



# Metallien 3D tulostamisen mahdollisuudet ja kehityskohteet vuonna 2020

Roope Taskinen

OPINNÄYTETYÖ  
Lokakuu 2020

Konetekniikka  
Älykkäät koneet

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Konetekniikka  
Älykkäät koneet

TASKINEN, ROOPE:

Metallien 3D-tulostamisen mahdollisuudet ja kehityskohteet vuonna 2020

Opinnäytetyö 46 sivua, joista liitteitä 4 sivua  
Lokakuu 2020

---

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kartoittaa metallien kolmiulotteisen tulostamisen mahdollisuuksia ja kehityskohteita. Opinnäytetyön tarkoituksena oli myös selvittää, miksi teollisuudessa valtaosa tuottamisesta tapahtuu muilla menetelmillä kuin tulostamalla. Työ antaa yrityksille tietoa kolmiulotteisen tulostamisen hyödyntämisen mahdollisuuksista ja kannattavuudesta.

Tutkimusmenetelminä käytettiin tiedonhakua muiden tuottamista tutkimuksista, menetelmistä, saavutuksista metalleilla tulostamisesta ja haastatteluilla kolmiulotteiseen tulostamiseen erikoistuneilta yrityksiltä. Tutkimusongelmia syntyi tutkimusmateriaalin vähäisyydestä sekä tutkimusten ja artikkeleiden luotettavuudesta.

Opinnäytetyön tuloksina löydettiin metalleilla tulostamiselle optimoituja käyttökohteita ja jo tehtyjä läpimurtoja metallisella tulostamisella. Esimerkiksi Airbus on tehnyt uusien lentokoneidensa siipiin rakenteita tulostamalla ja uusi menetelmä tulostaa ei-planaarisesti voi tuoda pursotustekniikkaan tarvittavan lisän tulostusmenetelmän yleistymisen suhteen. Tuloksina kartoitettiin kehityskohteita yleisesti metalleilla tulostamiseen ja tulostustekniikoihin. Kolmiulotteista tulostamista metalleilla on teollisuudessa vielä hankala hyödyntää tekniikan monimutkaisuuden ja korkean hintansa vuoksi.

Metallien kolmiulotteinen tulostaminen kappaleiden valmistusmenetelmänä on toistaiseksi vain tietyissä käyttökohteissa kannattavaa. Kolmiulotteinen tulostaminen on suhteellisen uusi tuottamisen tekniikka ja läpimurtoja tekniikkojen ja tulostimien suhteen tehdään jatkuvasti. Metallien tulostamisesta voi olla teollisuuden yritykselle suurta hyötyä prototyyppeihin, kehitystyöhön tai nopeisiin innovaatioihin.

---

Asiasanat: 3D-tulostus, metallit, ainetta lisäävä valmistus

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Mechanical Engineering  
Intelligent Machines

TASKINEN, ROOPE:  
Possibilities and Development Areas of Metallic 3D Printing in 2020

Bachelor's thesis 46 pages, appendices 4 pages  
October 2020

---

The objective of the thesis was to gather information on 3D printing of metals and the possibilities and development areas of the method. The objective was also to study the innovations and purposes where printing metals has been useful or preferred.

The data were collected from interviews with companies that are specialized in metallic 3D printing and through studies conducted by other scientific parties. The data were also collected on other breakthroughs and uses where 3D printing of metals were used. In general, data on the subject was relatively scarce, and the reliability of some sources was somewhat questionable.

It was found that 3D printing of metals is still far away from cost-effectiveness in terms of producing parts as a process in a factory line. It is, however, a fine asset in research and development and quick innovations. Metallic 3D printing also has a niche purpose in certain industries such as in aerospace and automotive industry.

The findings indicate that considerably more work is needed for the process of printing metal parts to be cost-effective to produce parts in a factory line. Innovations and breakthroughs are done constantly, and it is only a matter of time that 3D printing surfaces as a superior way of producing parts.

---

Key words: 3D Printing, Metals, Additive Manufacturing

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	KAPPALEIDEN TUOTTAMINEN .....	7
2.1	3D -tulostaminen .....	7
2.2	Kolmiulotteisten kappaleiden tulostaminen .....	7
3	TULOSTUSMENETELMÄT .....	9
3.1	Materiaalin pursotus .....	9
3.1.1	Ei-planaarinen tulostus .....	10
3.2	Materiaalin suihkutus .....	12
3.3	Sidosaineen suihkutus .....	13
3.3.1	Sidosaineen suihkutus – hiekalla tulostaminen .....	14
3.3.2	Sidosaineen suihkutus – metallilla tulostaminen .....	15
3.4	Jauhepetimenetelmä .....	16
3.5	Suora kerrostus .....	17
3.6	Laminointi .....	19
4	TOPOLOGINEN OPTIMOINTI .....	21
5	3D -TULOSTUKSEN HYÖDYT JA KEHITYSKOHDAT .....	24
5.1	Hyödyt .....	24
5.2	Kehityskohdat .....	26
6	IDEAALISET TEOLLISET KÄYTTÖKOHTEET .....	27
6.1	Lentokone-, ilmakehä- ja avaruustekniikka .....	27
6.2	Lääketiede .....	29
6.2.1	Käyttökohteet yleisesti .....	29
6.2.2	Metallien tulostaminen lääketieteessä .....	30
6.3	Teollisuus .....	31
7	KUSTANNUKSET .....	33
7.1	Materiaalit .....	33
7.2	Tulostimet .....	34
7.3	Työtunnit .....	34
7.4	Yhteistyö tulostusyrityksen kanssa .....	35
8	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA .....	36
	LÄHTEET .....	39
	LIITTEET .....	43
	Liite 1. Haastattelu, 3Dformtech .....	43
	Liite 2. Sähköpostikysely, EOS .....	45
	Liite 3. Excel yhteenveto tulostimista .....	46

**LYHENTEET JA TERMIT**

3D	Three dimension (kolmiulotteinen)
CAD	Computer Aided Drawing (Tietokoneavusteinen piirtäminen)
CAM	Computer Aided Modeling (Tietokoneavusteinen mallintaminen)
AM	Additive Manufacturing (Lisäävä valmistus)
STL	Stereolithography (stereolitografia) - tiedostomuoto
AMF	Additive Manufacturing File (lisäävän valmistuksen tiedosto) – tiedostomuoto
CNC	Computer Numerical Control (Numeerinen ohjaus)
PBF	Powder Bed Fusion (Jauhepetifuusio)
DEP	Direct Energy Deposition (Suora kerrostus)
BJ	Binder Jetting (Sidosaineen suihkutus)
DOD	Drop on Demand (Tiputus tarvittaessa)
DLSM	Direct Metal Laser Sintering (Suora lasersintraus)
SLM	Selective Laser Melting (Valikoiva lasersulatus)
EBM	Electron Beam Melting (Elektronisädesulatus)
LOM	Laminated Object Manufacturing (Laminoidun kappa- leen tuottaminen)
UAM	Ultrasonic Additive Manufacturing (Ultraääninen lisäävä tuottaminen)

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää metallisten kappaleiden 3D tulostamisen kannattavuutta ja käyttökohteita yritysmaailmassa. Opinnäytetyössä tutkitaan yksittäisten tulostusmenetelmien hyviä ja huonoja puolia, tulostimia sekä tulostamisen hyötyjä ja rajoituksia muihin valmistusmenetelmiin nähden. Tulostaminen tuottavana menetelmänä on rajoitetusti käytössä erinäisissä yrityksissä ympäri maailman, mutta ei ole vielä saavuttanut suurta osuutta tuottamisen menetelmänä.

Tavoitteena on saavuttaa laajempi käsitys metallien kolmiulotteisen tulostamisen käyttötarkoituksista ja mahdollisuuksista. Opinnäytetyössä keskitytään tulostamisesta kiinnostuneen yrityksen näkökulmasta oleellisiin asioihin. Opinnäytetyö on rajoitettu tulostamistekniikoihin, tulostamiseen, optimointiin, ideaalisiin käyttökohteisiin, kustannuksiin sekä hyötyihin ja kehityskohtiin.

## 2 KAPPALEIDEN TUOTTAMINEN

Kappaleiden tuottaminen voidaan jakaa pääasiassa kolmeen erilaiseen pääryhmään; muodostavaan, poistavaan ja lisäävään menetelmään (Redwood, Schöffler & Garret 2017, 7). Muodostamismenetelmällä tarkoitetaan menetelmää, joka käyttää hyödyksi esimerkiksi muottia, johon kappale valetaan. Poistava menetelmä tarkoittaa, että suuremmasta alkuperäisestä kappaleesta poistetaan osia ja jäljelle jäävä osa on varsinainen tuotettava kappale. Lisäävällä menetelmällä tarkoitetaan, että kappale muodostetaan kerros kerrokselta ja tähän menetelmään kolmiulotteinen tulostus perustuu.

### 2.1 3D -tulostaminen

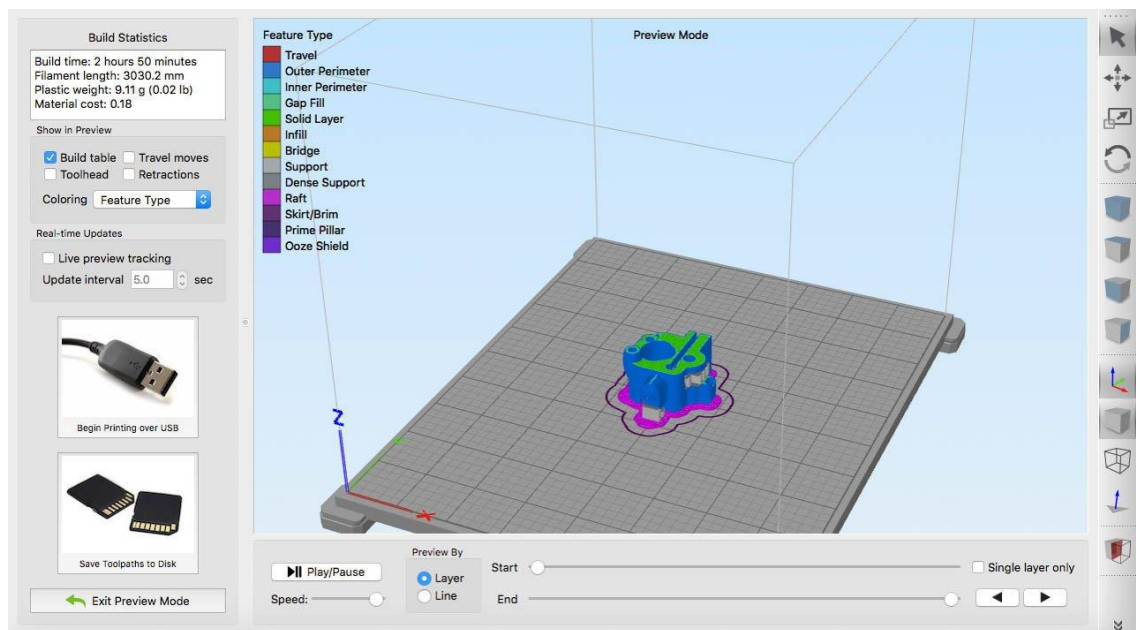
3D-tulostus termillä voidaan kuvailla montaa erilaista prosessia, joissa tietokoneavusteisesti materiaalia syötetään, kovetetaan tai yhdistetään tuottaakseen kolmiulotteinen fyysinen kappale. Kappale tuotetaan CAD-ohjelman mallin tai kolmiulotteisesta mallin perusteella.

Kolmiulotteinen tulostus on suhteellisen uusi tekniikka ja vasta viime vuosikymmeninä noussut todelliseksi vaihtoehdoksi osien tuottamisessa mallinnusohjelmien yleistyttyä ja tulostimien hintojen halvennuttua (AMFG, 2019). 3D-tulostus terminä pitää sisällään monta tekniikkaa, materiaalia ja työstötapaa. Ainetta lisäävää valmistamista, Additive manufacturing, voidaan pitää yleisimpänä kolmiulotteisen kappaleen tuottamisperiaatteena.

### 2.2 Kolmiulotteisten kappaleiden tulostaminen

Kolmiulotteisten kappaleiden tuottamisen prosessi alkaa suunnittelun jälkeen kolmiulotteisen mallin tekemisestä, joka voi tapahtua millä tahansa ohjelmalla, joka pystyy muuttamaan CAD -tiedoston tai tallentamaan mallin STL -muodossa. Uudempia muotostandardeja on olemassa, kuten AMF, joka sisältää tuen myös värille, materiaalille ja sisärakenteiden muodoille (SFS 52915, 12-14). STL -tiedosto sisältää tiedot kappaleen pintageometriasta kolmioina.

STL -tiedosto muutetaan G-koodi -tiedostoksi, jonka tiedoston muodon tulostin osaa lukea. G-koodi -tiedosto on ohjelmointikieli, jota käytetään CAM:issa apuna ja millä ohjataan automatisoituja koneita, kuten CNC -työstökoneita ja 3D -tulostimia. (Redwood, ym. 2017, 10.) G-koodi -tiedosto muodostetaan leikkuriohjelmalla ja tässä ohjelmassa käyttäjä pääsee muokkaamaan tulostusominaisuuksia, kuten tulostettavien osien suuntautumisen tulostusalueelle, tulostusnopeuden säätämisen, tukirakenteiden asettamisen ja kappaleen sisätäytön. (Kuvio 1)



KUVIO 1. Leikkuriohjelmalla Simplify3D (Makergear: Simplify3D -software)

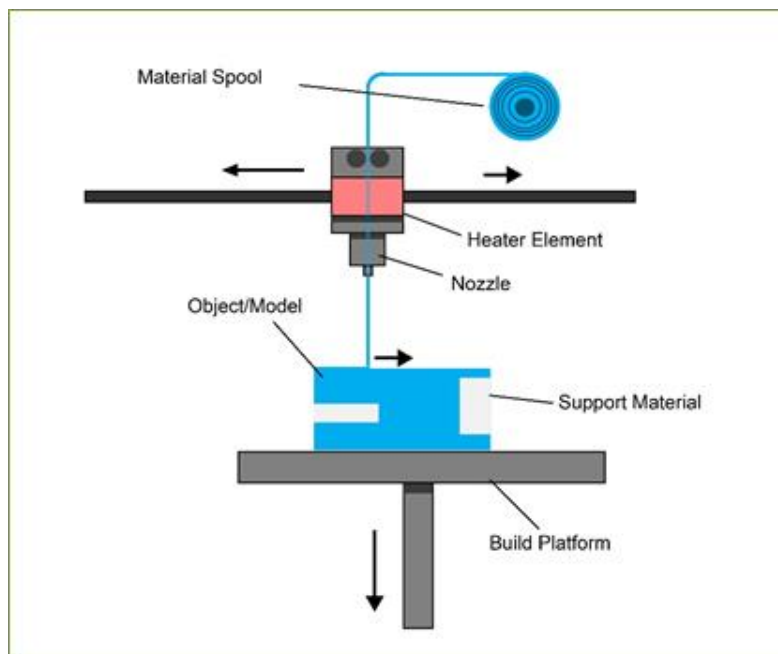


### 3 TULOSTUSMENETELMÄT

Kolmiulotteisessa tulostamisessa menetelmiä on monia, mutta metalleja tulostaessa vain osa tulostamismenetelmistä toimivat ja ovat käytännössä sovellettavia.

#### 3.1 Materiaalin pursotus

Materiaalin pursotuksella tarkoitetaan menetelmää, missä termoplastista ainetta, filamenttimuovi yleisimpänä, pursotetaan lämmitetyn suuttimen läpi sulattaen filamentin. Tulostin syöttää materiaalia tulostusalustalle tiedostossa ennalta määritellyn reitin mukaan ja filamentin jäähtyessä se kiinteytyy muodostaen kiinteän kappaleen (Kuvio 2). (Redwood ym. 2017, 27) Materiaalin pursotusmenetelmässä voidaan käyttää metallin ja muovifilamentin sekoitusta, joka antaa kappaleelle metallisen lopputuloksen, mutta ei ole mekaanisilta ominaisuuksiltaan yhtä kestävä.



KUVIO 2. Materiaalin pursotus (Loughborough University, Material extrusion)

Hyvinä puolina materiaalin pursotus -tekniikkaan ovat monet laitevalmistajat ja monipuoliset materiaalit. Huonoina puolina tekniikkaan ovat suuttimen rajoitettu koko, välttävä pinnanlaatu ja tarkkuus verrattuna muihin tulostustekniikoihin,

sekä tarve jatkuvalle paineelle tulostaessa. (Loughborough University, Material extrusion)

### 3.1.1 Ei-planaarinen tulostus

Viimeisimpiä ja uusimpia keksintöjä materiaalin pursotus -tekniikkaan on ei-planaarinen tulostus. Materiaalin pursotus -tekniikka on eniten levinnyt ja yleisin tulostustyyli. Materiaalin pursotus -tekniikka on yleistynyt halvan tulostamishintansa ja monen käyttötarkoituksensa takia.

Perinteisellä materiaalin pursotuksella kappaletta tulostaessa z-akselin laatu ja kestävyys ovat olleet alle optimin tason. Normaalisti pursotuksessa z-akselia hallinnoi tulostustasoa liikuttava moottori, joka jokaisen tason tulostamisen jälkeen liikkuu tulostettavan kerroksen määrän alaspäin ja uusi taso tulostetaan aikaisemman päälle. (Peels, J. 27.03.2020)

Ei-planaarinen tulostus on Kupol incorporation:in Gabriel Boutinin johdolla aloitettu ja viime vuosina kehittynyt tekniikka, joka hyödyntää z-akselia uudella tavalla. (Nonplanar.xyz, about) Tulostustekniikka tuo paremman laadun ja kestävyuden myös z-akselin suuntaisesti ja tekniikka vaatii erilaiset asetukset, erilaisen g-koodin tulostamista varten ja erilaiset suuttimet. Suuttimia ja esimerkkikoodia myydään nonplanarin sivuilla.

Ei-planaarinen tulostus kehittää tulosteen laatua ja kestävyttä erilaisella tulostusreitillä. Kerroksia tulostaessa tulostimen suuttimen ei tarvitse liikkua vain xy-akseleita pitkin, vaan tulostin käyttää hyödyksi myös z-akselia ja liikkuu ylös ja alas tulostaessaan (Kuvio 3).



KUVIO 3. Ei-planaarinen tuloste (Peels, J. 27.03.2020)

Perinteikkäämpään tulostusrataan verrattuna ei-planaarinen tulostus tuo selvästi parempaa tulostuspintaa ja laatua. Perinteiseen tulostukseen verrattuna ei-planaarinen tulostus voi erota esimerkiksi vasta viimeisimmillä tulostuskerroksilla. Viimeisillä tulostuskerroksilla tulostuspää pinnoittaa kappaleen uloimman pinnan liikkuen vapaasti kappaleen pintaa pitkin x-, y- ja z -akseleita pitkin, joka on havainnollistettu kuviossa 3. Normaali pursotustulostus tekee jokaisen kerroksen valmiiksi ja sitten siirtyy seuraavaan, eikä palaa enää takaisin. Yhtenäiset viimeiset kerrokset tuovat kappaleeseen suuren pinnan laadun ja kestävyuden parannuksen.

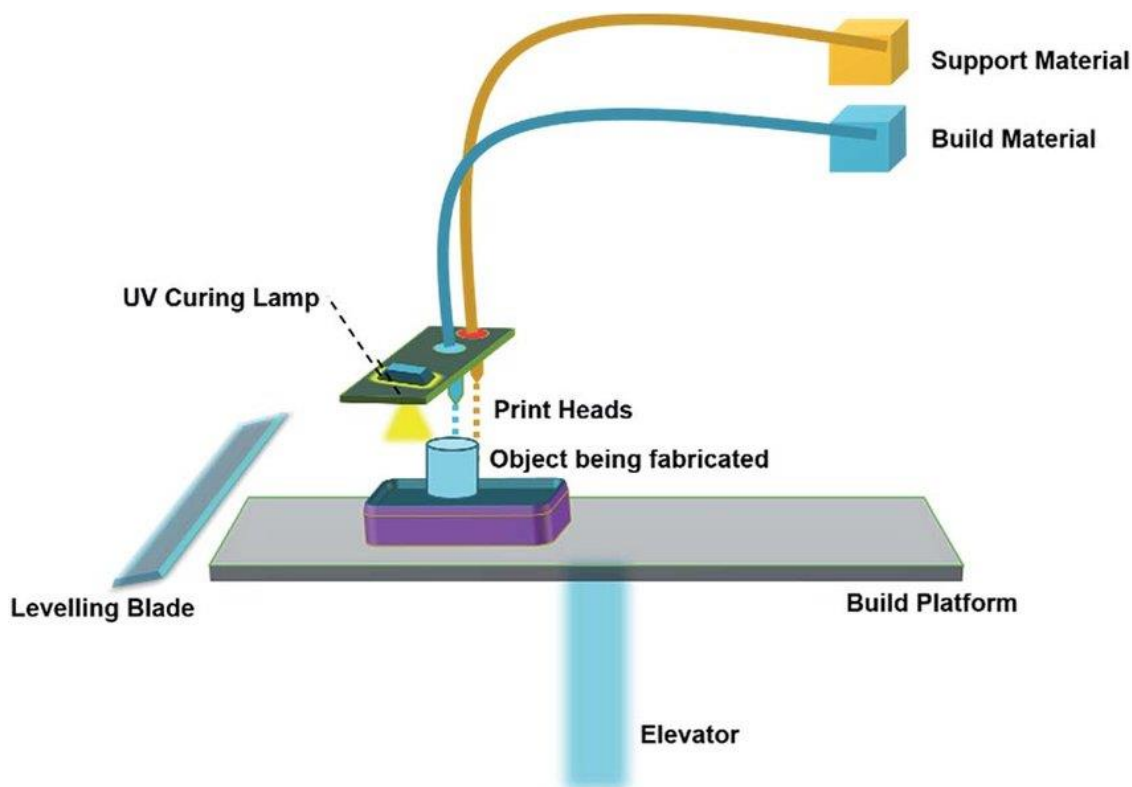
Ei-planaarista tulostusta on myös mahdollista käyttää kappaleen tulostamisessa tulostuksen alusta lähtien. Kupol incorporation on ollut mukana NFL:n kypäräkilpailussa, jossa on tarkoituksena tehdä mahdollisimman kestävä jääkiekkokypärä ja tämän tulostamisessa käytetään ei-planaarista tulostamista hyödyksi tulostaen pyöreätä muotoa alusta lähtien. (Peels, J. 27.03.2020)

Materiaalin pursotuksessa välttävä pinnanlaatu on yksi suurimmista huonoista puolista ja siksi materiaalin pursotus -tekniikka ei tuota mekaanisilta ominaisuuksiltaan parhaita osia. Materiaalin pursotuksessa metallia tulostaessa joudutaan käyttämään metallin ja muovifilamentin sekoitusta, mutta ei-planaarinen tulostus on yksi suuri askel pursotustekniikalla tulostamisen teollistamisen suhteen.

### 3.2 Materiaalin suihkutus

Materiaalin suihkutus -menetelmällä kappaleiden muodostaminen tapahtuu kaksiuotteisen mustetulostimen tulostusta muistuttavalla työstötavalla, joka perustuu yhtäjaksoiseen tai Drop On Demand (DOD) -lähestymistapaan. (Loughborough University, Material Jetting)

Materiaalin suihkutus -menetelmällä tulostaminen tapahtuu pisara kerrallaan, muistuttaen kaksiuotteisen mustetulostimen tulostusprosessia. Perinteikkäämmästä mustetulostuksesta kolmiulotteinen tulostus eroaa sillä, että kolmiulotteinen kappale luodaan suihkuttamalla materiaalia aikaisemman kerroksen päälle. Tätä jatketaan kerros kerrokselta, kunnes kolmiulotteinen kappale on valmis. Materiaalia kovetetaan UV-valon avulla ja tämän takia yleisimmät aineet yhtäjaksoisessa suihkutuksessa ovat vahamaisia materiaaleja. Drop On Demand (DOD) -menetelmää käyttäessä tulostimessa on kaksi suutinta, joista toista käytetään tukimateriaalin tulostamiseen. (Redwood ym. 2017, 94-95) Tukimateriaali on yleisesti liukenevaa, joka poistetaan jälkikäsittelyssä (Kuvio 4).



KUVIO 4. Materiaalin suihkutus (ResearchGate, material jetting)

Materiaalin suihkutusmenetelmä noudattaa samanlaisia tuottamisen periaatteita, kuin muutkin lisäävät menetelmät ja seuraa edeltä määritettyä reittiä lisäten materiaalia kerros kerrokselta. DOD -tulostimet omistavat tasaavan terän, jonka tarkoituksena on varmistaa täydellisen tasainen taso jokaisen kerroksen suihkuttamisen jälkeen.

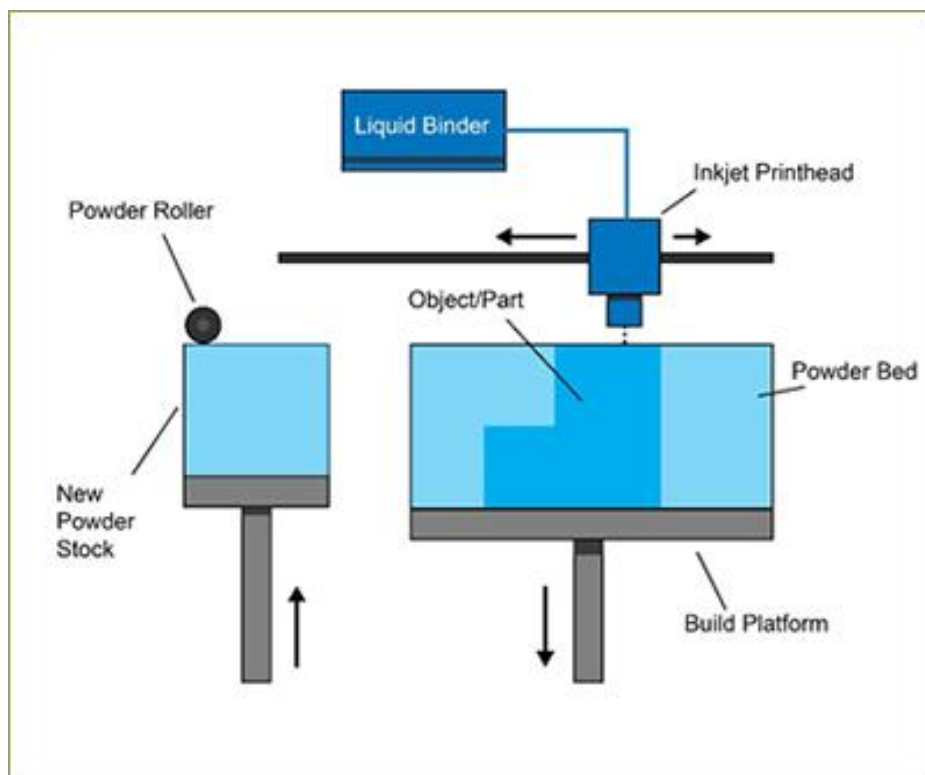
Materiaalin suihkuttamisella voidaan valmistaa myös metallisia kappaleita NJP -prosessilla, joka on patentoitu Xjet:in toimesta (3Dexperience. 3D printing – additive). NJP -prosessissa käytetään todella hienojakoista nestettä, mikä sisältää nanopartikkeleita. Nanopartikkeleja sisältävää ainetta suihkutetaan ohuissa kerroksissa rakennusalustalle ja nesteen kuumentuessa rakennusalustan korkean lämmön takia, joka saavuttaa noin 250 celsiusasteen lämpötilan, nesteosuus seoksesta haihtuu ja nanopartikkelit sitoutuvat toisiinsa. (Hendrixson, S. 2019)

Materiaalin suihkutusmenetelmän hyviä puolia ovat suuri tarkkuus pisaroiden syötössä, josta seuraa vähäinen materiaalihukka. Menetelmä tarjoaa myös monen erilaisen materiaalin ja värien osia yhdessä prosessissa. Huonoina puolina suihkutusmenetelmässä ovat tukimateriaalin yleinen tarve, joka voi aiheuttaa materiaalihukkaa ja prosessissa on todella suuri tarkkuus, mutta materiaalit ovat rajoitettu pääasiassa tällä hetkellä vain polymeereihin ja vahoihin. (Loughborough University, Material Jetting)

### **3.3 Sidosaineen suihkutus**

Sidosaineen suihkutus -menetelmä perustuu jauheen lisäämiseen ja tämän kovettamiseen pienillä, normaalisti 80 mikrometrin kokoisilla pisaroilla, jotka yhdistävät partikkelit toisiinsa muodostaen yhtenäisen pinnan. Yleensä yhdistävänä aineena käytetään liimaa ja jos prosessissa halutaan käyttää väriä, se lisätään myös liiman kanssa. (Redwood ym. 2017, 113)

Kerros kerrokselta partikkeleita yhdistetään ja jauhetta lisätään, kunnes kolmiulotteinen kappale on valmis. Prosessin loputtua kappale on poistettava ja puhdistettava käyttämättä jääneestä jauheesta (Kuvio 5).



KUVIO 5. Sidosaineen suihkutus (Loughborough University, Binder Jetting)

Hyvinä puolina menetelmään ovat värien monipuolisuus, monen värin käyttö samassa prosessissa, monet materiaalit, suhteellisen nopea tulostus sekä tulostus ei vaadi erillisiä tukirakenteita kappaleita ympäröivän jauheen takia. Huonoina puolina menetelmässä ovat mahdollinen rakenteen rasiutusta kestävä rakenne sidosaineen, liiman käytön takia ja suuri jälkikäsittelyn tarve. (Loughborough University, Binder Jetting) Metallilla tulostaessa kappale vaatii lopullisen käsittelyn metallipartikkeleiden yhdistämiseksi.

### 3.3.1 Sidosaineen suihkutus – hiekalla tulostaminen

Sidosaineen suihkutus -menetelmä voidaan jakaa kahteen alalajiin, hiekalla tulostamiseen ja metallilla tulostamiseen. Hiekalla tulostaminen on nimensä mukaisesti hiekkamateriaalilla tulostamista ja onkin halpa tapa tulostaa kolmiulotteisia kappaleita. Materiaalina voidaan esimerkiksi käyttää kipsiä tai hiekkakiveä. Hiekalla voidaan tulostaa joko kokovärisiä malleja (Kuva 1) tai ydin ja muotti -menetelmällä. Ydin ja muotti -menetelmällä tulostetaan ensin haluttu muotti valmista kappaletta varten, sisältäen mahdollisesti jonkin ytimen, ja tämän jälkeen tulostettuun muottiin valetaan varsinainen haluttu kappale. (Redwood ym.

2017, 113) Suurin hyöty ydin ja muotti -menetelmässä on suuret ja kompleksit geometriset muodot, jotka ovat mahdollista tuottaa suhteellisen pienellä hinnalla.



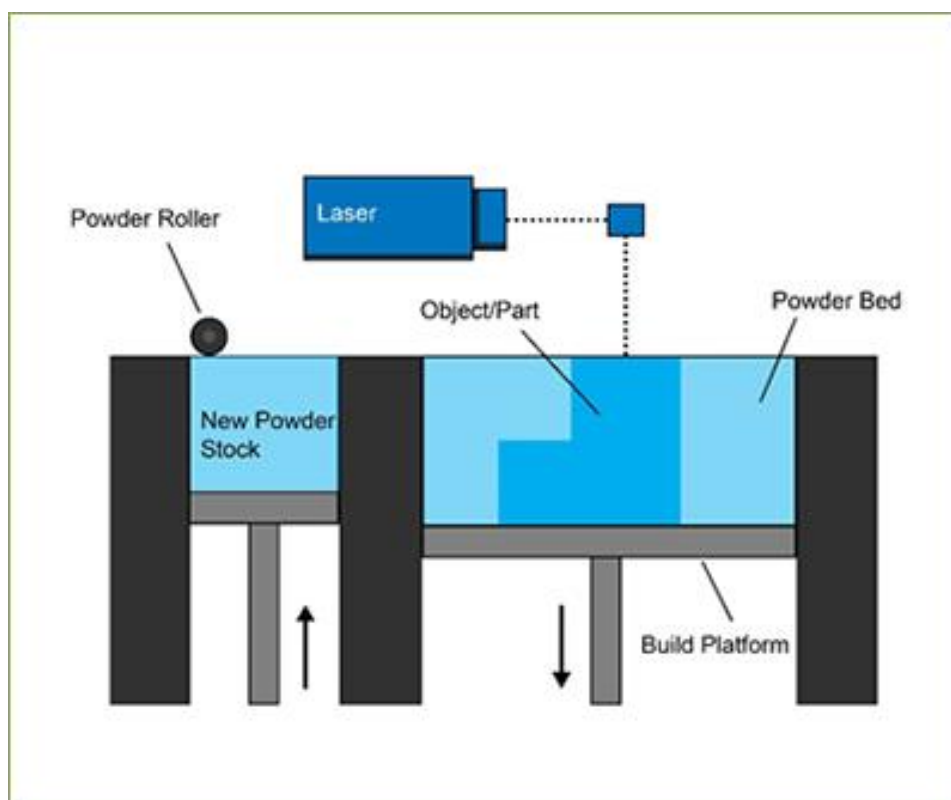
KUVA 1. Kokovärinen malli (Varotsis, A. Introduction to binder jetting 3D printing.)

### 3.3.2 Sidosaineen suihkutetus – metallilla tulostaminen

Metallilla tulostaminen sidosaineen avulla vaatii tietynlaisen jälkikäsittelyn, koska muuten tulostetuilla osilla olisi todella huonot mekaaniset ominaisuudet. Jälkikäsittelyyn näitä tyylejä on kaksi erilaista, imeytymistä ja sintrausta. Imeytymistekniikalla tulostuksen jälkeen kappale poistetaan ylijääneen jauheen keskeltä. Kappaleen jäädyttyä se laitetaan uuniin, jossa sideaine kappaleesta palaa pois jättäen tyhjiä kohtia ja rakoja kappaleeseen. Tämän jälkeen pronssia käytetään kapillaari-ilmiötä hyödyntäen täyttämään tyhjät kohdat, josta seuraa paljon kestävämpi ja tiiviimpi kappale. Prosessin aikana kappaleen tiiviys muuttuu 60 prosentista jopa 90 prosenttiin. Toinen tapa tiivistää kappale on sintrauksella. Sintrauksessa kappale tulostamisen jälkeen asetetaan uuniin ja kappaletta kypsennetään, jotta sitä voidaan käsitellä. Tämän jälkeen kappale sintrataan ahjossa ja kappale saavuttaa paljon suuremman, jopa 97 prosentin tiiviuden. (Redwood ym. 2017, 114) Sintraus aiheuttaa todennäköisemmin kappaleeseen vääristymiä verraten imeytyskäsittelyyn, koska kappaletta kuumennetaan tiiviiksi.

### 3.4 Jauhepetimenetelmä

Jauhepetimenetelmä perustuu jauheen lisäämiseen tulostusalustalle, jonka jälkeen jauhe kovetetaan ennalta määritetyistä kohdista käyttäen elektronisädettä tai laseria. Jauhetta lisätään rullalla tulostusalueelle kerroksen kovettamisen jälkeen ja kappale valmistuu kerros kerrokselta (Kuvio 6).



KUVIO 6. Jauhepetimenetelmä (Loughborough University, Powder Bed Fusion)

Jauhepetimenetelmässä laserilla käytetään DMLS ja SLM -tekniikoita. DMLS tarkoittaa suoraa lasersintrausta, joka ei sulata metallijauhetta, vaan lämmittää jauheesta riippuen jauheen pisteeseen, jolloin jauheen on mahdollista sulautua yhteen molekyyllisellä tasolla. SLM -tekniikka, joka on valikoiva lasersulatus -tekniikka sulattaa jauheen ja näin muodostaa yhtenäisen kappaleen. (Redwood ym. 2017, 124)

Elektronisädettä käyttäessä (EBM) periaate on käytännössä sama, kuin SLM tekniikalla, mutta sulattamiseen käytetään elektronisädettä laserin fotonisäteen sijaan. Elektronisäde tarvitsee vähemmän aikaa sulattamiseen energiatiheämmän säteen takia ja tästä seuraa nopeampi tulostus.



EBM -tekniikka käytettäessä tulostusnopeus voi olla suurempi, mutta tulostuslaatu on todennäköisemmin huonompi, kuin laseria käytettäessä. EBM -tulostus tehdään tyhjiössä ja prosessia voidaan käyttää vain induktiivisilla metalleilla. (Redwood ym. 2017, 125)

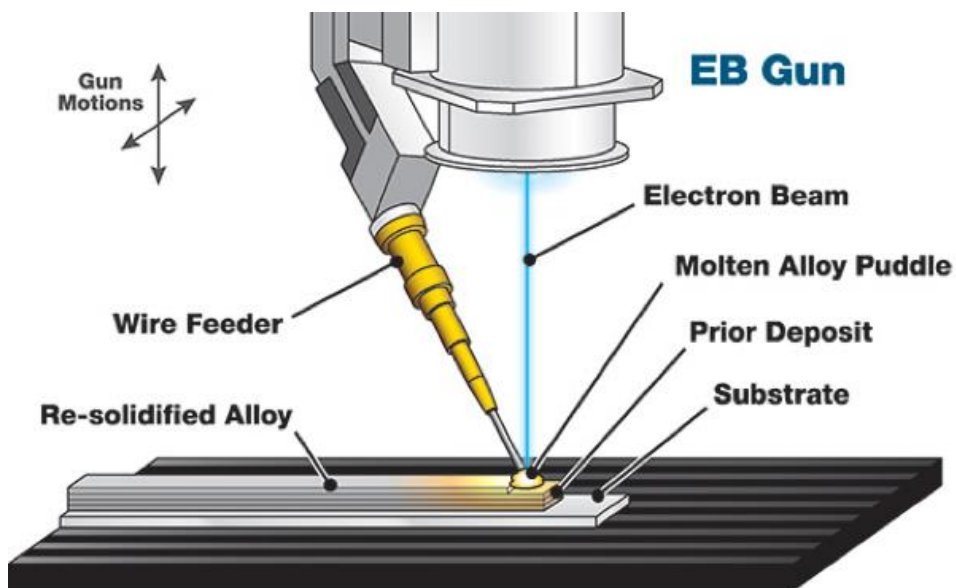
Hyviä puolia jauhepetimenetelmässä ovat laitteiden pieni toimistoon mahtuvan koon mahdollisuus, kovetustavasta riippuva jauheen valmis tukirakenne ja hyvä valikoima materiaaleissa. Huonoja puolia jauhepetimenetelmässä ovat suhteellisen hidas valmistusnopeus, rakenteellisten ominaisuuksien puute tulostetuissa kappaleissa ja mahdolliset rakenteelliset vääristymät laserin suuren energiamäärän seurauksena. Lisäongelmia syntyy suuresta virran kulutuksesta ja lopputuloksen pinnanlaatu riippuu jauheen raakoosta. (Loughborough University, Powder Bed Fusion.)

### **3.5 Suora kerrostus**

Suorassa kerrostuksessa ainetta lisätään joko jauheen tai langan muodossa ja se sulatetaan laser- tai elektronisäteellä. Ainetta lisätään samalla, kun sitä sulatetaan. Menetelmänä suora kerrostus on monimutkaisempi ja hankalampi muihin lisääviin valmistusmenetelmiin verrattuna ja menetelmää käytetäänkin enemmän materiaalin tai muotojen lisäämiseen jo olemassa oleviin kappaleisiin tai näiden kappaleiden korjaamiseen (Loughborough University, Direct Energy Deposition). Tässäkin tuottavassa menetelmässä työstöpäät liikkuvat ennaltamääritettyä reittiä, joka on syötetty työstöpäätä ohjaavalle tietokoneelle.

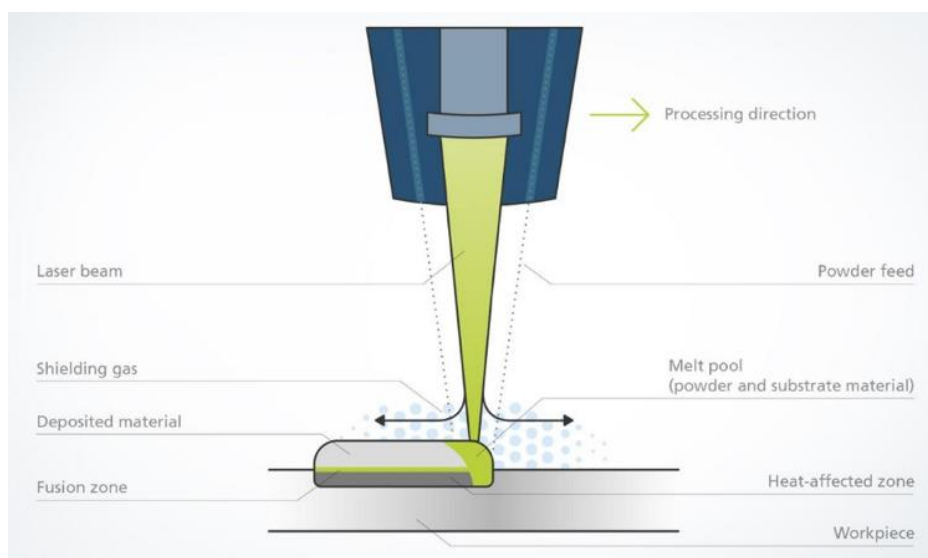
Suoran kerrostuksen menetelmä muistuttaa materiaalin pursotuksen menetelmää, mutta eroaa edellä mainitusta selvästi siinä, että suuttimen on mahdollista liikkua moneen eri suuntaan 4- tai 5 -moniakselisen työstökäden ansiosta. Menetelmässä voidaan käyttää materiaaleina myös polymeerejä tai keraameja, mutta käytetään yleensä metallia. (Loughborough University, Direct Energy Deposition.)

Elektronisädettä käytettäessä metallilankaa syötetään samalla menetelmällä kuin hitsausmikissä ja se hitsataan paikallisesti kerrokseksi pöydän tai toisen kerroksen päälle (Kuvio 7).



KUVIO 7. Suora kerrostus langan avulla (DigitalAlloys, Direct Energy Deposition)

Suorassa kerrostuksessa jauhetta käytetään kerroksien tekemiseen silloin, kun laseria käytetään aineen sulattamiseen. Materiaalia syötetään ja se sulatetaan samalla laserin toimesta muodostaakseen kerroksia pöydälle, aikaisemman kerroksen päälle tai viereen (Kuvio 8).



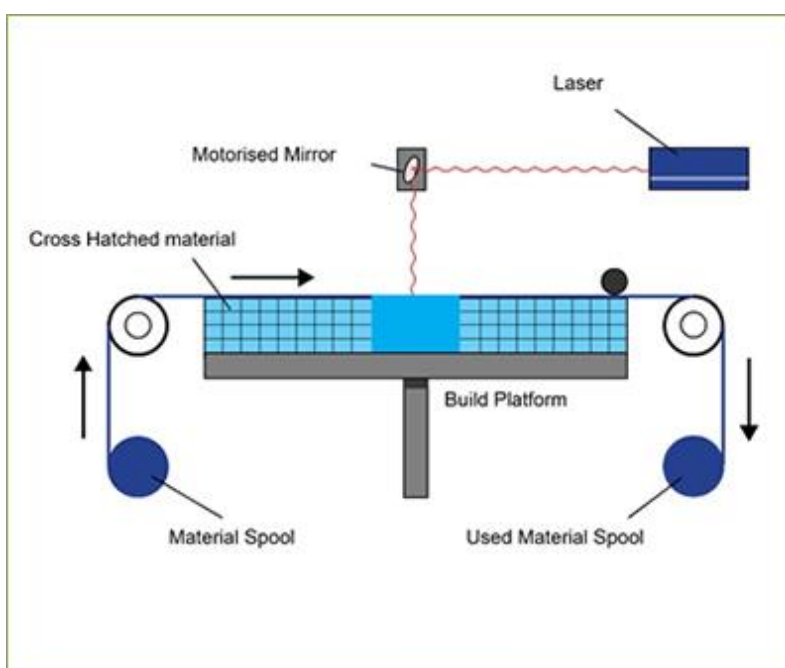
KUVIO 8. Suora kerrostus jauheen avulla (DigitalAlloys, Direct Energy Deposition)

Hyvinä puolina suoraan kerrostukseen on kontrolli rakeisesta rakenteesta, joka johtaa laadukkaisiin toimiviin osiin korjauksessa tai materiaalin lisäyksessä. Tasapaino nopeudessa ja laadussa tarvitaan, mutta korjaavassa tulostamisessa

nopeudesta voidaan luopua, jolloin laatu kasvaa. Huonoja puolia suorassa kerrostuksessa ovat rajoittunut käyttömateriaalin valikoima, lopputuloksen vaihtelu ja loppukäsittelyn tarve sekä fuusiomenetelmän kehitystarve, mikäli menetelmästä halutaan saada yleistävämpi tuottamismenetelmä. (Loughborough University, Direct Energy Deposition.)

### 3.6 Laminointi

LOM tai Laminated Object Manufacturing on Helisys Inc. kehittämä tekniikka, missä materiaaliarkkeja sulatetaan yhteen ja ohjatulla laserilla leikataan haluttu kappale pois. Helisys lopetti operaationsa vuonna 2000, mutta tämän jälkeen muut yritykset ovat ottaneet tekniikan käyttöönsä ja kehitettäväksi (Kuvio 9). (Zhang, J. & Jung, Y-G 2018, 15)



KUVIO 9. Laminointi (Loughborough University, Sheet Lamination)

Laminointi -tekniikassa on lisäksi UAM -tekniikka, joka soveltuu metalleille. UAM-tekniikassa materiaaliarkkeja tai -nauhoja sulatetaan yhteen ultraäänisellä hitsauksella. UAM vaatii yleensä CNC-koneen jälkikäsittelyä, mahdollistaa sisäisten muotojen tekemisen ja on alhaisen lämpötilan tekniikka. Tekniikka vaatii suhteellisen vähän energiaa, sillä metalli ei sula käsittelyssä. (Loughborough University, Sheet Lamination)

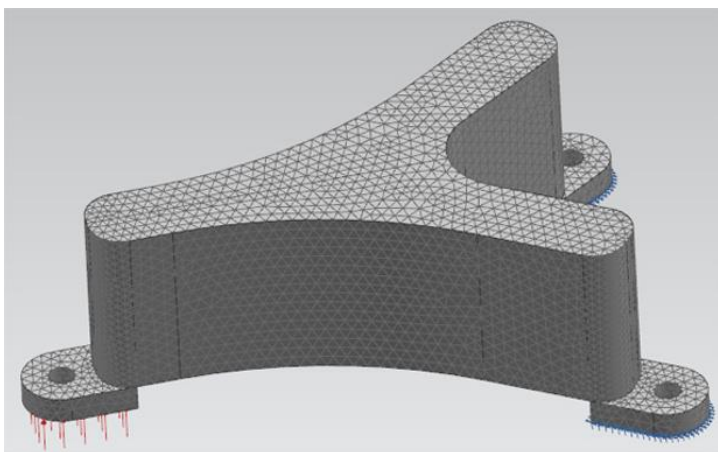
Hyviä puolia tekniikassa on tulostusnopeus ja helppo materiaalin käsittely. Huonoja puolia laminointi -tekniikassa on rajoitettu materiaalivalikoima ja suuri materiaalihukka. Fuusioprosessit vaativat kehittymistä, että siitä tulisi valtavirran mukaisempi tekniikka tulostamisessa. (Loughborough University, Sheet Lamination)

## 4 TOPOLOGINEN OPTIMOINTI

Topologinen optimointi käsitteenä kolmiulotteisessa tulostamisessa tarkoittaa rakenteen optimoimista ja keventämistä rakenteen rasitteen keston pysyessä yhtä suurena. Topologian optimoinnilla voidaan saavuttaa suuriakin säästöjä materiaalissa ja lisäksi kappale saadaan paljon kevyemmäksi, joka voi tarkoittaa pienempää rasitusta optimoidun kappaleen kiinnikkeille.

Topologian optimoiminen tarkoittaa periaatteessa rakenteen muuttamista orgaanisemmaksi, luonnollisemmaksi ja luonnosta ja orgaanisemmista muodoista monet ohjelmat ovat saaneet inspiraationsa. Vanhempi sovellusinsinööri, Jaideep Bangal (Engineering.com, 19.11.2015) kertoo haastattelussa, että heidän yrityksensä solidThinking Inspire -ohjelma tuottaa optimoidut muotonsa matemaattisin tavoin, joka perustuu ihmisen luunkasvuun. Näin saavutetaan orgaanisempia ja matemaattisesti kestävämpiä muotoja.

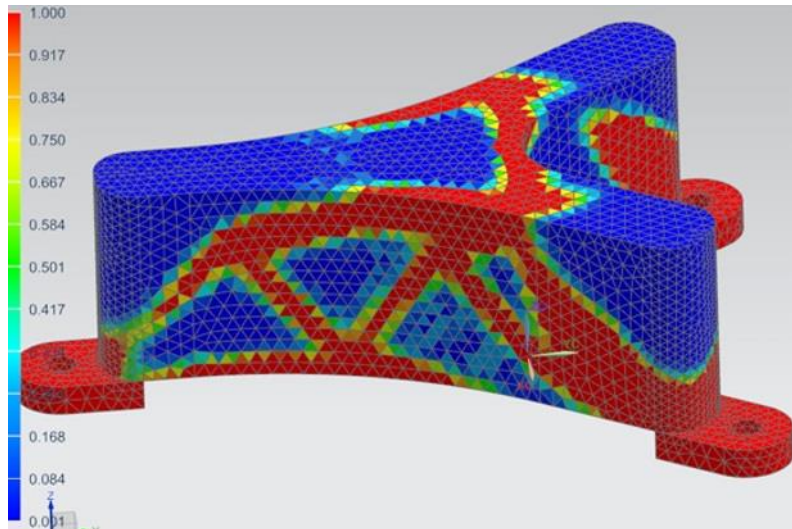
Topologista optimointia varten ensimmäisenä tarvitaan kappale, joka optimoidaan ja on tuotettu CAD/CAM -ohjelmalla. Kappaleen tuottamisen jälkeen ohjelmalle kerrotaan mistä kohtaa kappale tullaan kiinnittämään ja mistä kappaleeseen vaikuttaa ja kuinka suuri voima. (Kuvio 10)



KUVIO 10. Alkukappale, voima punaisella (3DNatives, Topology optimisation for 3D printing)

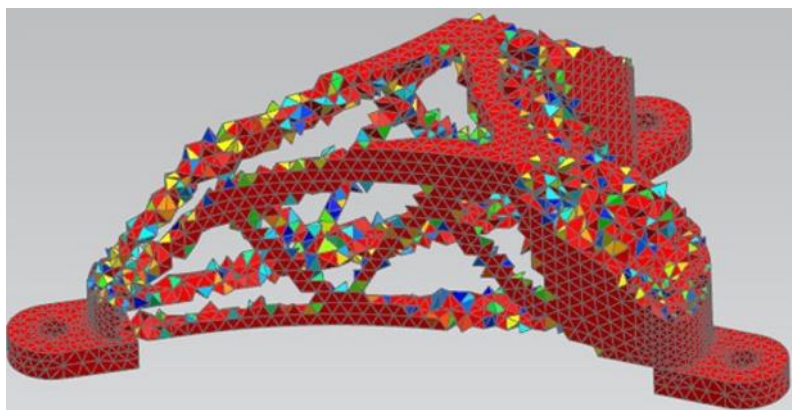
Seuraavassa vaiheessa, kun ohjelmalle on kerrottu tukipisteet ja vaikuttavat voimat, ohjelma simuloi voimia erilaisia matemaattisia algoritmeja käyttäen ja

demonstroi esimerkiksi värikoodein, että missä kappaleeseen vaikuttavat erisuuruiset voimat sijaitsevat. Punainen merkitsee suurinta rasitusta ja pakollista kokonaista muotoa. Sininen merkitsee poistettavaa, turhaa muotoa. (Kuvio 11)



KUVIO 11. Visualisointi kappaleeseen vaikuttavista jännityksistä (3DNatives, Topology optimisation for 3D printing)

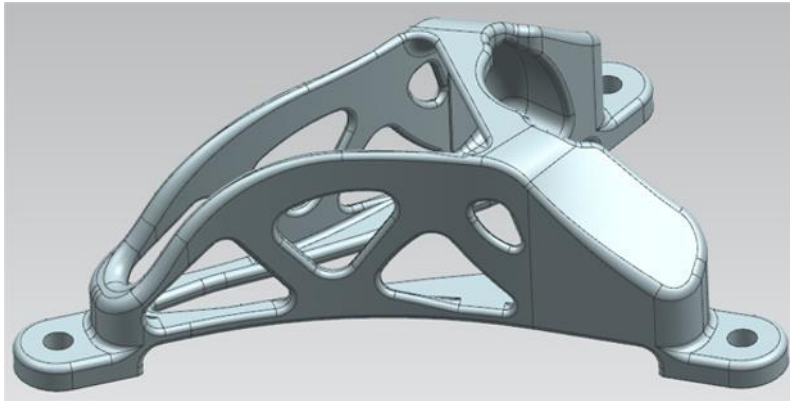
Seuraavaksi ohjelmassa on mahdollista nähdä kappale ilman ylimääräisiä, sinisiä osia kappaleesta. Ohjelman demonstroitua kappaleesta poistettavat kohdat, nämä kohdat poistetaan. (Kuvio 12)



KUVIO 12. Kappale ylimääräisten osien poistamisen jälkeen (3DNatives, Topology optimisation for 3D printing)

Kappale, joka on optimoitu topologisesti ja tämän jälkeen uudestaan muokattu vastaamaan rakenteellisesti vähintään ohjelman suosittamaa rakennetta on valmis tulostettavaksi. Kappaleeseen jätetään hieman ylimääräistä materiaalia,

koska simuloinnin antamien rajapintojen suhteen on helpompi jättää ylimääräistä ja kappale kestää hieman paremmin. Tämä on parempi, kuin että kappale on mahdollisesti liian karsittu, joka kestää liian vähän rasitusta. Tässä vaiheessa kappale muokataan osien poistamisen jälkeen myös siistin näköiseksi ja laatustandardeja noudattavaksi (Kuvio 13).



KUVIO 13. Valmis topologisesti optimoitu ja muokattu kappale (3DNatives, Topology optimisation for 3D printing)

Kyseisen esimerkkiosan suhteen saavutettiin massallisesti 83 prosentin säästö, sillä alkuperäinen osa painoi 2 kilogrammaa ja valmis lopputulos painoi vain 327 grammaa. (3Dnatives, Topology optimisation for 3D printing)

## 5 3D -TULOSTUKSEN HYÖDYT JA KEHITYSKOHDAT

Kolmiulotteisessa tulostamisessa kappaleiden tuottamisen menetelmänä on tiettyjä hyötyjä, jotka ovat saavutettavissa vain, kun kappale voidaan tuottaa tulostamalla. Tässä tuottamisen menetelmässä on kuitenkin vielä rajoituksensa ja kehityskohteensa.

### 5.1 Hyödyt

Kolmiulotteinen tulostaminen, eli lisäävä tuottaminen tuo esimerkiksi perinteikkäämpään valamiseen verrattuna monia hyviä puolia. Kolmiulotteisessa tulostamisessa on mahdollista valmistaa monenlaisia muotoja, joita aikaisemmilla työstömenetelmillä ei ole ollut mahdollista. Suunniteltaessa tulostettavan kappaleen muotoja rakenteesta saadaan orgaanisempi ja normaalit kappaleen tuottamisen rajoitteet ovat eliminoitu. Esimerkiksi muottiin valamiseen verrattuna ylimääräisen jälkityöstämisen tarve voi poistua, jos kappale tuotetaan tuottavalla menetelmällä. Valamiseen perustuva tuottaminen on edelleen suhteellisen kallista ja hankalasti saatavilla, kun taas tulostimien hinnat halventuvat ja tulostustekniikat kehittyvät jatkuvasti.

Kappaleen tuottaminen tapahtuu yhdessä prosessissa, eikä esimerkiksi kahden tai useamman kappaleen liittämistä yhteen tarvita, joka poistaa mahdollisia heikompia kohtia kappaleesta. Hankalampaa kappaletta tuottaessa kappaleen valmistus on myös nopeampaa ja kappaleen tuottamisesta tulostaen tulee kannattavaa.

Koivulahti, S kertoo haastattelussaan (Liite 1. 14.10.2020) suuresta hyödystä kolmiulotteisessa tulostamisessa, joka on, että voidaan valmistaa vanhaan tai ainutlaatuiseen koneeseen osia ja varaosia, joita ei valmisteta enää. Varaosa valmistetaan tulostamalla ja tätä kautta voidaan saada varmasti toimiva osa, joka voidaan optimoida eri tavalla ja osa voi kestää pidempään, kuin aikaisempi vanhempi osa. Lisäksi uutta kappaletta tulostaessa voidaan ottaa huomioon uudenlainen modulaarisuus. Modulaarisuus voi tarkoittaa esimerkiksi tässä tapauksessa toisen kappaleen liittämisen mahdollisuutta tulosteeseen, jos



alueelle tarvitaan esimerkiksi valoa huoltamisen suhteen tai jotain mittalaitetta tai anturia prosessin seuraamista varten.

Osat on mahdollista lähettää digitaalisessa muodossa toiselle puolelle maapalloa, jos toisella osapuolella on laitteistot ja ohjelmat valmiina. Mallien lähetyksen jälkeen toisen osapuolen on mahdollista vain tulostaa kappale. Mallien lähetys mahdollistaa kappaleen tulostuksen tehtaalla, kotona tai toimistossa ja lisäksi internetin avulla lähetetyn kappaleen käyttäminen poistaa kappaleiden kuljetuksen tarpeen. Kappaleiden kuljetuksen tarpeen poistaminen on nykypäivän yritykselle merkittävä asia, sillä monen yrityksen arvoihin sisältyy nykypäivänä ekologisuus, uusiutuvuus ja kierrätys. (Loughborough University, What is Additive Manufacturing)

Materiaali, mikä tarvitaan tuottamaan kappale, vastaa käytettyä raakamateriaalin määrää (Loughborough University, What is Additive Manufacturing). Tulostamalla tuotettavassa kappaleessa on todella vähän hukkamateriaalia, koska monessa tulostustekniikassa tukimateriaalit ja ylimääräiset petijauheet ovat kierrätettävissä ja uudelleen käytettävissä.

Yhtenä suurena hyötynä tulostamisessa on mahdollisuus optimoida tiettyjen kappaleiden valmistaminen vain tulostusprosessia varten. GE Aviaton valmistaa suihkumoottoriensa polttoainesuuttimet sekä suihkuturbiinien lavat tulostamalla. Valmistusprosessi on suuttimien lapojen suhteen optimoitu vain tulostamista varten, kappaleiden muodot ovat monimutkaiset ja optimoitu juuri tietynlaisiksi, joten kappaleet kannattaa tehdä vain tulostamalla. (Koivulahti, S. 14.10.2020)

Pienvalmistuserät ovat ideaaleja lisäävää tuottamista varten, sillä jokainen tulostettava osa on mahdollista muokata omanlaisekseen ja tämä on erityisen hyödyllistä lääketieteellisestä näkökulmasta. Lääketieteellisessä mielessä kukaan ei ole samanlainen, kuin joku toinen ihminen ja siksi proteesia tai esimerkiksi titaaniniveltä tai -lonkan osaa tulostaessa pieni muokkauksen mahdollisuus ja henkilökohtaisesti mukautettu tuloste on vaatimus. (Loughborough University, What is Additive Manufacturing)

## 5.2 Kehityskohdat

Yksi suurimmista kehityskohteista metallilla kolmiulotteisten kappaleiden tulostamisen teollistamisessa on ammattitaidon puute. Suunniteltaessa kappaletta moni asia vaikuttaa siihen, että saadaanko tekniikasta kaikki mahdollinen hyöty, mikä on saavutettavissa. Tukimateriaalin asetus, kappaleen suuntautuminen tulostusalustalle, topologinen optimointi, jälkikäsittelyn tarve ja jälkikäsittelyn laatu sekä rakenteen suunnittelu yleisesti ovat olennaisia onnistuneen tulosteen suhteen. Ammattitaidon puute näkyy myös siinä, että tulostaminen tulee erittäin kalliiksi, jos yritys haluaa investoida tulostimeen, koulutukseen tulostamisessa sekä nimittää tai palkata tietty henkilö tulostusta varten. Tulostamista varten palkattu henkilö opiskelee tulostamisen pieniä ominaisuuksia ja optimoi tulostamisen niin, että tulostuslaatu on vähintäänkin vaaditulla tasolla. Tässä kaikessa yrityksellä voi kestää vuosia, että tulostuskappaleiden laatu on todellisesti hyvällä tasolla.

Tulostamistekniikoiden kehityskohteina perinteiseen valutekniikkaan verrattuna on myös tulostimien kustannushinta ja työtuntien kustannukset. Verrattuna valamiseen, suuremmissa erissä tulostamisesta tulee paljon kalliimpi tapa tuottaa kappaleita. Työtuntien kustannukset pysyvät suunnilleen samansuuruisina suuremmissa kappale-erissä. Tulostimien hinta on suurin tekniikkaa takana pitävä voima, koska metallia tulostavien tulostimien hintojen alennettua tulostimet yleistyvät ja kollektiivisesti ihmisten taitotaso kehittyy tulostimien suhteen.

## 6 IDEAALISET TEOLLISET KÄYTTÖKOHTEET

Toistaiseksi suurimmat hyödyt metallisesta tulostamisesta saadaan lentokoneissa, ilmakehä- ja avaruustekniikassa, ajoneuvoissa ja lääketieteessä. Suurimman hyödyn näillä teollisilla aloilla tuo titaanin käyttäminen tulostaessa, jolla on erittäin alhaisen ominaispainon ja erinomaiset mekaaniset ominaisuudet. (Ikalloy, 22.10.2018)

### 6.1 Lentokone-, ilmakehä- ja avaruustekniikka

”Ilma-alusten valmistaminen on entistä kustannustehokkaampaa ja tehokkaampaa kuin koskaan, koska se vaatii laadukasta suunnittelua lentokoneen saamiseksi taivaalle.” (Ikalloy, 22.10.2018).

Perinteiseen valu- ja taontatekniikkaa käytettäessä ilmailutekniikassa tuotteissa on korkeat standardit ja laatukustannukset sekä monimutkainen prosessi. Ilmailutekniikassa tarvitaan myös räätälöintiä osien suhteen ja pienemmät toimitusajat, jotka tukisivat teollisuuden ekologisuutta. Kevyet ja voimakkaat osat ovat prioriteetti ja titaaniseoksella tulostaminen on kuin tehty ilmailutekniikkaa varten. Ti6Al4V, joka tunnetaan myös nimellä Ti64 ja Ti6Al4VEL, titaanin, alumiinin ja vanadiumin seoksia käytetään lentotekniikassa vaihteistoihin ja liitosnauhoihin. Titaanin tulostamisella ilmailutekniikassa voidaan poistaa pitkät odotusajat ja nopeisiin innovaatioihin ei mene niin paljoa tutkimus- ja kehitysaikaa. Materiaalin kokonaismäärää onnistuttiin testeissä pudottamaan jopa 63 prosenttia ja tämä näkyy ilmailutekniikassa suoraan polttoaineen säästönä, ekologisuutena ja jännitykset vähenevät lentokoneiden osien välillä. (Ikalloy, 22.10.2018) Lentokone-, ilmakehä- ja avaruustekniikkaan kokonaismateriaalin käytön ja massan pienenemisestä on suurta hyötyä polttoainesäästöjen ja osien jännitysten välillä. Tulostamisella osien tuottaminen tuo lentokone-, ilmakehä ja avaruustekniikkaan mahdollisuuden luoda monimutkaisia muotoja ja poistaa suurimman tarpeen osan tuottamisen mahdollisuuksien miettimisestä.

Kehittämisen kohteena viime vuosina on ollut suurien osan valmistus ilmailutekniikassa tulostamalla (3Dprintershark. 09.02.2016). Boeing on onnistunut tuottamaan Department of Energy's Oak Ridge National Laboratoryn kanssa suurimman tulostetun yhtenäisen kappaleen. Valmiin osan mitoiksi tuli 5,33 metriä pitkä, 1,67 metriä leveä ja 0,46 metriä korkea siipi (digitaltrends, 30.08.2016). Tämän siiven valmistus on osa projektia, missä Boeing haluaa valmistaa uuden 777X mallin lentokoneensa, jonka arvioitu toimitusajankohta olisi vuonna 2020. Boeing 777X sai ensilentonsa 25.01.2020 Washingtonin Paine Fieldissä ja mallilla on aikaisempaa pidemmät siivet. Boeingin insinöörien mukaan koneeseen on valmistettu osia uusilla metodeilla ja monimutkaisemmilla muodoilla, mitkä aikaisemmin olivat vain haave tietokoneruudulla. (Boeing, 777X commercial).

Avaruustekniikassa tulostaminen metalleilla on teoriassa todella hyödyllistä, koska tulostamismahdollisuus poistaa välivarastojen tarpeen ja kuljetuskustannukset. ISS:llä on esimerkiksi tulostettu jo työkaluja vuosia sitten, vaikkakin vain polymeereillä (NASA. 26.09.2014). Metalliset työkalut ovat tulossa ihmiskunnan suurimmalle avaruusasemalle, koska metallisilla työkaluilla on paremmat mekaaniset ominaisuudet kuin muovisilla. Metallisten työkalujen tulostaminen avaruudessa vaatii kuitenkin paljon virtaa, mikäli kappaleita halutaan tulostaa tarkalla jauhepetimenetelmällä ja suuri virran tarve kappaleiden tuottamisessa tuo omat ongelmansa avaruusasemalle. Hyvänä puolena työkalujen tulostamisessa olisi, että työkaluja ei tarvitse kuljettaa avaruusasemalle. Tulostimen avulla riittäisi, että työkalusta lähetetään kappaleen mallinnus asemalle tai malli tehdään avaruusasemalla ja tämän jälkeen työkalu tulostetaan paikan päällä. Kappaleen tuottamisen prosessiin tarvitaan vain tulostin, virtaa ja raaka-ainetta.

Suurimpana varsinaisena käyttökohteena ilmailussa tulostaminen loistaa, kun kehitetään GE Aviatonin esimerkin mukaisesti tulostamiseen optimoidut osat. GE Aviaton on optimoinut suihkuturbiinien polttoainesuuttimiensa ja lapojen valmistamisen juuri tulostamista varten. Polttoainesuuttimien ja lapojen muodot ovat monimutkaisia ja optimoitu juuri tietynlaisiksi, joten tulostaminen on ainut oikea tuottamisen menetelmä näille kappaleille. (Koivulahti, S. 14.10.2020)

Volkswagen on viime vuosina käyttänyt resurssejaan kehittääkseen 3D -tulostamista metallien suhteen ja heillä on tavoite muodostaa metallien 3D -tulostamisesta suuri osa tuotantoon. Volkswagen käyttää HP:n Metal Jet -tulostinta. Volkswagen ilmoitti tekevänsä yhteistyötä HP:n kanssa kehittääkseen 3D -tulostusta ja saavuttaakseen menetelmästä kannattavan tuottamisen menetelmän IMTS -messuilla vuonna 2018. (Volkswagen. 11.09.2018)

Volkswagen tuotti kahdeksassa kuukaudessa ID.R Pikes Peak -kisa-auton ja tämän auton tuotannossa tulostettiin 2000 kappaletta, joita käytettiin mallikappaleessa tuulitunnelitesteissä. Auto valmistui ennätysajassa ja Volkswagenin mukaan tulostustekniikka nopeutti valtavasti auton tuottamisen prosessia. Lopullisessa autossa ei käytetty suurempia tulostettuja osia, vaan vain pienempiä kytkimiä ja pidikkeitä, jotka olivat tulostettuja. (Volkswagen. 11.09.2018)

Insinööri Stachen mukaan (11.09.2018), joka työskentelee Volkswagenilla intensiivisesti tulostimien prosessien kehityksessä sanoo, että ensimmäiset rakenteelliset osat autoihin voitaisiin tulostaa kahden, kolmen vuoden sisällä. Stachen mukaan auton kaikista 6 000 – 8 000 osasta eivät tulisi kumminkaan tulostimesta, vaan on järkevämpi tuottaa isot ja ei niin kompleksit osat jollain muulla tavalla kuin tulostamalla.

Volkswagen on yksi autoteollisuuden yritys, joka on edelläkävijä 3D -tulostamisen implementoinnissa omaan prosessiinsa ja kehitystyöhönsä autojen tuottamisessa. Tavoitteena Volkswagenilla heidän sivujensa mukaan ei ole vielä tulostaa lähivuosina suurinta osaa auton osista, vaan käyttää tulostusta prototyyppeihin, innovointeihin ja kehitystyöhön.

## **6.2 Lääketiede**

### **6.2.1 Käyttökohteet yleisesti**

Lääketieteessä kolmiulotteista tulostamista käytetään jo ainakin Suomessa monessa yliopistollisessa sairaalassa hyödyksi. TKI-asiantuntijan Antti Alosen (2018) mukaan arkipäivää tulostaminen ei vielä ole, sillä 41 prosenttia kyselyyn

vastanneista eivät ole hyödyntäneet kolmiulotteista tulostamista missään potilaskohtaisessa käytössä.

Yleisin käyttökohde kolmiulotteisessa tulostamisessa sairaaloissa on näköismallit leikkauksien suunnittelua ja hahmottamista varten. Näköismallien (Kuva 2) tulostaminen mahdollistaa leikkauksen suunnittelun ennalta ja näköismallit eivät ole potilaisiin kosketuksissa, joten viranomais määräykset ovat kevyempiä sekä tulostusmateriaalilla ei ole niin paljoa väliä. (Alonen A, 2018)



KUVA 2. Näköiskappale potilaan luuston osasta CT-kuvan perusteella, jota käytettiin leikkaussuunnittelun apuna. (Alonen A, 2018)

### 6.2.2 Metallien tulostaminen lääketieteessä

Toiseksi suurimmat käyttökohteet kolmiulotteisella tulostamisella lääketieteessä ovat hammas-, suu- ja leukaluukirurgiaan liittyvät operaatiot (Alonen A, 2018). Lääketieteessä metallien käyttäminen varsinaisena potilaaseen asetettavana kappaleena tai implanttina tuo omat haasteensa tulosteen materiaalivalinnan suhteen.

Slovenia on kolmiulotteisten metallisten implanttien kärkimaita Euroopassa. Sloveniassa asennettiin ensimmäinen implantti potilaaseen jo vuonna 2008. Jauhepetimenetelmä on erittäin sovelias menetelmä implanttien tekemiseen ja laitevalmistajilta löytyykin suuri kirjo lääketieteellisiin käyttötarkoituksiin kelpaavia tulostimia. Suurin ongelma tulostimien käytössä lääketieteellisesti on laitteiston sertifiointi, joka voi olla vastuukysymyksen takia mahdollista vain yrityksille. Slovenialainen Mariborin yliopisto esimerkiksi joutui ulkoistamaan implanttien

valmistamisen toiselle yritykselle sertifiointin takia. Toinen suuri ongelma tulosteiden käyttämisessä potilaisiin on hyväksynnän hakeminen ja hyväksynnän hakemisessa voi kestää vähintään puoli vuotta, joka potilaalle voi olla aivan liian pitkä aika. (Alonen A, 2018)

Huolimatta haittaavan pitkistä käsittelyajoista hyväksynnän hakemisessa kolmiulotteinen tulostaminen vaikuttaa olevan tulevaisuuden oikea askel potilaiden hoidossa. Alonen (2018) kirjoittaa artikkelissaan: ”Igor Drstvensek Mariborin yliopistosta kertoi erään ortoediakirurgin todenneen, että 5 vuoden kuluttua kolmiulotteinen tulostus ja -suunnittelu ovat yleistyneet siihen pisteeseen, että niiden hyödyntämättä jättäminen voi olla kiellettyä.”

### **6.3 Teollisuus**

Teollisessa kolmiulotteisten kappaleiden valmistamisessa ollaan edetty huimaa vauhtia viime vuosina ja tällä hetkellä tiettyjen kappaleiden valmistamiseen kolmiulotteinen tulostaminen onkin jo noussut hyväksi vaihtoehdoksi.

Titaaniseoksia käytetään laajaan valikoimaan erilaisia pienempiä osia, muun muassa työkaluja ja kiinnittimiä. Yhtenä etuna tulostaessa osaa on inhimillisen virheen mahdollisuuden poistaminen, koska tietokone tarkoin parametrein ja toleranssien avulla tuottaa kappaletta, inhimillisille virheille jätetään vain pieni mahdollisuus (Ikalloy, 22.10.2018). Toinen etu tulostamisessa on muotin tarpeettomuus, mutta se pätee vain pienieräisissä tuotteissa ja kappaleissa. Sarjatuotannossa, jos tuotteita tai kappaletta tarvitaan tuhansia, niin todennäköisemmin muotilla valmistaminen tuo edun nopeudellaan tulostamiseen verrattuna. Muotin tulostaminen on myös mahdollisuus ja riippuen osasta tämä saattaa mahdollistaa tietynlaisen rakenteen, joka tekee muotin tuottamisessa tulostuksesta paremman vaihtoehdon. Muottia tulostaessa toleranssit ja laatu ovat todennäköisesti paremmat kuin yleisemmällä muotin tuotantomenetelmällä.

Teollisessa käytössä sarjatuotanto, suuret määrät sekä kappaleiden identtisyys tuotettaessa kappaleita ovat tärkeitä, joten kolmiulotteinen tulostaminen teollisen yrityksen tuotteiden valmistamisessa vaatii tekniikan halventumisen tullakseen paremmaksi tuottamistavaksi. Kolmiulotteinen tulostaminen voi tuoda todella

arvokkaan lisän tuotantolinjalle työkalujen ja varaosien tuottamiseen sekä tuotantoprosessin kehitykseen liittyen. Tällä hetkellä laadukkaiden metallisten tulostimien hinnat ovat suhteessa liian korkeat, että yrityksen on laskettava tarkkaan, kuinka paljon tulostamalla säästöä syntyy. Tutkimuksessa ja tuotekehityksessä metallitulostimeen investoinnista voisi olla hyötyä, mutta vähintään keskikokoisella yrityksellä, joka käyttää tulostinta suhteellisen paljon.

Teollisessa käytössä kappaleiden tulostaminen on LEANin tuotantotapa. LEAN ajattelutapa on yksinkertaisimmillaan turhan työn poistamista tuotannossa (Logistiikan maailma. LEAN-ajattelu). Teoriassa, jos tarvittava kappale saadaan tuotettua linjastolla ja kiinnitettyä suurempaan koottavaan kokonaisuuteen, poistetaan varastoinnin tarve ja kappaleiden kuljettaminen varaston ja koontilinjaston välillä. Turhien työvaiheiden poistaminen tuo säästöjä tuotantoon.

Teollisen tuotannon näkökulmasta säästöä tulee myös, koska tuotantolinjastolla ei tarvita mahdollisesti raskaiden kappaleiden siirtoa tehtaan tiloissa, joka poistaa riskejä turvallisuuden näkökulmasta. Turvallisuuden maksimoiminen ja riskien minimoiminen tuo merkittävää säästöä ajan ja kustannuksien suhteen teollisuuden tehtaalle, koska tänä päivänä turvallisuus on suuressa osassa työskentelyssä (plslogistics. 10.07.2018).

Teollisessa käytössä tulostaminen voi tuoda mahdollisuuden valmistaa varaosia ja kappeleita laitteisiin mitkä ovat sen verran vanhoja, että varaosia näihin ei enää valmisteta. Teolliseen kappaleiden valmistamiseen tulostamisen mahdollisuus tuo myös uuden näkökulman ja vaihtoehdon kappaleiden tuottamiseen, joka mahdollistaa ratkaisun kehittämisen ongelmaan aivan toisella tavalla.



## 7 KUSTANNUKSET

Tulostaessa kustannuksia syntyy monesta eri näkökulmasta; materiaaleista, työtunneista, mahdollisista tulostamiseen vaadituista tiloista ja tulostimesta itsessään.

### 7.1 Materiaalit

Materiaalikustannukset eivät tuo suurta osaa lopullisen tulosteen kustannuksista. Esimerkiksi EOS:in tuottamat jauhemateriaalit, EOS Ti64, EOS MaragingSteel MS1, EOS Stainless-Steel 316L ja EOS Aluminium AlSi10Mg myydään kilohinnoin. Halvin jauhetulostusmateriaali, AlSi10Mg maksaa noin alle 100 euroa per kilogramma. Kalleimmat jauhetulostusmateriaalit maksavat kilogrammalta noin 300 euroa. (Koivulahti, S. 14.10.2020)

Kelly, S:n mukaan (Liite 2. 24.09.2020) EOS, joka valmistaa hyvin laadukkaita metallitulostimia, tarjoaa tulostimen oston yhteydessä 50-100 kilogrammaa jauhetulostusmateriaalia tulostamisen aloittamista varten.

Jauhetulostusmateriaalia tarvitaan tulostamista varten koko tulostusalustan tilavuuden verran (Koivulahti, S. 14.10.2020). Esimerkiksi EOS M290 -mallilla tulostusalusta on tilavuudeltaan 0,0203 kuutiometriä ja tämä koko tilavuus tulee täyttyä metallijauheella. Ylimääräisen jauhemateriaalin saa uusiokäytettyä tulostamisen jälkeen.

Suorassa kerrostuksessa tulostimen on mahdollista käyttää materiaalina hitsauksessa käytettävää lankaa tai metallijauhetta. Mikäli tulostin käyttää materiaalinaan samanlaista lankaa, mitä käytetään hitsauksessa, kilohinta on noin kymmenen euroa. Tämän materiaalin käyttö edellyttää, että tulostuslaite käyttää suoran kerrostuksen menetelmää ja hitsauslankaa tulostamiseen. Materiaalien mahdollisuudet ja materiaalien kustannukset riippuvat siis käyttökohteesta ja tulostimesta.

## 7.2 Tulostimet

Suurin yksittäinen investointi tulostamista harkitsevalle yritykselle on tulostin. Metallisten tulostimien hinnat vaihtelevat 75 000 eurosta jopa 1 500 000 euroon asti (Liite 3.). Halvinta tulostinta yrityksen, joka tarvitsee tulostuspinta-alaa ja tarkkoja toleransseja, ei kannata edes harkita. EOS valmistaa suhteellisen kalliita, mutta erittäin tarkkoja ja hyviä metallilla tulostavia tulostimia. EOS tarjoaa lisäksi tukea oston jälkeen tulostimen käyttöönotossa, koulutuksessa, alkuun pääsyssä ja vuoden verran tämän jälkeenkin (Kelly, S. 24.09.2020).

Tulostimia, jotka löytyvät halvimista hintaluokista, ovat muun muassa Additecin uPrinter, jonka hinta on 90 000 euroa ja Coherentin Creator, jonka hinta on 75 000 euroa (Aniwaa. 07.10.2020). UPrinter on tulostin, joka tulostaa suora kerrostus -tekniikalla ja tämän tekniikan kappaleiden lopputulokset voivat vaihdella, joten tarkimmillaan tulostin pääsee 250 mikrometrin resoluutioon (Additec. uPrinter). UPrinterin tulostimessa hyvänä puolena on, että tulostin mahtuu työpöydälle ja silti omistaa suhteellisen suuren tulostusalueen, joka on 160x120x450 millimetriä kooltaan (Additec. uPrinter). Yleensä halvemmat tulostimet omistavat suhteellisen pienen tulostusalueen, joka tuo hankaluuksia tiettyjen haluttujen kappaleiden tuottamiseen. Suurimmat tulostusalueet ja jauhepetimenetelmää käyttävät tulostimet, jotka pääsevät 100 mikrometrin resoluutioon, ovat kalliita vaihtoehtoja ja esimerkiksi EOS M400-4 ja EOS M400-1 omistavat 400x400x400 millimetrin tulostusalueen, mutta tulostimet maksavat noin 1 200 000 ja 1 500 000 euroa (Kelly, S. 24.09.2020).

## 7.3 Työtunnit

EOS tarjoaa tulostimen oston yhteydessä tulostimen käyttöönoton koulutusta (Kelly, S. 24.09.2020). Koulutus kestää kolme viikkoa, joka tarkoittaa, että tulostimen varsinaiseen käyttöön ottamiseen asti on jo käytetty monta ihmistyötuntia. Tulostimen käyttökoulutus käsittää vain varsinaisen tulostimen käytön koulutuksen, eikä esimerkiksi jälkikäsitteilyä tai muita prosesseja, jotka pitää ottaa huomioon tulostuskappaleita valmistaessa.

Kolmiulotteisen kappaleen tuottamisen resurssien käytöstä toinen suuri osuus muodostuu ihmistyötunneista. Kappaleen loppukäsittelyn ja vaadittavan vähintään hyvän laadun saavuttamiseksi on esimerkiksi metalleille tulostamiseen erikoistuneella yrityksellä, 3Dformtechillä, kulunut 2 vuotta tutkimus- ja kehitystyötä (Koivulahti, S. 14.10.2020). Yrityksen, joka harkitsee metallisen tulostimen hyödyntämistä kehitystyössään tai tuotannossa onkin mietittävä, että kuinka paljon resursseja ajan ja rahan muodossa yritys on valmis laittamaan tulostamiseen.

#### **7.4 Yhteistyö tulostusyrityksen kanssa**

Yhteistyö metalleja tulostavan yrityksen kanssa on myös mahdollista, jos yritys haluaa hyödyntää kolmiulotteista tulostamista. Yhteistyö tulostamiseen erikoistuneen yrityksen kanssa voi olla paljon parempi vaihtoehto, kuin tulostimen ostaminen omalle yritykselle ja kokeileminen, että mitä kaikkea on mahdollista tulostaa ja miten tulostusjälki kappaleessa on tyydyttävää.

3Dformtech on yksi tulostamispalveluja, konsultointia ja neuvomista tarjoavista yrityksistä. Konsultointiapu on toiseksi suosituin yhteistyön muoto, mitä 3Dformtech harjoittaa. Konsultointiapu käsittää sisälleen esimerkiksi yrityksen kanssa keskustelemista ja miettimistä, että mitä kaikkea on mahdollista kehittää yrityksen sisällä kolmiulotteisen tulostamisen avulla. Toinen konsultoinnin muoto on kouluttaminen ja avustaminen tulostamisen suhteen. 3Dformtech on muutaman viime vuoden ajan kehittänyt omaa prosessiaan EOS M290 -tulostimen kanssa ja he ovat vähitellen päässeet hyvään lopputulokseen prosessissaan, joten jälkikäsittely, tulostaminen ja prosessin hiominen täydellisyyteen on erittäin hankala ja aikaa vievä prosessi. (Koivulahti, S. 14.10.2020)

Yhteistyö tulostavan yrityksen kanssa poistaa tarpeen jälkikäsittelyyn tarvittaviin koneisiin, laitteisiin ja työkaluihin. Yhteistyöstä tulostamiseen erikoistuneen yrityksen kanssa on myös hyötyä siinä suhteessa, että omasta yrityksestään ei tarvitse tiloja tai henkilöstöä varata tulostamiselle.

## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Työn tarkoituksena oli selvittää metallisten kappaleiden 3D tulostamisen kannattavuutta ja käyttökohteita yritysmaailmassa. Tämän lisäksi työn tarkoituksena oli tutkia tulostusmenetelmien hyötyjä ja kehityskohteita sekä kappaleiden tulostamisen hyötyjä muihin kappaleiden valmistamisen tekniikoihin nähden.

Tulostusmenetelmistä materiaalin pursotuksen ongelma metallien tulostamisessa on, että menetelmällä ei pystytä tulostamaan metallilla kappaleita, vaan pelkästään muovin ja metallin sekoituksella. Tulostusmenetelmistä laminointi muodostaa paljon hukkamateriaalia, joten metallisessa tulostamisessa kyseinen tekniikka on hieman huonompi, kuin muut menetelmät. Tarkimmat ja kehittyneimmät menetelmät metallisissa tulostimissa ovat jauhepeti- ja sidosaineen suihkutuksen menetelmät ja näistä esimerkkeinä EOSin ja HP:n valmistamat tulostimet. Mikäli parasta tarkkuutta ei tarvita, silloin edullisuudellaan parhaaksi nousee suora kerrostus -menetelmä. Suorassa kerrostuksessa voidaan käyttää hitsauksessa käytettävää lankaa, jolloin materiaalikustannukset ovat minimaaliset sekä laitteiston ja tulostusalustan koko ovat kustannuksiin nähden parhaat.

EOS valmistaa laadukkaita metallilla tulostavia jauhepetimenetelmää käyttäviä tulostimia ja tämänlainen tulostin on esimerkiksi 3Dformtech -yrityksellä käytössä, joka on erikoistunut metalleilla tulostamiseen. Volkswagen käyttää HP:n metal Jet -tulostinta sekä hyödyntää sitä prototyyppeihin ja innovointeihin. HP:n metallitulostin käyttää sidosaineen suihkutuksen menetelmää tulostamiseen. Yksi hyvä ja halvempi vaihtoehto metallisista tulostimista on muun muassa Additecin uPrinter, joka tulostaa suoralla kerrostamisella ja omistaa suuren tulostusalustan verrattuna tulostimen varsinaiseen kokoon. Liitteen 3 mukaisesti monenlaista erilaista tulostinta löytyy, mutta mikäli tarvitaan tarkkuutta ja suurta tulostusalustaa, tulostimen ostamiseen on varattava noin 500 000 euroa.

Tulostimien hinnat tekevät metallisesta tulostamisesta hankalasti kehittyvän tuottamisen menetelmän. Kollektiivinen taitotaso ihmisillä kehittyä tulostamisen

suhteen, kun tulostimien hinnat halventuvat ja tulostimet yleistyvät. Kolmiulotteinen tulostaminen kehittyy jatkuvasti ja sama tapahtuu metallien tulostamisessa. Mikäli keksitään tapa hyödyntää materiaalin pursotus -menetelmää metallien tulostamisessa, metallisten tulostimien hinnat laskisivat. Materiaalin pursotuksessa yksi suurimmista ongelmista on pinnanlaatu, mutta uusi ei-planaarinen tulostus tuo valtavan pinnanlaadun parannuksen. Materiaalin pursotus -menetelmä on edullinen tulostimien rakenteen mukaisesti, mutta ongelmana on, että toistaiseksi varsinaisia metallisia kappaleita ei ole mahdollista tulostaa materiaalia pursottamalla.

Yritykselle metallien kolmiulotteisen tulostamisen hyödyntäminen on kustannustehokkainta toteuttaa yhteistyöllä metallien tulostamiseen erikoistuneen yrityksen kanssa. Tämä tulostamisen hyödyntämisen tapa poistaa oman kehitystyön ja prosessin optimoinnin, mutta lisäksi konsultointipalveluja tarjoava yritys voi helposti tuoda omalle yritykselle kokemuksellaan näkökulmia ja ideoita, mitä ei olisi osattu ajatella.

Kappaleiden kolmiulotteinen tulostaminen tuo hyötyä erityisesti yrityksille teollisuudessa suunnittelussa ja nopeissa innovaatioissa. Optimi tilanne teollisuuden yrityksille olisi, kun tulostamalla kappaleiden tuottaminen olisi nopeampaa ja helpompaa, kuin esimerkiksi valamalla kappaleiden tuottaminen. Kappale tuotettaisiin kokoamislinjastolla ja asennettaisiin suurempaan kokonaisuuteen samantien. Tällaisessa prosessissa hukkamateriaalia, hukka-aikaa ja turhia kappaleiden siirtelyjä ei muodostuisi yhtään.

Yrityksille lääketeollisuudessa metallien tulostaminen tuo hyötyä henkilökohtaisten kappaleiden tuottamisen mahdollisuudesta, mutta ongelmana on suuret käsittelyajat hakemuksissa proteesien asentamisessa. Lentokone- ja ilmailuteollisuudessa titaanin tulostaminen tuottaa kevyempiä ja aikaisemmin mahdottomia rakenteita, mutta ongelmana on kappaleiden koko. Avaruusteollisuudessa tulostaminen metalleilla on mahdollisuus säästää esimerkiksi avaruusasemalle tarvittavissa lennoissa. Avaruusasemalle lähetetään tarvittavan kappaleen tai työkalun mallinnus, jonka jälkeen kappale tai työkalu tulostetaan avaruudessa. Avaruudessa sijaitsevalle asemalle tarvitsee

vain viedä raaka-ainetta tietyin väliajoin ja tästä muodostuu suuret polttoainesäästöt.

Kolmiulotteinen tulostaminen tarvitsee riippuen tekniikasta ja tulostimesta, pieniä kehityksiä saadakseen suurempaa jalansijaa kappaleiden tuottamisen teollisuudessa, mutta metallien tulostamisessa on suurta potentiaalia. Kappaleita tulostamalla säästetään kuljetuksissa ja voidaan tuottaa muotoja, jotka aikaisemmin ovat olleet mahdottomia. Tulostamalla kappaleita hukkamateriaali on myös suurimmassa osassa tulostustekniikoista minimaalista.

## LÄHTEET

Redwood, B., Schöffer, F. & Garret, B. 2017. The 3D printing handbook. 3D Hubs B.V.

SFS 52915. 2020. Specification for additive manufacturing file format (AMF) Version 1.2. Helsinki: Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys. <https://online-sfs-fi.libproxy.tuni.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/5/883697.html.stx>

Makergear. Simplify 3D Software. Luettu 30.09.2020.  
<https://www.makergear.com/products/simplify-3d-software>

Simplify 3D. Metal Filled filament. Luettu 30.09.2020.  
<https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/metal-filled/>

Varotsis, A. Introduction to metal 3D printing. Luettu 30.09.2020.  
<https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-metal-3d-printing/>

ResearchGate. A review on additive manufacturing and its way into the oil and gas industry. Luettu 30.09.2020.  
[https://www.researchgate.net/figure/Schematic-representation-of-the-material-jetting-process\\_fig3\\_325876280](https://www.researchgate.net/figure/Schematic-representation-of-the-material-jetting-process_fig3_325876280)

3dexperience. 3D Printing – Additive. Luettu 30.09.2020. <https://make.3dexperience.3ds.com/processes/material-jetting>

Hendrixson S, 30.12.2019. AM101: NanoParticle Jetting (NPJ) <https://www.additivemanufacturing.media/blog/post/am-101-nanoparticle-jetting-npj>

Loughborough University. Binder Jetting. Luettu 02.10.2020.  
<https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/binderjetting/>

Loughborough University. Powder Bed Fusion. Luettu 02.10.2020.  
<https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/powderbedfusion/>

AMFG 27.02.2019, päivitetty 26.05.2020 – The Additive Manufacturing Industry Landscape 2019. Luettu 02.10.2020. <https://amfg.ai/2019/02/27/additive-manufacturing-industry-landscape-2019/>

Bandari, Y., Ronnie, W., Pieger, M., Lang, M., O'Hara, J., & Mayer, N. 10.06.2019. Directed Energy Deposition (DED). <https://www.digitalalloys.com/blog/directed-energy-deposition/>

Peels, J. 27.03.2020. Start non-planar 3D printing today on your Ender 3 with nonplanar.xyz. Luettu 07.10.2020. <https://3dprint.com/265174/start-non-planar-3d-printing-today-on-your-ender-3-with-nonplanar-xyz/>

Nonplanar.xyz. About. Luettu 07.10.2020. <https://www.nonplanar.xyz/about>

Loughborough University. Sheet Lamination. Luettu 07.10.2020 <https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/sheetlamination/>

Zhang, J. & Jung, Y-G. 2018. Additive Manufacturing: Materials, Processes, Quantifications and Applications. Butterworth-Heinemann.

Wasserman, S. 19.11.2015. Engineering.com. 3D Printing brings out the full potential of topology optimization. Luettu 07.10.2020. <https://www.engineering.com/DesignSoftware/DesignSoftwareArticles/ArticleID/11008/3D-Printing-Brings-Out-the-Full-Potential-of-Topology-Optimization.aspx>

Michelle, J. 14.08.2018. 3Dnatives. Topology optimization for 3D printing. <https://www.3dnatives.com/en/topology-optimisation140820184/#!>

Loughborough University. About Additive Manufacturing. Luettu 08.10.2020. <https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/materialextrusion/>

Loughborough University. Material Jetting. Luettu 08.10.2020. <https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/materialextrusion/>



Loughborough University. Material Extrusion. Luettu 08.10.2020.

<https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/materialextrusion/>

Loughborough University. What is Additive Manufacturing. Luettu 08.10.2020.

<https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/whatisam/>

lkalloy. 22.10.2018. Titaaniseoksen käytännöllinen soveltaminen 3D-

tulostustekniikkaan. Luettu 08.10.2020. [https://lkalloy.com/fi/practical-](https://lkalloy.com/fi/practical-application-of-titanium-alloy-in-3d-printing-technology/)

[application-of-titanium-alloy-in-3d-printing-technology/](https://lkalloy.com/fi/practical-application-of-titanium-alloy-in-3d-printing-technology/)

3Dprintershark. 09.02.2016. What 3D printing has in store for the aerospace in-

dustry. Luettu 08.10.2020. [http://3dprintershark.com/what-3d-printing-has-in-](http://3dprintershark.com/what-3d-printing-has-in-store-for-the-aerospace-industry/)

[store-for-the-aerospace-industry/](http://3dprintershark.com/what-3d-printing-has-in-store-for-the-aerospace-industry/)

Digitaltrends. 30.08.2016. Boeing's new 3D-printed tool for making wings is so

big it set a world record. Luettu 08.10.2020. [https://www.digitaltrends.com/cool-](https://www.digitaltrends.com/cool-tech/3d-printing-world-record/)

[tech/3d-printing-world-record/](https://www.digitaltrends.com/cool-tech/3d-printing-world-record/)

Boeing. 777X commercial. Luettu 08.10.2020. [https://www.boeing.com/commer-](https://www.boeing.com/commercial/777x/#/overview)

[cial/777x/#/overview](https://www.boeing.com/commercial/777x/#/overview)

Alonen, A. 18.05.2018. Katsaus 3D-tulostuksen käyttöön sairaalaympäristössä.

Luettu 09.10.2020. [https://blogi.savonia.fi/3dtulostus/2018/05/18/katsaus-3d-](https://blogi.savonia.fi/3dtulostus/2018/05/18/katsaus-3d-tulostuksen-kayttoon-sairaalaymparistossa/)

[tulostuksen-kayttoon-sairaalaymparistossa/](https://blogi.savonia.fi/3dtulostus/2018/05/18/katsaus-3d-tulostuksen-kayttoon-sairaalaymparistossa/)

Koivulahti, S. Insinööri. Haastattelu 14.10.2020. Haastattelija Taskinen, R.

Litteroitu. Tampereen kaupunki.

Kelly, S. Sales Manager. Kysely 24.09.2020. Kyselijä Taskinen, R. Litteroitu.

Tampereen Kaupunki.

Varotsis, A. Introduction to binder jetting 3D printing. Luettu 15.10.2020.

<https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-binder-jetting-3d-printing/>

Cherdo, L. Head Of Content at Aniwaa. 07.10.2020. The best metal 3D printers in 2020. Luettu 15.10.2020. <https://www.aniwaa.com/buyers-guide/3d-printers/best-metal-3d-printer/>

Additec, uPrinter. Luettu 21.10.2020. <https://www.additec.net/%ce%bcprinter/>

NASA. 26.09.2014. Päivitetty 07.08.2017. International Space Station's 3-D Printer. Luettu 15.10.2020. <https://www.nasa.gov/content/international-space-station-s-3-d-printer>

Logistiikan maailma. LEAN-ajattelu. Luettu 21.10.2020. <https://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/prosessien-kehittaminen/lean-ajattelu/>

Volkswagen. 11.09.2018. 3D printing in action. Luettu 22.10.2020. <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/stories/3d-printing-in-action-4177>

Plslogistics. 10.07.2018. 5 Challenges Logistics Managers Face Every Day. Luettu 22.10.2020. <https://www.plslogistics.com/blog/5-challenges-that-logistics-managers-face-every-day/>

## LIITTEET

## Liite 1. Haastattelu, 3Dformtech

1(2)

Litteroija: Roope Taskinen

**3DFORMTECH – HAASTATTELU 14.10.2020**

3Dformtech on yritys, joka on erikoistunut metalleilla tulostamiseen. Yritys tarjoaa yhteistyön muodossa esimerkiksi metallisia tulosteita ja konsultointipalveluita.

**Haastateltava:**

Sami Koivulahti, insinööri 3Dformtech:illä.

**Asema yrityksessä metallisen tulostimen suhteen:**

tulostimen käyttö jäänyt viime vuoden aikana, yksi ihminen alaisena joka hoitaa tulostinta ja jälkikäsittelyä.

**Laskelmia, että milloin nämä printterit maksavat itsensä takaisin arvioidusti?**

Riippuu tahdista, että millä aikataululla investointi halutaan kuolettaa. En osaa sanoa, että kuinka pitkä aika meidän firmalla on takaisinmaksulle.

**Tarvitseeko tulostimen käyttöön pitkän koulutuksen? Onko käyttäminen hankalaa?**

Peruskoulutus, minkä laitevalmistaja tarjoaa riittää aluksi ja tämän jälkeen laitteen käyttö on hallinnassa. Vaatii tutkimustyötä ja kokemusta, että prosessi ja tulostaminen on oikeasti hallinnassa ja lopputulos hyvää. Metallipuolella tulostaminen vaatii hieman enemmän kuin muovipuolella ja materiaali on kalliimpaa. Metalleilla tulostaminen vaatii enemmän laitekantaa ympärilleen. Meiltä löytyy jälkikäsittelyyn pystyakselinen CNC-kone, sorvi, vannesaha ja kottikärryllinen käsityökaluja. Tulostaessa pitää ottaa huomioon, että jauhepetimenetelmällä jauhetta tarvitaan täyttämään koko tulostusalausta, mutta hukkajauheen saa uusiokäytettyä.

**Tulostusmateriaalit ja mitä näistä käytetään eniten? Mitä muuta voit mainita materiaaleista?**

EOS Titaani Ti64, MaragingSteel MS1, Rst-teräs 316L, Alumiini AlSi10Mg. Menekki jakautunut aika tasaiseksi. Alumiini esimerkiksi kovempaa kuin muovi ja lämmönkestävämpää kuin muovi. Alumiinia käytetään esimerkiksi, kun alkuperäistä varaosaa ei ole enää saatavilla ja tulostaminen on hyvä vaihtoehto siinä tapauksessa. Alumiini on myös tulostusmateriaaleista edullisin. Markkinat osien tulostamisen suhteen kasvavat kokoajan.

**Mikä on palvelumuodoistanne suosituin? (piensarjatuotanto, sopimusvalmistus, varaosat, viimeistely ja jälkikäsittely, prototyypit, konsultointi, markkinointi- ja koulutustuotteet)**

Osien valmistus, että asiakas lähestyy osan tai mallin kanssa ja se valmistetaan. Asiakkaalla on jo tieto, että minkälainen osa tarvitaan. Seuraavaksi suosituin palvelun muoto on konsultointi, että kun asiakkaalla ei ole tarkkaa tietoa metallien tulostamisen mahdollisuuksista ja että mihin prosessi kykenee ja millaisia vaatimuksia tulostettavan kappaleen suhteen on. Esimerkkinä, että asiakkaalla on kiinnostusta hyödyntää tulostamista, mutta ei tietoa että mihin tulostaminen pystyy jne.

**Onko metalleilla tulostaminen yleisesti aikaa vievää? Kauanko kestää osien toimitus?**

Muovin kohdalla parin päivän toimitus, myös metallin kohdalla optimit ja pienet kappaleet voidaan toimittaa parissa päivässä. Normaalisti metallisten kappaleiden toimitus on viikon ja kahden viikon välillä työpäivinä. Metalleilla tulostaminen kestää parista tunnista 70 tuntiin.

**Kerro tästä teidän tarjoamasta koulutusmahdollisuudesta yrityksille.**

Koulutusmahdollisuus joko tulostimien tai tulosteiden käsittelyn suhteen. Perusidealtaan yrityksellä ei välttämättä ole tietoa, että miten hyödyntää 3D -tulostamista. Tietotaidon jakoa. Koulutuspaketteja löytyy erinäisillä palveluilla ja hinnoilla. Koulutukset menevät samaan kategoriaan konsultointipalveluiden kanssa.

**Teidän sivuilla mainittiin GE Aviation. GE Aviation valmistaa suihkumoottorien suuttimet 3D tulostamalla. Onko teillä samanlaisia projekteja, missä hyödynnetään erityisesti suunniteltuja muotoja ja osat on vain järkevä valmistaa tulostamalla? Kerrotko tästä GE Aviationin innovaatiosta enemmän?**

Osat valmistetaan GE Aviationille samanlaisella EOSin tulostimella, kuin mikä meillä on käytössä ja osia mitkä valmistetaan tulostamalla ovat polttoainesuuttimet ja suihkuturbiinin lavat. Näissä kappaleissa muodot ovat sen verran monimutkaiset, että optimoinnin takia nämä kannattaa valmistaa tulostamalla. Suuttimet ovat mielenkiintoinen esimerkki siitä, että mitä kannattaa oikeasti tehdä tulostamalla. Prosessi näillä on optimoitu huippuunsa juuri tulostamista varten.

**Tulosteiden hinta? Materiaalien hinta?**

Tulostimessa käytettävien materiaalien hinnat ovat alle 100 euron per kilo halvimman materiaalin kohdalla ja kalleimmilla noin muutamaa sataa euroa kilolta. Tulosteiden hinta riippuu aivan hirveästi, joten tarjouspyyntöä tekemällä yritys saa tietää hinnan.

**Muuta sanottavaa metalleilla tulostamisesta näin loppuun?**

Kuitenkin, vaikka puhutaan uudesta ja hyvästä menetelmästä, se on vain vaihtoehto tuottamisen menetelmänä. Esimerkiksi mikäli tarvitaan pyöreä lieriön muotoinen kappale, silloin tuottamiseen ehdottomasti järkevin on sorvi. Etu tulostamisessa tulee geometrian vapaudesta ja monimutkikkaista muodoista. Koneistuksessa monimutkaisuus maksaa, mutta tästä tulee tulostuksen suuri etu. Sisäpuoliset tai kappaleen sisällä olevat kanavat näin esimerkkinä.

## Liite 2. Sähköpostikysely, EOS

KS

Kelly, Sean <Sean.Kelly@eos.info>

Thu 9/24/2020 5:56 PM

To: Roope Taskinen

👍 ↶ ↷ → ...

Hello Roope Taskinen,

I cannot give you real quotations but approximate pricing packages.

The packages will include 1 year warranty, starting material (50 -100kg), powder handling equipment, maintenance 1 year, installation, training (3 weeks) and delivery.

M100 - €200.000,00

M290 - €550.000,00

M400-1 – €1.200.000,00

M400-4 – €1.500.000,00

Have a nice evening!

Best Regards,

**Sean Kelly**

Sales Manager Nordic & Baltic

**EOS GmbH Electro Optical Systems**

Robert-Stirling-Ring 1 | 82152 Krailling/Munich, Germany

Phone +49 89 893 36-1688 | Mobile +49 162 402 0258 | Fax +49 89 893 36-2288

[www.eos.info](http://www.eos.info) | <mailto:sean.kelly@eos.info>

Nordic & Baltic – Sweden, Denmark, Finland, Norway, Iceland, Lithuania, Latvia and Estonia.

Management: Marie Langer, Dr. Adrian Keppler, Eric Paffrath

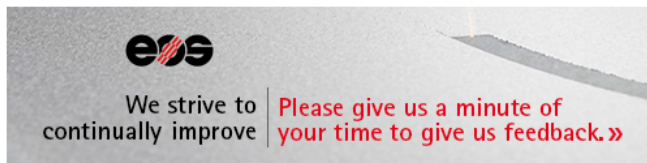
Registration Court Munich, HRB 87386

This e-mail is privileged and confidential. | Diese E-Mail ist vertraulich.



Please consider the environment before printing.

Bitte prüfen Sie, ob diese Mail wirklich ausgedruckt werden muss.



## Liite 3. Excel yhteenveto tulostimista

	Valmistaja	Malli	Hinta (e)	Tulostustekniikka	Resoluutio (µm)	Sähkön kulutus	VOLYYMI (mm)	
<a href="https://w">https://w</a>	200W laser	EOS	M100	200 000	Powder Bed Fusion	40	max. 1,7kW/ave 0,6kW	d100x95
<a href="https://w">https://w</a>	400W laser	EOS	M290	550 000	Powder Bed Fusion	100	max. 8,5 kW/ ave 2,4 kW	250x250x325
<a href="https://w">https://w</a>	1000W laser	EOS	M400-1	1 200 000	Powder Bed Fusion	95	max. 20,2kW/ave 16,2kW	400x400x400
<a href="https://w">https://w</a>	4x400W laser	EOS	M400-4	1 500 000	Powder Bed Fusion	100	max. 45kW/ ave 22kW	400x400x400
<a href="https://www8.hp.com/h20195/">https://www8.hp.com/h20195/</a>	HP	Metal Jet		400 000	Binder jetting	21	-	430x320x200
<a href="https://markforged.com/3d-printing">https://markforged.com/3d-printing</a>	Markforged	Metal x		100 000	Fused Filament Fabrication	50-125	-	300x220x180
<a href="https://www.desktopmetal.com">https://www.desktopmetal.com</a>	Desktop	Metal studio		120 000	MIM-binder jetting	standard (400µm), high-res (250µm)	-	289x189x195
<b>Ei oikeasti metallia tulostava</b>	<b>Airwolf</b>	<b>3D EVO AM</b>	<b>7 995</b>	<b>7 995</b>	<b>Extruusio</b>	<b>40</b>	<b>-</b>	<b>305x305x578</b>
<a href="https://www.3dsystems.com/3d-printing">https://www.3dsystems.com/3d-printing</a>	3D Systems	DMP Flex 100		250 000	Powder Bed Fusion	5	-	100x100x90
<a href="https://www.additec.net/%ce%"></a> https://www.additec.net/%ce%	Additec	uPrinter		90 000	DED	Tarkkuutta ei kerrota	-	160x120x450
<a href="https://www.coherent.com/lasers">https://www.coherent.com/lasers</a>	Coherent	Creator		75 000	Powder Bed Fusion		-	100x100x110

Valmistaja	Malli	Muuta	MATERIAALIT
EOS	M100	Vuoden takuu, 50-100kg jauhemateriaalia aloitukseen, jauheen käsitteilyvälineet, 1 vuoden huollot, asennus, koulutus (3vk) ja kuljetus	Kobalttikromi, RST-Teräs(316L), Titanium (Ti64)
EOS	M290		RST-Teräs, Alumiini, Kobalttikromi, Nikkeliseos, Titaani, Kupari, Pintakarkaistua terästä (20MnCr5)
EOS	M400-1		Alumiini(AlSi10Mg), Maraging Teräs (erittäin kovaa ja kestävä), Nikkeliseos(IN718), Titanium(Ti64, Ti64ELI), Kupariseos (CuCrZr)
EOS	M400-4		Alumiini(AlSi10Mg), Nikkeliseos(IN718 ja HX), Maraging teräs (MS1, erittäin kovaa ja kestävä), RST-Teräs(316L), Titanium(Ti64 ja TiCP luokka 2)
HP	Metal Jet		Vain RST-Teräs
Markforged	Metal x	tarvitsee suuren jälkikäsittelyn	RST-Teräs 17-4 ja 303, Alumiini 6061 ja 7075, pienihilistä terästä (Työkälyterästä) A-2 ja D-2, IN Alloy 625
Desktop	Metal studio	Hyvä yhdistyvyys (WIFI, Ethernet)	
<b>Airwolf</b>	<b>3D EVO AM</b>	<b>Hidas, mutta todella halpa</b>	
3D Systems	DMP Flex 100	Ethernet yhteys vain mahdollinen	Erilaisia Titaanivaihtoehtoja + RST-teräs
Additec	uPrinter	Todella, todella kompakti. Mahtuu työpöydälle (390x390x)	Vain hitsaukseen käytettävä metallilanka
Coherent	Creator		