuksen tulevaisuuden markkinapotentiaaleista.

2 3D-tulostuksen nykytila

Tämän luvun alussa käydään läpi 3D-tulostamisen historiaa aina teknologian kehittamisestä siihen, mihin sillä nykyisin pystytään. Sen jälkeen tutkitaan 3D-tulostamisessa nykyisin käytössä olevia tulostusmenetelmiä ja materiaaleja sekä toimialalla nykyisin vaikuttavia keskeisiä globaaleja toimijoita. Luvun lopussa on alan nykytilan yhteenveto perustuen edellä mainittuihin aihealueisiin.

2.1 3D-tulostuksen kehityshistoria

3D-tulostamisen historian katsotaan useimmiten alkaneeksi 1980-luvulla, ja vaikka tuolloin valmistuivat ensimmäiset kunnolliset 3D-tulostimet, niin koko teknologian kehittäminen sai alkunsa jo 1960-luvulla. Tällöin *Batelle Memorial Institutessa* koitettiin ensimmäisen kerran jonkin objektin muodostamista käyttäen kahden lasersäteen leikkauspistettä hartsiin. Vuonna 1967 *Wyn K. Swainson* haki patenttia saman tyylliselle metodille, mutta raporttien mukaan se jäi aikojen kuluessa vaille suurempaa kehitystä. 1970-luvun alkupuolella *Formigraphic Engine Co.* käytti eräässä projektissaan myös hyvinkin samantyylistä menetelmää prototyyppin valmistamiseen, ja saman vuosikymmenen lopussa *Dynell Electronics Corp.* sai patentit menetelmään, jossa tietokonetta apuna käyttäen valmistettiin lasersäteellä tai jyrsimellä osia, jotka pinoamalla sai muodostettua 3D-objektin. (Gornet & Wohlers 2014.)

Vuonna 1980 *Hideo Kodama* haki Japanissa patenttia 3D-tulostusmenetelmään, jossa käytössä oli vain yksi lasersäde, mutta rahoituksen puuttuessa patenttihakemus raukesi ennen kuin menetelmää saatiin kehitettyä toteutusvaiheeseen asti. Tämän jälkeen *Kodama* julkaisi kuitenkin aiheeseen liittyen kaksi raporttia, joissa hän selvensi menetelmäänsä yksityiskohtaisemmin. Myös *3M* -yhtiössä työskennellyt *Alan Herbert* julkaisi samoihin aikoihin raportteja omista tutkimustuloksistaan koskien 3D-tulostusta, mutta *3M* ei päättänyt paneutua tuloksiin ja menetelmään tarkemmin, joten ne unohdettiin ja projekti lopetettiin. (Gornet & Wohlers 2014.)

Elokuussa 1984, *3D Systems* -yhtiön perustaja *Charles Hull* haki USA:ssa patenttia laitteelle, jolla voi valmistaa 3D-objekteja SLA-teknologialla, ja vajaa kaksi vuotta myöhemmin patentti myönnettiin hänelle maaliskuussa 1986. Tämän jälkeen, jo vuonna 1987, *3D Systems* toimitti asiakkailleen ensimmäiset SLA-1-3D-tulostimet.

Vuotta 1987 pidetäänkin käänteen tekevänä vuotena 3D-tulostuksen historiassa. Seuraavana vuonna *3D Systems* aloitti yhteistyökumppaniensa kanssa myös tulostettavien materiaalien kehittämisen ja kaupallisti ne. Samaan aikaan kun *3D Systems* oli kaupallistanut SLA-teknologiansa USA:ssa, kaupallistivat myös *NTT Data CMET* ja *Sony/D-MEC* omat versionsa samasta teknologiasta Japanissa, mutta eri nimillä. (Gornet & Wohlers 2014.)

SLA-menetelmän yleistyttyä muitakin valmistusmenetelmiä alkoi tulla markkinoille, ja vuosina 1991–1992 kaupallistettiin muun muassa SLS-teknologia *DTM*:ltä, FDM-teknologia *Stratasys*kelta ja LOM-teknologia *Helisys*keltä. Vuoden 1994 jälkeen monet yhtiöt ovat julkaisseet monia uusia tulostimia sekä kehitelleet uusia tulostusmateriaaleja, mutta täysin uusia tulostusteknologioita ei ole tuon vuoden jälkeen suuremmin kehitelty. Kehitystyön lisäksi toimialalla on tulostusteknologioiden ja patenttien takia nähty paljon yhtiöiden yhdistymisiä, sekä niiden välisiä oikeudenkäyntejä vuoden 1994 jälkeen. (Gornet & Wohlers 2014.)

Kun 3D-tulostaminen 1980-luvun lopulla tuli markkinoille, käytettiin sitä lähinnä prototyyppien valmistamiseen. Tätä menetelmää kutsutaan lyhenteellä *RP*, ja se tarkoittaa jonkin objektin pikaista valmistamista. Menetelmän ansiosta yhtiöt saivat tehtyä prototyyppisiä huomattavasti nopeammin kuin aikaisemmin, ja se lyhensikin prototyyppien valmistamiseen tarvittavaa aikaa usein päiviin tai joskus jopa tunteihin. (Crawford 2011.)

Vuonna 1999 3D-tulostamista käytettiin ensimmäisen kerran onnistuneesti hyödyksi lääketieteessä, jolloin eräälle potilaalle siirrettiin 3D-tulostusta hyväksi käyttäen valmistettu rakko. Vuonna 2002 onnistuttiin tulostamaan toimiva maksa, vuonna 2010 verisuonia, ja vuonna 2014 pystyttiin jopa erään potilaan onnettomuudessa vaurioituneet kasvot korjaamaan 3D-tulostetuilla implanteilla. (McLellan 2014.)

Muita 3D-tulostuksen kannalta merkittäviä vuosia ovat olleet muun muassa vuosi 2004, jolloin tohtori *Adrian Bowyer* muutti *RepRap*-konseptin avoimeen lähdekoodin perustavaksi. *RepRap*in parissa onkin tämän jälkeen työskennellyt iso aktiivinen yhteisö, tavoitteenaan luoda 3D-tulostimia, jotka pystyvät tulostamaan itse suurimman osan osistaan ja ensimmäinen versio *RepRap*-tulostimesta valmistuikin vuonna 2008. Jo hieman ennen tätä vuonna 2007 avautui puolestaan ensimmäinen 3D-tulostukseen keskittyvä kauppapaikka. Ensimmäinen 3D-tulostettu kulkuneuvo oli auto, joka onnistuttiin tulos-

tamaan vuonna 2010, ja vuonna 2011 3D-tulostamista käytettiin ensimmäisen kerran hyödyksi jonkin huomattavasti suuremman kokonaisuuden valmistamiseen, kun onnistuttiin tulostamaan lentokone. Elintarviketeollisuudessa 3D-tulostusta käytettiin ensimmäisen kerran puolestaan vuonna 2011, jolloin 3D-tulostusta hyödynnettiin suklaan valmistuksessa. (McLellan 2014.)

3D-tulostamista on nykyisin hyödynnetty jo lukemattomilla eri toimialoilla, ja esimerkiksi rakennusteollisuudessa 3D-tulostamista on hyödynnetty eniten Kiinassa. Siellä *The Zuhouda Group* valmisti ensimmäisen täysin 3D-tulostetun talon kesällä 2015, jolloin koko talon kasaamiseen mennyt aika oli ainoastaan kolme tuntia, eikä koko projektiin- kaan kulunut kuin kymmenen päivää, mukaan lukien kaiken tulostaminen. Mielenkiin- toisena faktana tuosta projektista kävi ilmi, että vaikka taloja ei ollut vielä tulostettu ai- kaisemmin, niin yhtiö oli saanut painettua kyseisen talon valmistuskustannukset niinkin alas, että neliömetrin hinnaksi valmiissa talossa tuli ainoastaan 400–480 USA:n dolla- ria. Tämä tarkoittaa sitä, että 3D-tulostamisella on kaikki edellytykset menestyä tälläkin toimialalla suuremmassa mittakaavassa. (Stella 2015.)

2.2 Nykyisin käytössä olevat tulostusmenetelmät ja materiaalit

Nykyisin 3D-tulostuksessa on käytössä useita menetelmiä ja materiaaleja, joilla eri tyyppisillä tulostimilla voidaan muodostaa objekteja, mutta olipa käytetty menetelmä tai tulostettava materiaali mikä tahansa, niin itse tulostusprosessi on aina pääpiirteittäin samanlainen. Tulostusprosessin eteneminen on nähtävissä kuvassa 3.



Kuva 3. 3D-tulostusprosessin eteneminen.

Koko prosessi alkaa siis halutun objektin suunnittelulla. Se tapahtuu joko sen piirtämi- sellä siihen tarkoitettulla CAD-ohjelmistolla, tai vaihtoehtoisesti jonkin jo olemassa ole- van objektin mallintamisella. Mallintamisessa käytetään siihen erityisesti suunniteltua

3D-skanneria, jolla haluttu objekti kuvataan monesta eri suunnasta. Olipa käytössä sitten kumpi tahansa edellisistä menetelmistä, niin niiden perusteella luodaan STL-formaatissa oleva tiedosto, jota 3D-tulostimen ohjelmisto osaa tulkita. Seuraavaksi tulostimen ohjelmisto muodostaa tiedostosta eri kerrokset, joita tulostin tarvitsee objektin tulostamiseen, ja tämän jälkeen itse varsinainen tulostusvaihe alkaa. Kun edellinen vaihe on suoritettu loppuun, niin koko tulostusprosessi sekä haluttu objekti ovat molemmat valmiita.

2.2.1 Tulostusmenetelmät

3D-tulostusprosessissa on mahdollista käyttää useita erilaisia menetelmiä, joista jokaisella on omat hyvät ja huonot puolensa. Yleisimmin käytetyt tulostusmenetelmä näkyvät taulukossa 1.

Taulukko 1. Nykyisin käytössä olevat tulostusmenetelmät (Loughborough University 2015; Sculpteo 2015).

Prosessi	Teknologia	Kuvaus	Hyvät puolet	Huonot puolet
1. VAT Photopolymerisation	SLA , Stereolithography	Ultraviolettivalolla kovetetaan nestemäistä muovihartsia tulostettavaan objektiin kerros kerrokselta.	<ul style="list-style-type: none"> - Tarkka ja hyvä lopputulos - Nopea prosessi - Mahdollisuus tulostaa isoja objekteja 	<ul style="list-style-type: none"> - Kallis prosessi - Pitkä jälkikäsittelyaika - Objektit eivät välttämättä ole kovinkaan kestäviä ilman lisätoimenpiteitä
2. Material Extrusion	FDM , Fused Deposition Modeling	<ul style="list-style-type: none"> - Materiaali lämpenee tulostimen suuttimessa ja tämän jälkeen se leviää objektiin kerros kerrokselta. - Suutin liikkuu horisontaalisesti, ja tulostettavan objektin alusta vertikaalisesti. 	<ul style="list-style-type: none"> - Edullinen prosessi - Tulostusmateriaalien helppo saatavuus 	<ul style="list-style-type: none"> - Suuttimen tulostuskulma rajoittaa valmiin objektin laatua - Nopeus ja tarkkuus muita prosesseja heikompi

3. Powder Bed Fusion	DMLS , Direct Metal Laser Sintering	Pulverimainen materiaali levitetään terän tai rullan avulla aina uuteen kerrokseen, jonka jälkeen laserin tai elektronisuihkun avulla se sulatetaan yhtenäiseksi kerrokseksi.	- Edullinen prosessi	- Hidas prosessi (<i>SHS</i>)
	EBM , Electronic Beam Melting		- Sopii prototyypeihin	- Rakenteellisten ominaisuuksien puute
	SHS , Selective Heat Sintering		- Voidaan käyttää myös pieniä tulostimia (<i>SHS</i>)	- Tulostettavan objektin koon rajoitukset
	SLM , Selective Laser Melting		- Objektin kestävä rakenne	- Energian kulutus
	SLS , Selective Laser Sintering		- Laaja valikoima tulostusmateriaaleja	- Objektin laadun riippuvuus pulverista
4. Sheet Lamination	LOM , Laminated Object Manufacturing	Arkkeina tai nauhana oleva paperinen materiaali liimataan sideaineella kerroksittain toisiinsa ja lopuksi haluttu muoto saadaan aikaan veitsellä.	- Nopea ja edullinen prosessi	- Lopputuloksen riippuvuus tulostusmateriaalista, joten voi vaatia jälkikäsittelyä
	UAM , Ultrasonic Additive Manufacturing	<p>- Arkkeina tai nauhana oleva metallinen materiaali sidotaan kerroksittain toisiinsa käyttämällä ultraäänihitsausta ja lopuksi haluttu muoto saadaan aikaan laserilla leikkaamalla.</p> <p>- Prosessissa tarvitaan myös CNC -konetta, jonka lisäksi sitoutumatonta ylimääräistä materiaalia joudutaan poistamaan.</p>	- Helppo materiaalin käsittely	- Tulostusmateriaalien vähäinen määrä

5. Material Jetting	<ul style="list-style-type: none"> - Toimii hieman samalla tavalla kuin perinteinen tulostin, eli horisontaalisesti liikkuva suutin suihkuttaa materiaalia, joko jatkuvala syötöllä, tai sitten tarpeen vaatiessa. - Lopuksi objekti koveutetaan ultraviolettivalolla. 	<ul style="list-style-type: none"> - Materiaalia tulee pisaroittain, joten sitä ei mene hukkaan - Mahdollisuus tulostaa eri materiaaleja ja värejä samalla kertaa 	<ul style="list-style-type: none"> - Tulostettavaan objektiin vaaditaan tukimateriaaleja - Vain muoveja ja vahoja voidaan käyttää tulostusmateriaaleina
6. Binder Jetting	<p>Tulostamisessa käytetään materiaalina pulveria ja nestemäistä sideainetta.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Voidaan tulostaa eri värisiä objekteja - Laaja valikoima tulostusmateriaaleja - Nopea prosessi 	<ul style="list-style-type: none"> - Sideaineen takia objektit saattavat olla rakenteeltaan heikkoja - Jälkikäsittelyyn kuluva aika saattaa tehdä prosessista välillä pitkäkestoisien
7. Directed Energy Deposition	<ul style="list-style-type: none"> - Materiaali lämpenee tulostimen suuttimessa ja tämän jälkeen se leviää objektiin kerros kerrokselta. - Tulostimen suutin voi liikkua vertikaalisesti ja horisontaalisesti. - Käytetään usein objektien korjaamiseen tai materiaalien lisäämiseen. 	<p>Tulostuksen lopputulos on tarkka.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Saattaa vaatia jälkikäsittelyä - Tulostusmateriaalien määrä

Taulukosta 1 voidaan nähdä, että 3D-tulostusmenetelmien eroavaisuuksia ovat muun muassa tulostusprosessin kesto ja hinta, lopputuloksen laatu ja tarkkuus, tulostetun objektin kestävyys ja sen jälkikäsittelyn tarve sekä tulostettavan objektin koon mahdolliset rajoitukset. Näiden lisäksi eräs tärkeä huomioitava seikka on käytettävät tulostusmateriaalit. Joillain menetelmillä voidaankin tulostaa monia eri materiaaleja, kun taas toisilla menetelmillä voidaan tulostaa ainoastaan yhtä materiaalia.

2.2.2 Tulostusmateriaalit

3D-tulostamisessa voidaan siis käyttää lähes mitä tahansa materiaalia objektin luomiseen. Näistä yleisimpiä ovat kuitenkin erilaiset muoviset ja metalliset tulostusmateriaalit.

Usein kuitenkin jo pelkästään käytettävä tulostusmenetelmä saattaa rajoittaa mahdollisuuksia valita tulostusmateriaali, ja tämä pätee hyvin myös taulukossa 1 esiteltyihin tulostusmenetelmiin. Taulukkoon 2 on selkeyden vuoksi listattu vihreällä, mitä materiaaleja milläkin menetelmällä voidaan tulostaa.

Taulukko 2. Yleisimmät 3D-tulostuksessa käytettävät materiaalit (Loughborough University 2015).

Menetelmä	Materiaali			
	Muovit	Metallit	Keraamiset	Paperi
1. VAT Photopolymerisation	Kyllä	–	–	–
2. Material Extrusion	Kyllä	–	–	–
3. Powder Bed Fusion	Kyllä	Kyllä	–	–
4. Sheet Lamination	Kyllä	Kyllä	–	Kyllä
5. Material Jetting	Kyllä	–	–	–
6. Binder Jetting	Kyllä	Kyllä	Kyllä	–
7. Direct Energy Deposition	–	Kyllä	–	–

Kuten taulukosta 2 nähdään, niin erilaiset muovit ovat ylivoimaisesti yleisin tulostusmateriaali, ja muovisia objekteja voidaankin tulostaa lähes millä tahansa menetelmällä. Seuraavaksi suosituimpia tulostusmateriaaleja ovat erilaiset metallit, joita pystytään tulostamaan yli puolella tässä insinööritoimintamallissa listatuilla menetelmillä, mutta sen sijaan paperi ja erilaiset keraamiset materiaalit ovat vielä 3D-tulostamisessa harvinaisempia tulostusmateriaaleja.

Näiden yleisimpien materiaalien lisäksi 3D-tulostamisessa on käytössä myös harvinaisempia materiaaleja erikoisempiin tapauksiin. Maailmalla on tulostettu muun muassa betonista taloja, puusta huonekaluja, ihmisen kudoksesta ihmisille uusia elimiä sekä kemikaaleista elintarvikkeita ja lääkkeitä. Tulostusmateriaaleja on varmasti paljon enemmänkin kuin mitä tässä insinööritoimintamallissa on listattu, mutta kuten aiemmin todettu, erilaiset muovit ja metallit ovat tulostusmateriaaleina huomattavasti yleisempiä kuin muut materiaalit.

2.3 Keskeiset globaalit toimijat ja näiden liiketoimintamallit

3D-tulostuksen parissa toimii globaalista lukematon määrä eri kokoisia yhtiöitä. Näistä osalla 3D-tulostaminen ja siihen liittyvät toimet ovat koko liiketoiminta, kun taas osalla yhtiöistä esimerkiksi 3D-tulostimien valmistus saattaa olla vain pieni osa yhtiön liiketoimintaa. Seuraavat kahdeksan yhtiötä ovat vuoden 2014 liikevaihdolla mitattuina suurimmat 3D-tulostuksen parissa toimivat yhtiöt, ja näistäkin kaksi suurinta toimivat huomattavasti suuremmilla liikevaihdoilla kuin muut kuusi yhtiötä (Sher 2015). Yhtiöiden liikevaihdot on ilmoitettu USA:n dollareina.

2.3.1 Stratasys

Amerikkalais-israelilaisen, vuonna 1989 perustetun Stratasyn liikevaihto oli 750 \$ miljoonaa, ja se on suurin 3D-tulostamisen parissa toimiva yhtiö. Sen omistuksessa ovat myös tytäryhtiöt *SolidScape*, joka toimii samalla periaatteella kuten emoyhtiönsä, sekä *MakerBot*, jossa myydään kuluttajille kotikäyttöön tarkoitettuja 3D-tulostimia ja jo valmiiksi tulostettuja objekteja. Yhtiö tunnetaan myös FDM-tekniikan kehittäjänä. (Fundinguniverse n.d.; Sher 2015.)

Stratasys valmistaa neljää erilaista sarjaa 3D-tulostimia, joihin kuuluu yhteensä 24 eri tulostinta. Nämä kaikki käyttävät joko FDM- tai Polyjet-teknologioita. FDM-teknologiaa käyttäviin tulostimiin yhtiöltä löytyy 13 eri muovista tulostusmateriaalia ja Polyjet-teknologiaa käyttäviin tulostimiin 9 erilaista muovista tulostusmateriaalia. (Stratasys 2015.)

Stratasyksen 3D-tulostimia käytetään lukuisilla eri toimialoilla, ja näitä aloja ovat muun muassa ilmailuala, hammaslääketiede ja autoala. Tämän lisäksi yhtiöllä on tarjottavana asiakkailleen konsultointia, sekä erilaisia ratkaisuja aina prototyyppien valmistuksesta valmiiden tuotteiden valmistamiseen. (Stratasys 2015.)

2.3.2 3D Systems

Amerikkalaisen, 1980-luvun lopulla perustetun 3D Systemsin liikevaihto oli 650 \$ miljoonaa. Yhtiö on toiminut isossa osassa 3D-tulostamisen kehityksen parissa ja sen kehittämiä teknologioita ovatkin muun muassa SLA ja SLS. (3D Systems 2015; Sher 2015.)

3D Systemsillä on valikoimissa 44 erilaista 3D-tulostinta ja niihin lukemattomia eri tulostusmateriaaleja. Työpöytäkäyttöön yhtiön valikoimissa on 3D-skannereita, neljä erilaista tulostinta sekä 11 erilaista muovista tulostusmateriaalia, ja ammattilaiskäyttöön 26 erilaista tulostinta sekä 34 erilaista muovista tai kumista tulostusmateriaalia. 3D Systems valmistaa myös tuotantokäyttöön neljää SLA-teknologiaa käyttävää tulostinta, viittä SLS-teknologiaa käyttävää tulostinta ja viittä DMP-teknologiaa käyttävää tulostinta. Näistä SLA-tulostimiin on saatavilla 19 erilaista muovista tulostusmateriaalia, SLS-tulostimiin yksi metallinen ja kahdeksan muovista tulostusmateriaalia ja DMP-tulostimiin neljä metallista tulostusmateriaalia. (3D Systems 2015.)

Edellisten lisäksi 3D Systems valmistaa asiakkailleen objekteja tilauksesta ja myy 3D-objektien suunnitteluun tarkoitettuja ohjelmistoja. Yhtiön tulostimia käytetään muun muassa ilmailualalla, korujen valmistuksessa ja lääketieteessä. (3D Systems 2015.)

2.3.3 Materialise

Belgialainen, vuonna 1990 aloittanut Materialise oli suurin eurooppalainen 3D-tulostusyhtiö 81 \$ miljoonan liikevaihdolla. Yhtiön tuotteet ja ratkaisut on suunnattu pääosin tekniikan ja lääketieteen ammattilaisille, mutta yhtiön ratkaisuja on käytetty myös muun muassa arkkitehtuurissa, kuluttajatuotteissa sekä taiteen valmistamisessa. Näiden lisäksi se omistaa myös kauppapaikan nimeltä *i.materialise*, jossa suunnittelijat voivat suunnitella ja myydä tuotoksiaan kuluttajille. (Materialise 2015; Sher 2015.)

Tekniikan ammattilaisille Materialise tarjoaa mahdollisuuden tulostaa asiakkaan omia objekteja sarjatuotantona Materialisen tiloissa, laajan valikoiman 3D-tulostamisessa tarvittavia suunnitteluohjelmistoja ja niiden integraatioita asiakkaan jo käytössä oleviin ohjelmistoihin ja prosesseihin, sekä aina auki olevaa palvelua, josta asiakas voi halumansa objektin tilata valitsemallaan materiaalilla, menetelmällä ja päällysteellä tulostettuna. Lääketieteen ammattilaisille Materialisella on puolestaan tarjottavana muun muassa ohjelmistoja ja palveluita implanttien sekä luiden mallintamista ja tulostamista varten sekä simulaatioita kirurgisiin tarkoituksiin. (Materialise 2015.)

2.3.4 ExOne

Amerikassa vuonna 2005 perustetun ExOnen liikevaihto oli 43,9 \$ miljoonaa. Yhtiö valmistaa suurimman osan tulostimistaan teollisuuden käyttöön ja kaikki sen valmistamat tulostimet käyttävät Binder Jetting -teknologiaa. Tuotantokäyttöön tarkoitettuja tulostimia yhtiö valmistaa kuutta erilaista mallia, ja näistä kahta mallia voidaan käyttää myös prototyyppien valmistuksessa. Tutkimus ja koulutus tarkoitukseen yhtiöltä löytyy myös yksi siihen erityisesti soveltuva malli, joten kaiken kaikkiaan yhtiö valmistaa seitsemää erilaista 3D-tulostinta, joihin sillä on tulostusmateriaaleiksi vaihtoehtoina lasia, keraamista materiaalia, kahta erilaista hiekkaa ja 11 erilaista metallista materiaalia. (ExOne 2015; Sher 2015.)

Tulostimien lisäksi ExOne valmistaa tilauksesta muun muassa hiekasta tulostettuja muotteja sekä erilaisia metallisia objekteja. Myös erilaiset koulutukset ja asiakkaan objektien mallintaminen ja suunnittelu, sekä tarvittaessa erikoisempien tulostusmateriaalien valmistaminen kuuluvat yhtiön palveluihin. ExOnen tulostimia käytetään muun muassa energia-alalla, raskaammassa teollisuudessa ja erilaisissa pumpuissa. (ExOne 2015.)

2.3.5 Arcam

Ruotsalainen, vuonna 1997 perustettu Arcam oli 39 \$ miljoonan liikevaihdollaan Pohjoismaiden suurin 3D-tulostuksen parissa toimiva yhtiö. Se valmistaa kolmea erilaista tulostinta, joihin yhtiöllä on tarjolla neljää erilaista metallista tulostusmateriaalia. Kaikki yhtiön 3D-tulostimet käyttävät EBM-teknologiaa. (Arcam 2015; Sher 2015.)

Arcam tarjoaa ratkaisujaan pääasiassa ilmailualalle ja lääketieteen tarpeisiin. Ilmailualalla sen tuotteita on käytetty muun muassa lentokoneissa ja niiden moottoreissa, ja lääketieteen puolella erilaisissa proteeseissa sekä hammas- ja luumplanteissa. Näiden lisäksi merenkulkualalla ja erilaisissa turbiineissa on hyödynnetty yhtiön teknologiaa. (Arcam 2015.)

2.3.6 SLM Solutions

Saksalaisen, vuodesta 2011 SLM Solutionsin nimellä toimineen yhtiön liikevaihto oli 36 \$ miljoonaa. Se valmistaa kolmea SLM-teknologiaa käyttävää tulostinta, joissa voidaan käyttää tulostusmateriaaleina monia erilaisia metalleja. Tämän lisäksi yhtiön valikoimissa on yksi muovisten prototyyppien valmistukseen käytettävä tulostintyyppi, jossa käytetään hyväksi tyhjiötä, sekä 12 erilaista metallisten, rautaa sisältämättömien, prototyyppien valmistukseen tarkoitettua tulostinta. (Sher 2015; SLM Solutions 2014.)

SLM Solutionsin asiakkaita ovat muun muassa ovat autoteollisuus, ilmailuala, rakennusteollisuus ja lääketieteen parissa toimivat tahot. Näiden ohella tilauksesta valmistettavat prototyypit ovat iso osa yhtiön liiketoimintaa. (SLM Solutions 2014.)

2.3.7 Alphaform

Saksasta käsin toimivan, vuonna 1996 perustetun Alphaformin liikevaihto oli 30 \$ miljoonaa. Yhtiö käyttää tulostuksissaan muun muassa SLA-, SLS- ja Polyjet-teknologioita, ja tulostusmateriaaleinaan erilaisia muoveja sekä metalleja. Näiden lisäksi Alphaform suorittaa metallilla päällystämisiä ja tyhjiötä hyväksi käyttävää prototyyppien valmistusta. (Alphaform 2016; Sher 2015.)

Yhtiö on keskittynyt valmistamaan asiakkailleen pieniä eriä ja tilauksia nopealla toimitusajalla, ja sen ratkaisuja onkin käytetty muun muassa ilmailualalla, arkkitehtuurin pa-

riissa, autoalalla ja lääketieteessä. Näistä lääketieteen yhtiö on jakanut vielä erikseen kahteen osaan, joista toiseen kuuluvat ainoastaan erilaiset implantit. (Alphaform 2016.)

2.3.8 Voxeljet

Vuonna 1999 aloittaneen saksalaisen Voxeljetin liikevaihto oli 16–17 \$ miljoonaa. Voxeljet valmistaa kuutta eri kokoista 3D-tulostinta, aina markkinoiden suurimpiin malleihin saakka, ja sen kaikki tulostimet käyttävät tulostusmateriaaleinaan joko muovia, tai hiekkaa. (Sher 2015; Voxeljet 2015.)

Voxeljetin muovisia ratkaisuja käytetään useimmiten prototyyppien kanssa ja hiekasta tulostettuja erilaisten muottien valmistukseen. Asiakkaita sillä on laajalti eri aloilta, ja muun muassa ilmailuala, autoala, lääketiede ja arkkitehtuurit ovat yhtiön ratkaisuja hyödyntäneet. Edellisten lisäksi myös taiteilijat ja viihdeteollisuus ovat käyttäneet yhtiön ratkaisuja apunaan. (Voxeljet 2015.)

2.4 Nykytilan yhteenveto

Teknologiana 3D-tulostaminen sai siis alkunsa jo 1960-luvulla, kun sitä aloitettiin kehittämään USA:ssa, mutta suuremmin teknologia omaksuttiin käyttöön oikeastaan vasta 1980-luvun lopulla, jolloin sitä alettiin käyttää lähinnä prototyyppien valmistamiseen, sen nopeuden ja kustannussäästöjen takia. 2000-luvun alkupuolelta alkaen 3D-tulostamista aloitettiin käyttämään laajalti eri toimialoilla, ja nykyisellään sen käyttökohdet voivatkin olla oikeastaan aivan millä tahansa toimialalla.

Itse 3D-tulostamisessa käytettäviä menetelmiä on olemassa monia erilaisia, mutta mikä tahansa onkaan käytettävä menetelmä, niin tulostusprosessin kulku tietystä tiedostomuodosta valmiiseen objektiin on aina suurin piirtein sama. Näistä tulostusmenetelmistä jokainen omaa omat hyvät ja huonot puolensa, ja yleisimpiä eroja menetelmien välillä ovat muun muassa tulostusprosessin kesto, hinta ja tulostettavan objektin lopullinen laatu. Näiden lisäksi tulostettavan objektin koko ja tulostettava materiaali ovat tekijöitä, jotka usein vaikuttavat käytettävään tulostusmenetelmään. Osalla tulostusmenetelmistä on mahdollista tulostaa useita erityyppisiä materiaaleja, mutta osalla taas on mahdollista tulostaa ainoastaan yhtä materiaalia. Yleisimpiä tulostusmateriaaleja ovat nykyisin erilaiset muovit ja metallit.

Tässä insinööriyössä vertailut yhtiöt ovat vuoden 2004 liikevaihdon perusteella kahdeksan alalla globaalisti toimivaa suurinta yhtiötä. Nämä yhtiöt toimivat erilaisilla liiketoimintamalleilla. Jotkin yhtiöistä ovat keskittyneet ainoastaan joihinkin tiettyihin toimialoihin, kun taas toiset tarjoavat ratkaisujaan monille eri toimialoille. Jotkin valmistavat puolestaan laajasti erilaisia 3D-tulostimia, kun taas osa yhtiöistä tarjoaa osaamistaan asiakkailleen ainoastaan palveluiden muodossa. Taulukkoon 3 on vihreällä merkitty, missä toimialoilla nämä kahdeksan yhtiötä toimivat sekä minkälaisia tuotteita ja palveluita näillä yhtiöillä on.

Taulukko 3. 3D-tulostuksen keskeisten globaalien toimijoiden vertailu.

		Stratasys	3D Systems	Materialise	ExOne	Arcam	SLM Solutions	Alphaform	Voxeljet
Toimialat	Ilmailu ja avaruus	x	x	x	x	x	x	x	x
	Autoteollisuus	x	x	x	x	–	x	x	x
	Lääketiede	x	x	–	–	x	x	x	x
	Viihde ja taide	x	x	x	x	–	–	x	x
	Arkkitehtuuri	x	x	x	–	–	–	x	x
	Koulutus	x	x	–	x	–	x	–	x
	Raskas teollisuus	–	–	x	x	x	–	x	x
	Kuluttajatuotteet	x	x	x	–	–	–	–	x
	Hammaslääketiede	x	x	–	–	x	x	–	–
	Sotateollisuus	x	x	–	–	–	–	–	–
	Energiateollisuus	–	x	–	x	–	–	–	–
	Merenkulkuala	–	–	–	x	x	–	–	–

Tuotteet ja palvelut	Koruteollisuus		–	x	–	–	–	–	–	–
	Rakennusteollisuus		–	–	–	–	–	x	–	–
	Materiaalit	Muovit ja kumit	x	x	x	–	–	x	x	x
		Metallit	–	x	x	x	x	x	x	–
		Hiekka	–	–	–	x	–	–	–	x
		Keraamiset	–	–	–	x	–	–	–	–
		Lasi	–	–	–	x	–	–	–	–
		Erikoi- semmat seokset	–	–	–	x	–	–	–	–
	Tulostimet	Keskiko- koiset	x	x	–	x	x	x	–	x
		Pienet	x	x	–	x	x	x	–	–
		Suuret	–	–	–	x	–	–	–	x
	Prototyyppien / pienen tuote-erien valmistus		x	x	x	x	–	x	x	x
	Konsultointi / koulu- tus		x	–	–	x	–	x	x	–
	Suunnitteluohjelmis- tot / mallintaminen / simulaatiot		–	x	x	x	–	–	–	–
	Kauppapaikka		x	–	x	–	–	–	–	–
	3D skannerit		–	x	–	–	–	–	–	–

Taulukosta 3 on nähtävissä, että noin puolella 3D-tulostusta käyttävistä toimialoista on varsin kilpailtu markkinatilanne, kun taas toinen puoli toimialoista ainakin tässä insinööriydessä vertailtujen yhtiöiden osalta on vielä suhteellisen potentiaalinen kilpailulle. Taulukosta on myös nähtävissä, että *Stratasys* ja *3D Systems*, eli kaksi huomattavasti muita suuremmilla liikevaihdoilla toimivaa yhtiötä toimivat useammalla toimialalla kuin pienemmällä liikevaihdolla toimivat yhtiöt. Nämä pienemmillä liikevaihdoilla toimivat kuusi yhtiötä puolestaan toimivat usein suurin piirtein yhtä monilla toimialoilla.

Ilmailu ja avaruusalalla, autoteollisuudessa, lääketieteessä, viihde ja taidealoilla, arkkitehtuurissa sekä koulutuksen parissa 3D-tulostusyhtiöillä näyttää olevan kovin kilpailu. Noin puolet yhtiöistä toimivat myös *raskaamman teollisuuden, kuluttajatuotteiden ja hammaslääketieteen* parissa. *Sotateollisuudessa, energiateollisuudessa, merenkulualalla, koruteollisuudessa sekä rakennusteollisuudessa* puolestaan näyttää toimivan huomattavasti vähemmän 3D-tulostusyhtiöitä kuin muilla teknologiaa hyödyntävillä toimialoilla.

Tuotteiden ja palveluiden osalta taulukosta käy ilmi, että yleisimmin käytetyt tulostusmateriaalit, eli erilaiset *muovit* ja *metallit* ovat käytössä kuudella kahdeksasta yhtiöstä. Näiden lisäksi hiekkaa käyttää tulostusmateriaalina kaksi yhtiötä, ja *keraamisia materiaaleja, lasia* sekä *erikoisempia itse valmistamiaan seoksia* puolestaan vain yksi yhtiö.

Kuusi vertailluista yhtiöistä myy eri kokoluokissa olevia tulostimiaan suoraan asiakkaille ja taulukon perusteella näyttääkin siltä, että *pienten ja keskikokoisten* tulostimien valmistaminen on huomattavasti yleisempää kuin *suurien* tulostimien, joita valmistaa ainoastaan kaksi vertailluista yhtiöstä. *3D-skannereita* puolestaan myy ainoastaan yksi vertailluista yhtiöistä, joten niiden yleistyminen on luultavimmin vasta tapahtumassa tulevaisuudessa. *Koulutusta ja konsultointia* tarjoaa kotisivujensa mukaan vain puolet vertailluista yhtiöistä, mutta jokaisella yhtiöllä lienee tukipalvelut tuotteisiinsa ja palveluihinsa liittyen.

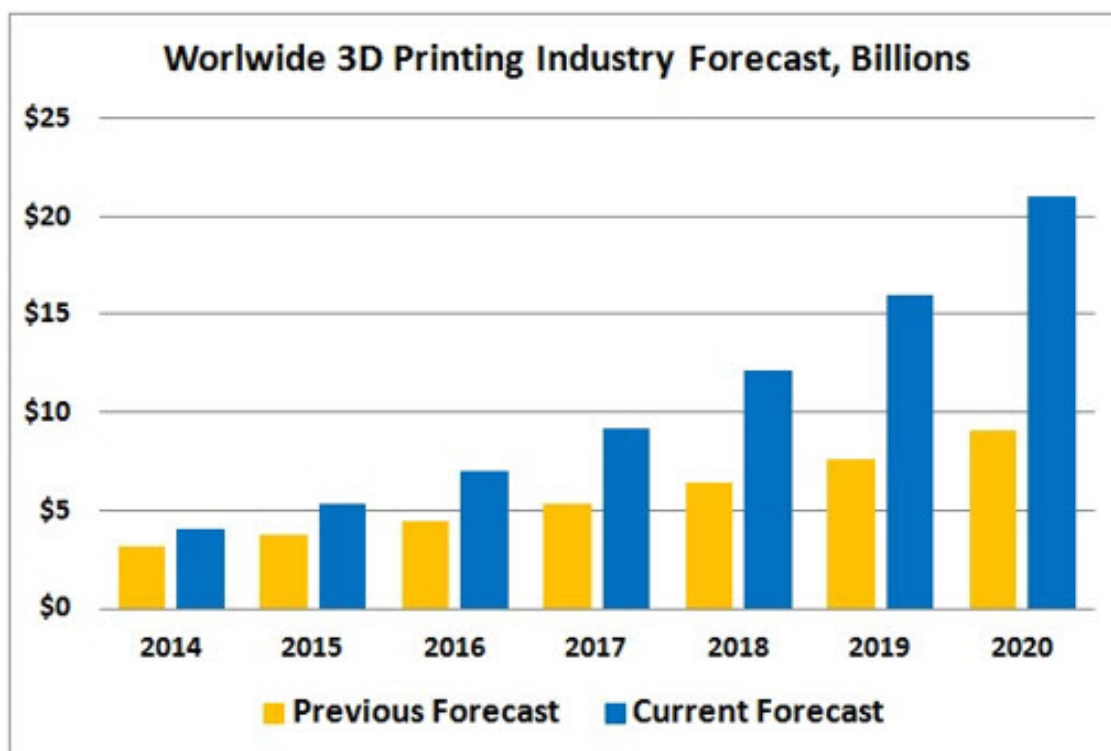
Lähes kaikki yhtiöt näyttävät tarvittaessa valmistavan myös itse *tuotteita ja prototyypejä* suoraan asiakkailleen. Tämän lisäksi kahdella yhtiöllä on oma *kauppapaikkansa* kuluttaja-asiakkaille, mutta toimialalla toimivat *kauppapaikkoina* myös esimerkiksi *3DLT* ja *Shapeways*, joita eivät omista mitkään näistä tässä insinööriydessä vertailluista yhtiöistä. *Suunnittelua, mallintamista ja simulointia* puolestaan tarjoaa vain vajaa puolet yhtiöistä.

Itse toimialana 3D-tulostaminen on nykyisellään ikään kuin murrosvaiheessa ja kehittyy todella nopeaa tahtia. Tulostettujen objektien laadun paranemisen ja tulostusmateriaalien valikoiman kasvamisen johdosta yhä useammat toimialat ovat alkaneetkin hyödyntää teknologiaa, joten alalla on tämän johdosta paljon markkinapotentiaalia tulevaisuudessa.

3 3D-tulostuksen keskeiset tulevaisuuden näkymät

Tässä luvussa käydään läpi miten 3D-tulostus tulee muuttamaan tulevaisuudessa muita toimialoja, minkälaisia ongelmia teknologiaan liittyy sekä mitkä ovat teknologian yleistymisen edellytykset. Näiden lisäksi käydään läpi, millaisia uusia tulostusmateriaaleja markkinoilla kaivataan.

Ala on nykyisellään kasvamassa nopeaa vauhtia ja kuvasta 4 onkin nähtävissä, miten Wohlersin vuonna 2014 tekemässä raportissa on ennustettu alan tulevien vuosien kasvua. Kuvan palkit kuvaavat toimialan vuosittaista liikevaihtoa miljoonissa USA:n dollareissa. Näistä siniset palkit kuvaavat uusinta kasvuennustetta ja keltaiset palkit aikaisempaa kasvuennustetta.



Kuva 4. 3D-tulostuksen tulevaisuuden kasvuennusteet (Columbus 2015).

Kuten kuvasta on nähtävissä, niin toimialan liikevaihdon on vuonna 2018 ennustettu kasvavan 12,8 \$ miljardiin ja vuonna 2020 jopa 21 \$ miljardiin. Tämä on huomasti enemmän kuin aikaisemmissa ennusteissa oli ennustettu, koska tällöin alan liikevaihdon arvioitiin kasvavan vuoteen 2021 mennessä vain 10,8 \$ miljardiin. (Columbus 2015.)

3.1 Tuotteiden paikallinen valmistaminen

Tulevaisuudessa monien tuotteiden valmistaminen lähempänä haluttua sijaintia tulee mahdolliseksi 3D-tulostimien yleistymisen johdosta. Tämä tarkoittaa myös sitä, että monien yhtiöiden toimenkuvissa voi tapahtua suuriakin muutoksia, ja esimerkiksi 40 % lento- ja laivarahdista on ennustettu olevan uhan alla (Smith 2015). Polyakovan (2015) mukaan tulostettuja tuotteita on tulevaisuudessa mahdollista lähettää asiakkailleen jopa muutaman tunnin kuluessa tilauksesta, kun nykyisin tähän kuluva aika lasketaan viikoissa. Tämä tietenkin vähentää myös varastoinnin tarvetta.

Esimerkkinä yhtiöiden toimenkuvan muutoksesta on ennustettu, että tulevaisuudessa esimerkiksi urheiluvälinevalmistaja Nike saattaa olla täysin IT-alan yhtiö (Smith 2015). Tässä tapauksessa kuluttajat voisivat siis itse määrittämässään paikassa tulostaa tarvittavat tuotteensa, ja yhtiön tehtäväksi jäisi tuotteiden suunnittelu ja piirtäminen sekä tulostettavien tiedostojen pitäminen asiakkaiden saatavilla esimerkiksi verkkokaupassa.

3.2 Uudet tulostusmateriaalit

Käyttökohteisiin kustomoidut ja useampia eri materiaaleja sisältävät 3D-tulostetut objektit tulevat muuttamaan monien alojen käytäntöjä perusteellisesti. Lääketieteessä ollaankin jo nyt siirrytty tulostamaan potilaille täysin kustomoituja proteeseja, ja tulevaisuudessa näiden proteesien materiaalit voivat sisältää esimerkiksi joitain lääkeaineita varsinaisen proteesimateriaalin lisäksi. Tällöin proteesit pystyvät vapauttamaan sisältämänsä lääkeainetta itsestään kantajaansa sopivalla, etukäteen määritetyllä nopeudella. (Smith 2015.)

Ominaisuuksiltaan yliverstaisten materiaalien tulostaminen tulee myös tulevaisuudessa mahdolliseksi. Tästä osoituksena on vasta hieman yli kymmenen vuotta sitten löydetyn *grafeenin* käyttö 3D-tulostamisessa. Materiaali on joustavaa, 100 kertaa terästä vahvempaa ja sähkö johtavaa, joten sen käyttökohteetkin tulevat olemaan varsin moninaiset. Ominaisuuksiensa ansiosta se soveltuukin täydellisesti esimerkiksi erilaisten kosketusanturien tulostusmateriaaliksi. (Polyakova 2015; Smith 2015.)

Tulevaisuudessa on tulossa mahdolliseksi myös tietyissä olosuhteissa muotoaan ja ominaisuuksiaan muuttavien materiaalien tulostaminen. Tätä MIT:ssä kehitettyä menetelmää kutsutaankin itse asiassa 4D-tulostamiseksi, ja se tarkoittaa, että esimerkiksi lämpötilan tai kosteuden takia jokin objekti voi muuttua suuresti alkuperäisestä olo- muodostaan. Smith (2015) mainitsee tästä esimerkkeinä muun muassa 3D-tulostetut rakennusainekset, jotka saavuttaisivat täyden painonsa vasta kastumisen jälkeen, sekä putket, jotka korjaisivat itseään jo pienenkin vahingoittumisen jäljiltä.

3.3 Ongelmat lakien ja yksityisyyden suojan suhteen

Kuten kaikessa teknologiassa, myös 3D-tulostamisessa on mahdollista käyttää teknologian suomina etuja väärin tarkoituksiin. Coraggio (2015) kirjoittaa, että samalla tavoin kuten ennen piratismi oli ongelma musiikin ja elokuvien kanssa, tulee se tulevaisuudessa olemaan ongelma 3D-tulostamisessa.

Lähes kuka tahansa riittävät tekniset taidot omaava henkilö pystyy kopioimaan jonkin jo olemassa olevan tuotteen, ja esimerkiksi CAD-tiedoston tekeminen tällaisesta, jo olemassa olevasta mallista, tarkoittaa tuoteoikeuksien rikkomista. Jos tällaista kopioitua tiedostoa jakaa eteenpäin, syyllistyy henkilö puolestaan tekijänoikeuksien rikkomiseen. Tämän lisäksi CAD-tiedostot ja alkuperäiset tuotteet voivat olla suojeltuja myös tavaramerkeillä ja patenteilla, joten näiden luvaton käyttäminen tarkoittaa monien lakien rikkomista. (Coraggio 2015.)

Vastuukysymykset tulevat myös olemaan tulevaisuuden ongelma 3D-tulostamisessa. Teknologia tulee mahdollistamaan jossain vaiheessa esimerkiksi omien lääkkeiden tulostamisen, mutta samalla se tulee mahdollistamaan myös laittomien tuotteiden valmistamisen. Tällaisia voivat olla esimerkiksi aseet ja huumeet, jolloin tulee mietittäväksi, onko tulostetusta tuotteesta vastuussa tulostimen omistaja, tulostimen valmistaja vai henkilö, joka tuotteen tulosti (Coraggio 2015).

Edellisten lisäksi yksityisyyden suoja saattaa muodostua tulevaisuuden ongelmaksi 3D-tulostamisessa, ja tästä Coraggio (2015) mainitsee esimerkkinä esimerkiksi lääketieteelliset sovellukset, joihin 3D-tulostamista käytetään. Potilaan jostain elimestä saatetaan tulostaa kopio esimerkiksi koulutustarkoituksiin, mutta kolmannen osapuolen

käsiin päätyessä tämän tulosteen tiedosto saattaisi esimerkiksi muuttaa henkilön va-
kuutusehtoja.

3.4 Teknologian yleistyminen edellytykset

Tähän mennessä 3D-tulostamisen nopeampaa kasvamista on rajoittanut muovin käyt-
täminen pääasiallisena tulostusmateriaalina. Polyakova (2015) kertoo, että jo nykyisin
kuluttajat voivat tulostaa itselleen esimerkiksi mekaanista rasitusta kestävämpiä va-
raosia kodinkoneisiin, mutta viiden vuoden sisällä tulee mahdolliseksi korkealaatuisten
ja ominaisuuksiltaan vahvojen varaosien tulostaminen.

Eräiksi 3D-tulostamisen suurimmista ongelmista Polyakova (2015) mainitsee nykyisel-
lään riittämättömän tulostuskapasiteetin sekä 3D-tulostimien vaikean käytettävyyden.
Hän kertoo myös, että edellisten lisäksi tulevaisuudessa tulostuksien laadun on paran-
nuttava, tulostusprosessin nopeuduttava, ja tulostimien pitää pystyä tulostamaan use-
ampia materiaaleja, jotta teknologia kaupallistuu enemmän ja sen käyttäjämäärät saa-
daan kasvamaan.

Nykyisilläkin tulostimilla on jo kuitenkin mahdollista käyttää esimerkiksi monia erilaisia
muovisia tulostusmateriaaleja, mutta avainasemassa markkinoiden kasvun kannalta
ovat tulostimet, jotka pystyvät tulostamaan esimerkiksi muoveja ja metalleja sekaisin
(Baya & Earls 2014). Tulostimien tarkkuuttakin on itse asiassa jo saatu paranneltua
viime vuosina huomasti muun muassa elektroniikkateollisuuden ja nanoteknologian
tarpeista johtuen. Tästä 3D-tulostamisen käyttämisestä nanoteknologissa on osoituk-
sena esimerkiksi Harvardin yliopistossa tulostettu akku, joka on kooltaan vain hiekanjy-
vän kokoinen (Smith 2015).

Edellä mainittujen lisäksi tulostimien tulostusnopeudet tulevat tulevaisuudessa kasva-
maan. Nykyisissä tulostimissa on yleensä yksi tulostuspää, mutta useita tulostuspäitä
sisältävät tulostimet tulevat valtaamaan alaa tulevaisuudessa. Tällaiset tulostimet
mahdollistavat monien eri materiaalien tulostamisen lisäksi myös useamman objektin
samanaikaisen tulostamisen, jolloin yhden objektin tulostamiseen kuluva aika on
siis mahdollista tulostaa useita objekteja, ja näin ollen nopeuttaa koko tulostusproses-
sia huomattavasti. (Baya & Earls 2014.)

3.5 Yhteenveto tulevaisuuden kehityksestä

3D-tulostaminen on siis kasvanut viime vuosina oletettua nopeammin ja tulevaisuuden kasvuennusteet näyttävät, että ala jatkaa nopeaa kasvamista tulevaisuudessakin. Taulukkoon 4 on tiivistetty alan keskeiset tulevaisuuden näkymät.

Taulukko 4. 3D-tulostamisen tulevaisuuden näkymät.

Tulevaisuuden näkymä	Kuvaus
Tuotteiden paikallinen valmistaminen.	Tuotteiden valmistaminen tulee mahdolliseksi halutussa sijainnissa, eli käytännössä mahdollisimman lähellä esimerkiksi tuotteen tilauspaikkaa. Tämän vaikutukset tulevat näkymään monilla aloilla muun muassa logistisissa toiminnoissa, jonka lisäksi yhtiöiden keskittymisen ohjelmistoihin ja suunnittelutyöhön kasvaa.
Uudet tulostusmateriaalit.	Käyttökohteisiin kustomoidut ja useita eri materiaaleja sisältävät tulosteet ovat tulevaisuudessa yksi alan suurimpia edistysaskelia. Vielä harvinaisempien ja ominaisuuksiltaan erinomaisten materiaalien tulostaminen lisääntyy myös, ja jopa tietyissä olosuhteissa ominaisuuksiaan muuttavien materiaalien tulostaminen tulee mahdolliseksi.
Ongelmat lakien ja yksityisyyden suojan suhteen.	3D-tulostamisessa, kuten monessa muussakin teknologiassa on mahdollista myös käyttää sitä väärin tarkoituksiin. Tekijänoikeuksien, tuoteoikeuksien, tavaramerkkien ja patenttien rikkomukset tulevat lisääntymään tulevaisuudessa 3D-tulostamisen yleistyessä. Näiden lisäksi vastuukysymykset teknologian väärinkäytön kohdalla tulevat nousemaan esille, ja yksityisyyden suojaa esimerkiksi ihmisten terveyteen liittyvistä tulosteista joudutaan parantamaan.

Teknologian yleistymisen edellytykset.	<p>3D-tulostamisen kasvua rajoittavan tekijänä ollaan voitu nykyisin pitää muovin käyttöä pääasiallisena tulostusmateriaalina, sekä tulostimien vaikeaa käytettävyyttä. Myös tulostaiden laadun ja erityisesti tulostusprosessin nopeuden on vielä parannuttava ennen kuin teknologia kaupallistuu suuremmassa mittakaavassa.</p> <p>Yksi oleellisimmista tällaista kehitystä edistäviä asioista tulee olemaan monia eri materiaaleja tulostavat tulostimet. Ne toimivat siten, että niissä on useampia tulostuspäitä, kun nykyisissä tulostimissa niitä on yleensä vain yksi.</p>
--	--

Taulukosta nähdään, että 3D-tulostamisen tulevaisuuteen liittyy sekä positiivisia että negatiivisia puolia. Tulevaisuudessa se tulee vaikuttamaan monien eri yhtiöiden toimintoihin, ja sen käyttökohteet tulevat vain kasvamaan, kunhan sillä pystytään tulostamaan monimutkaisempia ja useita materiaaleja sisältäviä objekteja. Lainsäädännön kanssa on odotettavissa erinäisistä ongelmia oikeuksien omistamisiin ja vastuisiin liittyvissä asioissa, ja yksityisyyden suojaan liittyvät kysymykset tulevat nousemaan enemmän esille. Teknologiana 3D-tulostaminen ei ole enää mikään aivan uusi asia, joten tulostimien vielä hieman kehittyessä on sen läpimurto tulevaisuudessa jo erittäin lähellä.

4 Näkemys 3D-tulostuksen kiinnostavista liiketoimintamahdollisuuksista

Tähän lukuun on kerätty tämän insinööriyön ratkaisuehdotukset, eli 3D-tulostuksen tulevaisuuden kiinnostavat markkinapotentiaalit. Ratkaisuehdotukset perustuvat alan keskeisiin tulevaisuuden näkymiin ja alan nykytilanteeseen. Alalla jo toimivan tai alalle vasta aikovan yhtiön kannattaa harkita 3D-tulostamisesta seuraavaa viittä liiketoimintamahdollisuutta.

Monia eri materiaaleja käyttävien tulostimien valmistaminen

Tässä insinööriyössä 3D-tulostimet on jaettu kolmeen osaan kokoluokituksen mukaan. Näistä muita, paitsi suurimpia malleja valmistaa jo nykyisin monikin yhtiö, eikä suurimpien tulostimien valmistamiseen mukaan meneminen uutena toimijana näytä kovinkaan houkuttelevalta vaihtoehdolta suhteellisen suurten aloituskustannusten vuoksi. Täten aivan tavanomaisimpia tulostimia ei alalle aikovan tai siellä jo toimivan yhtiön ole syytä lähteä valmistamaan, vaan tulevaisuuden näkymiä tarkastelemalla käy ilmi, että monia eri materiaaleja tulostaville 3D-tulostimille olisi paljon markkinapotentiaalia tulevaisuudessa.

Ammattimaisten 3D-skannerien valmistaminen

Vaikka eri kokoisia ja laatuksia 3D-skannereita objektien mallintamiseen valmistaa jo monikin yhtiö, niin taulukosta 3 käy ilmi, että ainoastaan yksi kahdeksasta alan suurimmasta yhtiöstä valmistaa niitä. Alan kasvuennusteita tutkimalla on selvää, että myös mallintamiseen tarkoitettujen laitteiden menekki kasvaa entisestään koko muun alan mukana, ja vaikka nykyisin on saatavilla jopa puhelimiin liitettäviä 3D-skannereita, niin ne eivät luultavimmin pärjää laadussa ammattimaisemmille skannereille. Tämän johdosta sellaisten valmistamiselle on olemassa potentiaalisia markkinoita.

Tuotteiden valmistaminen joillekin ei niin kilpailluista toimialoista

Sotateollisuus, energiateollisuus, merenkulkuala, koruteollisuus ja rakennusteollisuus eivät ole vielä niin kilpailtuja kuin monet muut 3D-tulostamista hyödyntävät toimialat, joten näiden markkinoilla on tilaa uusillekin toimijoille. Näistä aloista tosin useampikin

saattaa vaatia suurten tulostimien käyttämistä, ja tämä saattaa muodostua uudelle yhtiölle kynnyskysymykseksi.

Erityisesti *koruteollisuudessa* on valtavaa markkinapotentiaalia 3D-tulostamisessa. Siellä 3D-tulostamisella pystytään saamaan aikaan muotoja, joita ei ole edes mahdollistaa valmistaa käsin. Tämän lisäksi teknologia nopeuttaa ja tehostaa korujen valmistusta huomattavasti verrattuna korujen käsin valmistukseen, ja samalla saadaan yhdestä korusta skaalattua todella pienellä vaivalla monia eri versioita samoihin suunnitelmiin perustuen. (Royce-Greensill 2015.)

Nämä aiemmin mainitut neljä toimialaa käyvät ilmi taulukosta 3, jossa vertailtiin alalla vaikuttavia kahdeksaa suurinta yhtiötä. Näiden toimialojen lisäksi alan tulevaisuuden kasvuennusteita tutkimalla on selvää, että on olemassa monia muitakin toimialoja, joissa 3D-tulostamiselle on olemassa suuret markkinat, mutta näitä muita aloja ei tässä insinööriyössä vertailtujen yhtiöiden kotisivuilla mainita.

Tekijänoikeuksia suojaavien ohjelmistojen valmistaminen

3D-tulostamisen tulevaisuuden näkymiä tutkimalla käy selväksi, että teknologiaan liittyy vielä useita ongelmakohtia, joissa lainsäädännön kanssa saattaa tulla yhteentörmäyksiä. Tekijänoikeudet kuuluvat kuitenkin aina jollekin taholle, joten niiden suojaaminen on tulevaisuudessa saatava kuntoon, oli tilanne mikä tahansa.

Nykyisin ainoat yhtiöt, jotka ovat suuntautuneet tekijänoikeuksien suojaamiseen 3D-tulostamisen parissa, ovat amerikkalais-virolainen *Secured 3D* sekä virolainen *Fabulonia*. Näistä kummallakaan ei kuitenkaan ole vielä valmiita esimerkkejä ratkaisuistaan, mikä tarkoittaneekin sitä, että millään toimijalla ei ole vielä valmista ratkaisua tekijänoikeuksien suojaamiseksi 3D-tulostamisessa.

Edellisen seikan huomioiden, näiden ohjelmistojen kehittämisessä onkin olemassa valtavaa paljon markkinapotentiaalia. Samalla näiden ohjelmistojen kehittämisessä on kuitenkin mitä ilmeisimmin paljon haasteita, ottaen huomioon sen, että tekijänoikeuksien mahdollinen rikkominen on 3D-tulostamisessa tunnistettu jo vuosia sitten, mutta niiden estämiseksi ei ole vielääkään löytynyt varteenotettavaa ratkaisua.

Uusien tulostusmateriaalien kehittäminen ja valmistaminen

Muovien ja metallien ollessa yleisimmät tulostusmateriaalit, ovat ne myös tällä hetkellä kaikkein eniten kilpailtu alue tulostusmateriaaleissa. Tässä insinööriyössä vertailluista yhtiöistä ainoastaan yksi valmisti jotain muita tulostusmateriaaleja kuin näitä, joten uusille tulostusmateriaaleille näyttää olevan hyvin tilaa markkinoilla. Tulevaisuuden sovelluksista esimerkiksi lääketieteeseen tarvitaan uusia tulostusmateriaaleja, joten esimerkiksi tälle alalle tulostusmateriaalien kehittämisessä ja valmistamisessa on nähtävissä potentiaalia markkinoilla.

5 Johtopäätökset

Tässä luvussa on tämän insinööritoimintahankkeen yhteenveto, eli lyhyt katsaus koko hankkeen kulkuun ja sen lopputuloksiin. Edellisten lisäksi luvun lopussa on oma arvioni koko hankkeen onnistumisesta.

5.1 Hankkeen yhteenveto

Tässä insinööritoimintahankkeessa tutkittiin 3D-tulostamisen tulevaisuuden liiketoimintamahdollisuuksia. Näitä mahdollisuuksia tutkittiin alalla jo toimivan tai alalle vasta aikovan yhtiön näkökulmasta seuraavien 3–5 vuoden perspektiivillä.

Koko hanke aloitettiin 3D-tulostamisen taustakuvauksella sekä liiketoimintahaasteen, tavoitteiden ja aiotun lopputuloksen määrittelyillä. Näiden jälkeen selvitettiin toimialan nykytilaa, aina sen historiasta nykyisin käytössä oleviin tulostusmenetelmiin ja materiaaleihin sekä alalla vaikuttaviin kahdeksaan suurimpaan globaalisti toimivaan yhtiöön perehtymällä.

Nykytilan selvityksen jälkeen perehdyttiin alan keskeisiin tulevaisuuden näkymiin. Kun toimialan tulevaisuuden keskeiset näkymät oli selvitetty, muodostettiin edellisiin kohtiin perustuen 3D-tulostuksen tulevaisuuden potentiaalisia liiketoimintamahdollisuuksia sisältävä listaus.

5.2 Suositellut toimenpiteet

Hankkeen lopputulos, eli 3D-tulostamisen tulevaisuuden kiinnostavia liiketoimintamahdollisuuksia sisältävä listaus sisältää viisi ehdotusta alalla jo toimivalle tai sille vasta aikovalle yhtiölle. Taulukosta 5 on nähtävissä nämä viisi liiketoimintamahdollisuutta, ja tarkemmat kuvaukset näistä mahdollisuuksista löytyvät luvusta 4.

Taulukko 5. 3D-tulostamisen tulevaisuuden kiinnostavat liiketoimintamahdollisuudet.

3D-tulostamisen tulevaisuuden liiketoimintamahdollisuudet
<ul style="list-style-type: none"> - Monia eri materiaaleja käyttävien tulostimien valmistaminen. - Ammattimaisten 3D-skannerien valmistaminen. - Tuotteiden valmistaminen joillekin ei niin kilpailluista toimialoista. - Tekijänoikeuksia suojaavien ohjelmistojen valmistaminen. - Uusien tulostusmateriaalien kehittäminen ja valmistaminen.

Taulukosta nähdään, että nämä tulevaisuuden kiinnostavat liiketoimintamahdollisuudet eroavat toisistaan aika paljoltikin. Tämä insinöörityö ei ota kantaa liiketoimintamahdollisuuksien niin sanottuun paremmuusjärjestykseen, eikä näitä liiketoimintamahdollisuuksia ole niiden suurten keskinäisten eroavaisuuksien vuoksi mielestäni edes mielekästä lähteä vertailemaan keskenään. Tämä hanke ei ota myöskään kantaa siihen, onko jokin liiketoimintamahdollisuuksista huomattavasti helpommin lähestyttävä alalla jo toimivalle yhtiölle kuin alalle vasta aikovalle yhtiölle.

Erilaisten erikoisempien tulostimien ja ammattimaisten 3D-skannerien valmistaminen ovat kummatkin itse teknologiaa hyödyntävien laitteiden valmistamista. Tulostusmateriaalien kehittäminen sekä valmistaminen liittyvät kuitenkin aika vahvasti edellisiin, koska esimerkiksi tulostimia valmistaessa on otettava huomioon, mitä materiaalia sillä aiotaan tulostaa.

Eri toimialoille valmistettavien objektien valmistaminen on puolestaan itse 3D-tulostimien käyttämisestä, ja vaatii yhtiöltä tällöin aivan erilaisia asioita, kun esimerkiksi kehitystyö. 3D-tulostettujen objektien tekijänoikeuksia suojaavien ohjelmistojen kehittäminen ja valmistaminen liittyvät puolestaan pääosin koodaamiseen.

5.3 Hankkeen onnistumisen arviointi

Tämä insinöörityöhanke onnistui mielestäni hyvin, ja työn tekeminen oli mielenkiintoista sekä opettavaista. Hankkeen lopputulos vastaa alussa määritettyä aiottua lopputulosta, ja koko hankkeen ajan seurasin alussa määritettyä insinöörityöhanke etenemisen

suunnitelmaa. Lähdemateriaalia tässä hankkeessa käytettiin laajalta pohjalta, niin koko teknologian, vertailtujen yhtiöiden, kuin myös tulevaisuuden näkymien osalta, joten mielestäni työn tuloksia voidaan pitää erittäin relevantteina.

Vertailtujen yhtiöiden osalta olisin tarvittaessa voinut vertailuun ottaa hieman suuremman määrän 3D-tulostuksessa toimivia yhtiöitä. Tällöin rajauksen vetäminen yhtiöiden lukumäärään olisi kuitenkin saattanut muodostua ongelmaksi, ja täten niiden vertailemiseen kuluva aikakin olisi luultavimmin venynyt suhteettoman pitkäksi. Yhtiöiden toimialoissa, liiketoimintamalleissa, sekä tuotteissa ja palveluissa tuli kuitenkin riittävästi hajontaa, joten kahdeksan yhtiön otanta oli mielestäni riittävä.

3D-tulostaminen ylipäättään on mielestäni todella mielenkiintoinen teknologia ja erityisesti tulevaisuuden skenaarioiden tutkiminen osoittautui varsin antoisaksi. Aikaisempi työn kautta tekemäni aihealueeseen pintapuolisesti perehtyminen helpotti itseäni hieman koko insinööritoimintamallin alulle saamisessa, mutta sen suurempaa etua en aikaisemmista toimialaan liittyvistä tiedoista mielestäni kuitenkaan saavuttanut.

Lähteet

3D Hubs. 2015. Luettavissa: <<https://www.3dhubs.com/trends>>. Luettu 6.12.2015.

3D Printing from scratch. 2015. *Types of 3D printers or 3D printing technologies overview*. Luettavissa: <<http://3dprintingfromscratch.com/common/types-of-3d-printers-or-3d-printing-technologies-overview/>>. Luettu 4.12.2015.

3D Printing Industry. 2014. *History of 3D Printing: The Free Beginner's Guide*. Luettavissa: <<http://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide/history/>>. Luettu 2.12.2015.

3D Systems. 2015. Luettavissa: <<http://www.3dsystems.com/about-us>>. Luettu 31.12.2015.

3DPrinting.com. 2015. *What is 3D Printing*. Luettavissa: <<http://3dprinting.com/what-is-3d-printing/>>. Luettu 3.12.2015.

Alphaform. 2016. Luettavissa: <<http://www.alphaform.de/>>. Luettu 3.1.2016.

Arcam. 2015. Luettavissa: <<http://www.arcam.com/>>. Luettu 3.1.2016.

Baya, V., Earls, A. 2014. *The road ahead for 3-D printers*. Luettavissa: <<http://www.pwc.com/us/en/technology-forecast/2014/3d-printing/features/future-3d-printing.html>>. Luettu 20.1.2016.

Columbus, L. 2015. *2015 Roundup Of 3D Printing Market Forecasts And Estimates*. Luettavissa: <<http://www.forbes.com/sites/louiscolumbus/2015/03/31/2015-roundup-of-3d-printing-market-forecasts-and-estimates/>>. Luettu 10.1.2016.

Coraggio, G. 2015. *Top 3 legal issues of 3D Printing!*. Luettavissa: <<https://www.technologysleage.com/2015/09/top-3-legal-issues-of-3d-printing/>>. Luettu 18.1.2016.

Crawford, S. 2011. *How 3-D Printing Works*. Luettavissa: <<http://computer.howstuffworks.com/3-d-printing1.htm>>. Luettu 10.12.2015.

ExOne. 2015. Luettavissa: <<http://www.exone.com/>>. Luettu 2.1.2016.

Fundinguniverse. n.d. *Stratasys, Inc. History*. Luettavissa: <<http://www.fundinguniverse.com/company-histories/stratasys-inc-history/>>. Luettu 31.12.2015.

Gornet, T., Wohlers, T. 2014. *History of Additive Manufacturing*. Luettavissa: <<http://www.wohlersassociates.com/history2014.pdf>>. Luettu 9.12.2015.

Javelin Technologies Inc. 2015. Luettavissa: <<http://www.javelin-tech.com/3d-printer/industry/>>. Luettu 5.12.2015.

Loughborough University. 2015. *The 7 Categories of Additive Manufacturing*. Luettavissa: <<http://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/>>. Luettu 13.12.2015.

Materialise. 2015. Luettavissa: < <http://www.materialise.com/>>. Luettu 31.12.2015.

McLellan, C. 2014. *The History of 3D printing: A timeline*. Luettavissa: < <http://www.zdnet.com/article/the-history-of-3d-printing-a-timeline/>>. Luettu 10.12.2015.

Polyakova, E, 2015. *The Possibilities of 3D Printing: It's Only the Beginning*. Luettavissa: < <http://www.rdmag.com/articles/2015/06/possibilities-3d-printing-its-only-beginning/>>. Luettu 18.1.2016.

RepRap. 2011. Luettavissa: <http://reprap.org/wiki/RepRap_history>. Luettu 4.12.2015.

RepRap. 2015. Luettavissa: <<http://reprap.org/>>. Luettu 4.12.2015.

Royce-Greensill, S. 2015. *Shaping the Future: 3D-printed jewellery*. Luettavissa: <<http://www.telegraph.co.uk/luxury/jewellery/85712/shaping-the-future-3d-printed-jewellery.html>>. Luettu 20.1.2016.

Sculpteo. 2015. *3D Printing Technologies Comparison*. Luettavissa: < <http://www.sculpteo.com/en/3d-printing/3d-printing-technologies/>>. Luettu 13.12.2015.

Sher, D. 2015. *The Top 10 3D Printing Stocks for 2015*. Luettavissa: < <http://3dprintingindustry.com/2015/03/19/fiscal-2014-revenue-results-3d-printings-top-10-guns/>>. Luettu 11.12.2015.

SLM Solutions. 2014. Luettavissa: <http://www.stage.slm-solutions.com/index.php?index_en>. Luettu 3.1.2016.

Smith, R. 2015. *5 Incredible Trends That Will Shape Our 3D Printed Future*. Luettavissa: <<http://www.forbes.com/sites/ricksmith/2015/07/07/5-incredible-trends-that-will-shape-our-3d-printed-future/>>. Luettu 10.1.2016.

Stella, R. 2015. *A Chinese Company Assembled This 3D-Printed Home in Just Three Hours*. Luettavissa: <<http://www.digitaltrends.com/cool-tech/chinese-company-constructs-3d-printed-home-in-three-hours/>>. Luettu 10.12.2015.

Stratasys. 2015. Luettavissa: < <http://www.stratasys.com/corporate/about-us>>. Luettu 31.12.2015.

Voxeljet. 2015. Luettavissa: <<http://www.voxeljet.de/en/>> . Luettu 3.1.2016.