



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Miika Koski

# OIKOSULKURENKAAN VALU- MUOTIN 3D-TULOOSTUS

ABB Oy

Tekniikka  
2019

## TIIVISTELMÄ

|                    |   |
|--------------------|---|
| Tekijä             | Miika Koski                             |
| Opinnäytetyön nimi | Oikosulkurenkaan valumuotin 3D-tulostus |
| Vuosi              | 2019                                    |
| Kieli              | Suomi                                   |
| Sivumäärä          | 30 + 3 liitettä                         |
| Ohjaaja            | Juha Hantula & Kimmo Smeds              |

---

Materiaalia lisäävä valmistus on kehittyvä ja suureneva valmistusmuoto ympäri maailmaa, jota käyttämällä saadaan suuria hyötyjä vaikeissa suunnittelutehtävissä sekä valmistuksessa. Lisäävällä valmistuksella on mahdollista valmistaa kappaleita, joita ei nykyisillä valmistusmenetelmillä voida tehdä. Kyseinen valmistusmuoto myös mahdollistaa uuden suunnittelutavan. Opinnäytetyön aiheena on uudelleen suunnitella oikosulkurenkaan valumuotti, lisäävän valmistuksen periaatetta käyttäen ja saada valmis metallista tulostettu oikosulkurengas testauskäyttöön. Opinnäytetyö tehtiin Vaasan ABB Motors and Generators -yksikön tutkimus ja tuotekehitys osastolle.

Opinnäytetyön tavoitteena oli uudelleen suunnitella oikosulkurenkaan valumuotti vanhan valumuotin mitoilla ja optimoida 3D-tulostettavaan muotoon. Valumuotin tulisi myös olla modulaarinen ratkaisu, jolloin valumuotin muovaava osa olisi mahdollista vaihtaa helposti ja nopeasti.

Vanha valumuotti on uudelleen suunniteltu lisäävän valmistuksen menetelmää käyttäen. Muotin koko muodostui yleisten 3D-tulostimien tulostusmittojen mukaan, ja muottiin on mahdollista vaihtaa tulostettu muovaava osa. Metallista tulostettua valumuottia ei opinnäytetyön aikana ehditty saamaan valmiiksi.

## ABSTRACT

|                    |   |
|--------------------|---|
| Author             | Miika Koski   |
| Title              | 3D Printing of the Cast Mold for a Short-circuit Ring |
| Year               | 2019  |
| Language           | Finnish   |
| Pages              | 30 + 3 Appendices                                     |
| Name of Supervisor | Juha Hantula & Kimmo Smeds                            |

---

Additive manufacturing is an evolving and increasing manufacturing world-wide, which can provide great benefits in difficult design tasks and manufacturing. With additive manufacturing it is possible to produce pieces that cannot be made with the current manufacturing process. This form of manufacture also allows a new way design. The subject of the thesis is to redesign a casting mold for a short-circuit ring using the principle of additive manufacturing, as well as to get a finished metal printed short-circuit ring testing for use. This thesis was made for ABB Motors and Generators, Vaasa R&D department.

The cast mold was re-designed for the short-circuit ring with the dimensions of the old casting mold and optimize to 3D print format. The casting mold should also be modular, so it is possible to change the mold forming part easily and quickly.

The old casting mold was re-designed using a method of additive manufacturing, the size of the mold was based on the dimensions of general 3D printers printing areas and 3D printed forming part is possible to change. The 3D printed cast mold was not finished during the thesis.

---

Keywords     Short-circuit ring, cast mold, 3D-printing and additive manufactur-  
ing

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

|   |                                      |    |
|---|--------------------------------------|----|
| 1 | JOHDANTO.....                        | 9  |
|   | 1.1 Tavoitteet ja rajaus.....        | 9  |
|   | 1.2 Menetelmät ja aineisto.....      | 9  |
|   | 1.3 Työntilaaja.....                 | 9  |
|   | 1.3.1 ABB Suomessa.....              | 10 |
|   | 1.3.2 ABB Motors and Generators..... | 10 |
| 2 | LISÄÄVÄ VALMISTUS.....               | 12 |
|   | 2.1 Jauhepeti.....                   | 12 |
|   | 2.2 Suorakerrostus.....              | 13 |
|   | 2.3 Materiaalin ruiskutus.....       | 14 |
|   | 2.4 Sideaineruiskutus.....           | 15 |
|   | 2.5 Materiaalin pursotus.....        | 16 |
|   | 2.6 Nesteen polymerisointi.....      | 17 |
|   | 2.7 Laminointi.....                  | 18 |
| 3 | OIKOSULKURENGAS.....                 | 20 |
| 4 | PROJEKTIN KULKU.....                 | 21 |
|   | 4.1 Nykyinen valumuotti.....         | 21 |
|   | 4.2 Tiedon kerääminen.....           | 21 |
|   | 4.3 Valumuotin suunnittelu.....      | 22 |
|   | 4.4 Lopputulos.....                  | 23 |
| 5 | TARKASTELU.....                      | 25 |
|   | 5.1 Johtopäätökset.....              | 25 |
|   | 5.2 Jatkokehitys ideat.....          | 25 |
| 6 | YHTEENVETO.....                      | 27 |
|   | LÄHTEET.....                         | 28 |

## LIITTEET

**KUVIOLUETTELO**

|   |    |
|---|----|
| <b>Kuvio 1.</b> Vaasassa valmistettavia moottoreita /6/.....                | 11 |
| <b>Kuvio 2.</b> Jauhepeti-menetelmän toimintaperiaate /10/.....             | 13 |
| <b>Kuvio 3.</b> Suorakerrostus-menetelmän toimintaperiaate /11/.....        | 14 |
| <b>Kuvio 4.</b> Materiaalin ruiskutusmenetelmän toimintaperiaate /14/.....  | 15 |
| <b>Kuvio 5.</b> Sideaineruiskutus-menetelmän toimintaperiaate /16/.....     | 16 |
| <b>Kuvio 6.</b> Materiaalin pursotusmenetelmän toimintatapa /19/.....       | 17 |
| <b>Kuvio 7.</b> Nesteen polymerisointimenetelmän toimintaperiaate /20/..... | 18 |
| <b>Kuvio 8.</b> Laminoitimenetelmän toimintaperiaate /24/.....              | 19 |
| <b>Kuvio 9.</b> Havainnekuva oikosulkurenkaasta /30/.....                   | 20 |
| <b>Kuvio 10.</b> Jäähdytyskanavan muoto.....                                | 22 |
| <b>Kuvio 11.</b> Oikosulkurenkaan valumuotin läpileikkaus.....              | 23 |
| <b>Kuvio 12.</b> Uudelleen suunniteltu oikosulkurenkaan valumuotti.....     | 24 |

**LYHENTEET JA MERKINNÄT**

|         |   |
|---------|---|
| 3D      | Kolmiulotteinen (Three Dimensional)   |
| ABB     | Asea Brown Boveri   |
| ABS     | Akryylinitriilibutadieenistyreeni   |
| ASEA    | Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget  |
| AutoCad | Tietokoneavusteisen suunnittelun ohjelmisto   |
| BBC     | Brown, Boveri & Cie   |
| CAD     | Tietokoneavusteinen suunnittelu<br>(Computer Aided Design)                                      |
| DFAM    | Valmistuksen ja kokoonpantavuuden huomioiva suunnittelu.<br>(Desing for Additive Manufacturing) |
| DMLM    | Direct Metal Laser Melting  |
| DMLS    | Directed Metal Laser Sintering  |
| EMB     | Electron Beam Melting   |
| PLA     | Polylaktidi   |
| PVA     | Poly-Vinyl Alcohol  |
| Ra      | Pinnankarheus   |
| SHS     | Selective Heat Sintering  |
| SLM     | Selective Laser Melting   |
| SLS     | Selective Laser Sintering   |
| STL     | Tiedostomuoto<br>(Stereolitografia)   |

|     |   |
|-----|---|
| TIG | Kaasuhiatusprosessi<br>(Tungsten Inert Gas Arc Welding) |
| UV  | Ultravioletti   |

**LIITELUETTELO**

**Liite 1.** Mittapiirustus

**Liite 2.** Koneistusmitat

**Liite 3.** Tukirenkaan mittapiirustus

**Liitteitä ei julkaista liikesalaisuuksien vuoksi.**

# 1 JOHDANTO

Materiaalia lisäävä valmistus on kehittyvä ja suureneva valmistusmuoto maailmalla, jota käyttämällä voidaan saada suuria hyötyjä vaikeissa suunnittelutehtävissä sekä valmistuksessa. Materiaalia lisäävällä valmistuksella mahdollistetaan vaikeiden muotojen valmistamisen joita ei voida koneistamalla tai valamalla tehdä. Pysyäkseen kehityksessä mukana, on yrityksiä kehitettävä osaamista myös lisäävän valmistuksen osalta, sen mahdollisuuksista ja hyödyistä. Työssä kehitetään oikosulkurenkaan valumuotin jäähdytystä, nopeutta, kustannustehokkuutta ja toimituksen nopeuttamista. Kehitystyö on tehty Vaasan ABB Motors and Generators -yhtiön tutkimus ja tuotekehitys osastolle.

## 1.1 Tavoitteet ja rajaus

Opinnäytetyön tavoitteena on tarkastella oikosulkurenkaan valumuotin valmistusta metallista sekä uudelleen suunnitella käyttäen lisäävän valmistuksen menetelmää. Tavoitteena on myös saada optimoitu valumuotti tulostettuna metallista testauskäyttöön ja vertailla alkuperäiseen valumuottiin. Opinnäytetyössä tullaan keskittymään oikosulkurenkaan valumuotin suunnitteluun, optimointiin, lisäävän valmistuksen mahdollisuuksiin, menetelmiin, ja jälkikäsittelyihin.

## 1.2 Menetelmät ja aineisto

Opinnäytetyö tehdään tutkien metallien ja lisäävän valmistuksen kirjallisuutta, verkkojulkaisuja, tutkimuksia ja valmistajien asiantuntemusta. Käytännön taustatietoa saadaan oikosulkurenkaan valumuotista ja sen toiminnasta valuosastolta. Tutkittavaa aineistoa käyttäen, pyritään uudelleen suunnitella optimoitu valumuotti materiaalia lisäävällä menetelmällä.

## 1.3 Työntilaaja

ABB yhtymä syntyi vuonna 1988, kun ASEA ja sveitsiläinen Brown Boveri yhdistivät toimintansa [1]. Vuonna 1883 Tukholmassa Ludvig Fredholm perusti ASEA:n. Yritys oli suuresti vaikuttamassa Ruotsin sähköistyksessä. ASEA:n tuotantoon kuului 1900-luvulla generaattorit, muuntajat, synteettiset timantit, robotit,

ydinvoimalat ja moottorit. Vuonna 1891 Badenissa Charles E. L. Brown ja Walter Boveri perustivat Brown Boveri & Cie yrityksen, joka välitti suurjännitettä. BBC:n toimi turbiineiden, muuntajien, suurnopeus junien ja generaattoreiden kanssa /2/. ABB toimii yli 100 maassa ja työllistää noin 147000 henkilöä. Pääkonttori sijaitsee Zürichissä, Sveitsissä /3/.

### **1.3.1 ABB Suomessa**

Vuonna 1889 Gottfrid Strömberg perusti sähköliikkeen Strömberg Oy Helsingin Kamppiin, jossa valmisti aikansa edistyksellisimpiä sähkökoneita. Strömberg Oy valmisti sähkögeneraattoreja ja sähkömoottoreita. 1900-luvulla yritys rakensi kaupunkisähkölaitoksia, muuntajia, vaihtovirtakoneita ja sähköistä maaseutua. Vuonna 1980 Strömberg Oy myytiin ASEA-nimiselle ruotsalaiselle yritykselle. 1988 ABB-yhtymä syntyi, kun ASEA ja Brown Boveri yhdistyivät. Nykyään vuonna 2019 Suomen ABB työllistää 5300 henkilöä noin 20 eri paikkakunnalla /4/.

### **1.3.2 ABB Motors and Generators**

Motors and Generators on osa ABB:n Robotics and Motion -divisioonaa. Suomen ABB:n Motors and Generators -yksikkö panostaa vahvasti moottoreiden ja generaattoreiden tutkimukseen ja tuotekehitykseen. Yksikkö kehittää ja valmistaa moottoreita ja generaattoreita kaikille teollisuudenaloille sekä monenlaisiin sovelluksiin ympäri maailmaa. Tehtaat sijaitsevat Helsingissä ja Vaasassa. Helsingin Pitäjänmäellä sijaitsevassa tehtaassa kehitetään ja valmistetaan korkeajännitemoottoreita, dieselgeneraattoreita ja kestromagneettimoottoreita. Vaasan tehtaalla on maailmanlaajuinen vastuu yhtiön pienjännitemoottoreitten valmistuksesta ja tuotekehityksestä vaativiin käyttöolosuhteisiin (Kuvio 1). ABB:n moottori- ja generaattoriliiketoiminta työllistää 13000 henkeä 31. tehtaassa 9 maassa, joista suomessa on 1520 henkilöä /5/.



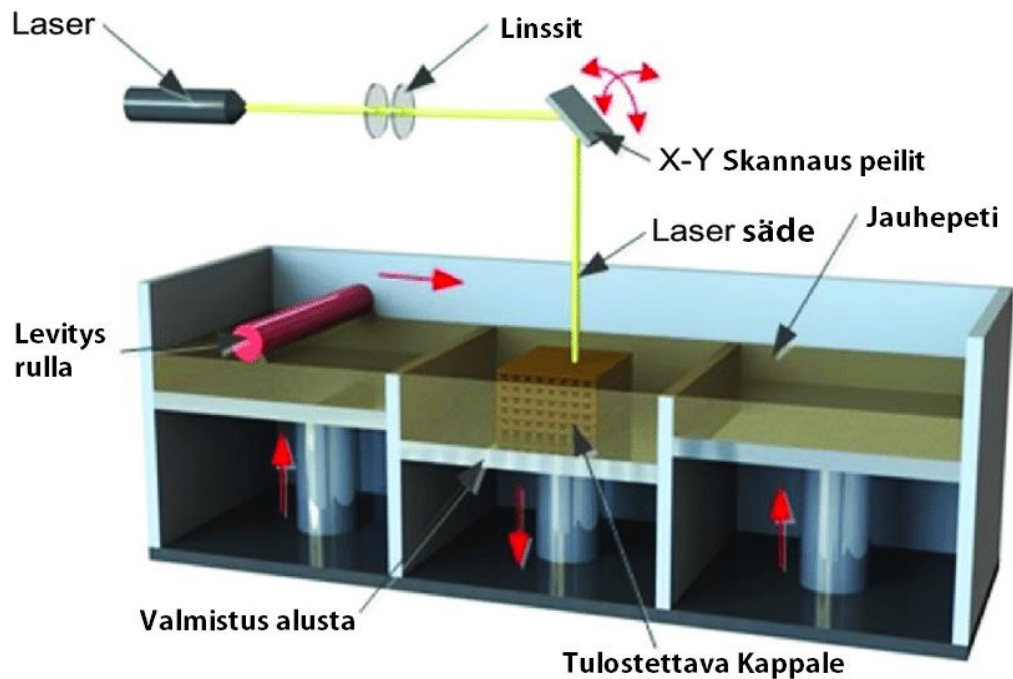
**Kuvio 1.** Vaasassa valmistettavia moottoreita /6/.

## 2 LISÄÄVÄ VALMISTUS

Lisäävä valmistus on teknologia, joka kasvattaa kolmiulotteisia kappaleita kerros kerrokselta valmiiksi kappaleiksi. Kukin peräkkäinen kerros sitoutuu sulatetun tai osittain sulatetun materiaalin edelliseen kerrokseen. Kappaleet suunnitellaan digitaalisesti tietokoneavusteisella CAD-ohjelmistolla, jolla luodaan STL-tiedosto tai muu valmistajan vaatima tiedostomuoto valmiista kappaleesta. Tiedosto siirretään tulostimen ohjelmaan, jossa se viipaloidaan kerroksiksi tulostusta varten. Tämä informaatio ohjaa suuttimen tai tulostuspään liikettä tulostusalustalla tarkasti edellisen kerroksen päälle. Toinen tapa on myös, että lasersäde sulattaa jauheena olevan materiaalin kerroksen edelliseen kerrokseen kiinni. Kun materiaalit jäähtyvät tai ovat kovettuneet, ne sulautuvat yhteen kolmiulotteisen kohteen muodostamiseksi. Tulosteiden hinta koostuu normaalisti tulostettavan kappaleen tilavuudesta, käytetystä koneajasta, tukirakenteista, kappaleen korkeudesta, materiaalikuluista ja jälkityövaiheista /7/.

### 2.1 Jauhepeti

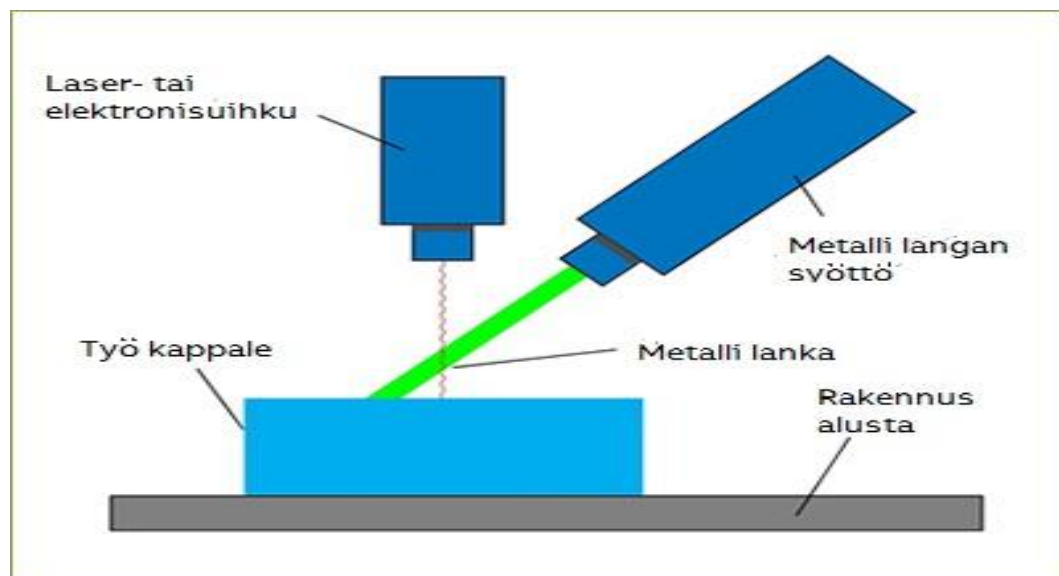
Jauhepeti-menetelmä (Powder Bed Fusion) on prosessi, joka on yhteinen useille suosituille lisäaineiden tulostustekniikoille, esim. metalli-laserulatus (DMLM), elektronisuihkun sulaminen (EMB), suunnattu metalli-laserointi (DMLS), selektiivinen lasersulamien (SLM), selektiivinen lasersintraus (SLS) ja valikoiva lämpösintraus (SHS). Nämä järjestelmät käyttävät lasereita, elektronipalkkeja ja lämpöpainepäitä sulattamaan tai osittain sulattamaan ultrahienoja materiaalikerroksia kolmiulotteisesti. Jauhepeti-menetelmässä materiaali syötetään joko säiliöstä tai sen vieressä olevasta jauhe-varastosta, joka nousee sitä mukaa, kun kerroksia valmistetaan. Materiaali levitetään telalla tai terällä edellisten kerroksen ylitse (Kuvio 2). Kun prosessi on valmis, ylimääräinen jauhe poistetaan ja tukimateriaali poistetaan mekaanisesti. Valmis kappale irrotetaan tulostusalustasta lankasahaamalla ja viimeistellään joko kuulapuhaltamalla, koneistamalla tai kiillottamalla /8/. Tulostustarkkuus on jopa n. 0.02 mm riippuen menetelmästä. Materiaaleina voidaan käyttää esim. alumiinia, titaania, nikkelseoksia, ruostumatonta terästä, työkaluterästä, kulta ja hopeaa /9/.



**Kuvio 2.** Jauhepeti-menetelmän toimintaperiaate /10/.

## 2.2 Suorakerrostus

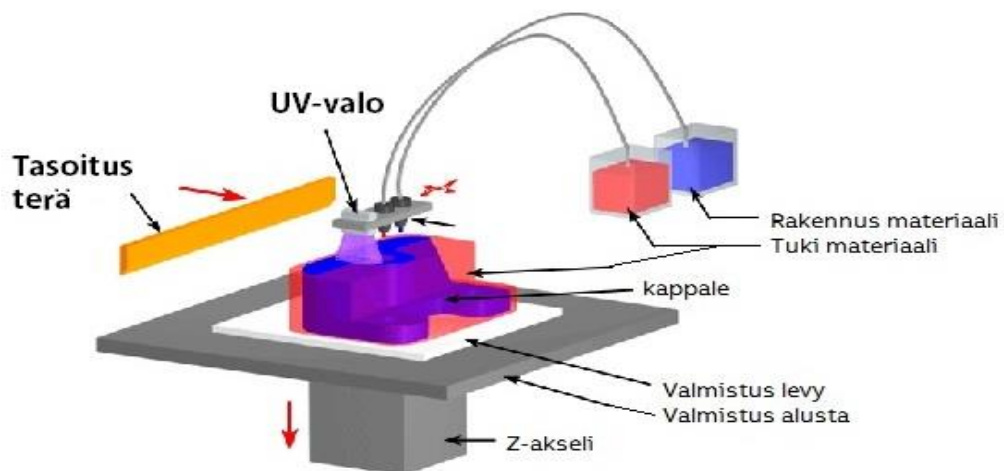
Suorakerrostus-menetelmää (Direct Energy Deposition) käytetään yleisesti olemassa olevien komponenttien korjaamiseen ja materiaalin lisäämiseen. Tyypillinen suorakerrostus-tulostin koostuu suuttimesta, joka on asennettu moniakseliseen varseen, jolla sulatetaan materiaali määritetylle pinnalle, jossa se kiinteytyy. Materiaali sijoitetaan 4- tai 5-akselisten koneiden avulla kiinteään kappaleeseen. Materiaali sulatetaan paikoilleen TIG-hitsauspolttimella, laser- tai elektronisuihkulla (Kuvio 3). Prosessia voidaan käyttää polymeerien, keramiikan kanssa, mutta sitä yleisimmin käytetään metallin kanssa, johon muodostetaan muotoja jauheen tai langan avulla. Yleisimmin suorakerrostus menetelmän tuloste vaatii jälkikäsittelyn, kuten koneistuksen, jolla saadaan tiukat toleranssit /11 – 12 /.



**Kuvio 3.** Suorakerrostus-menetelmän toimintaperiaate /11/.

### 2.3 Materiaalin ruiskutus

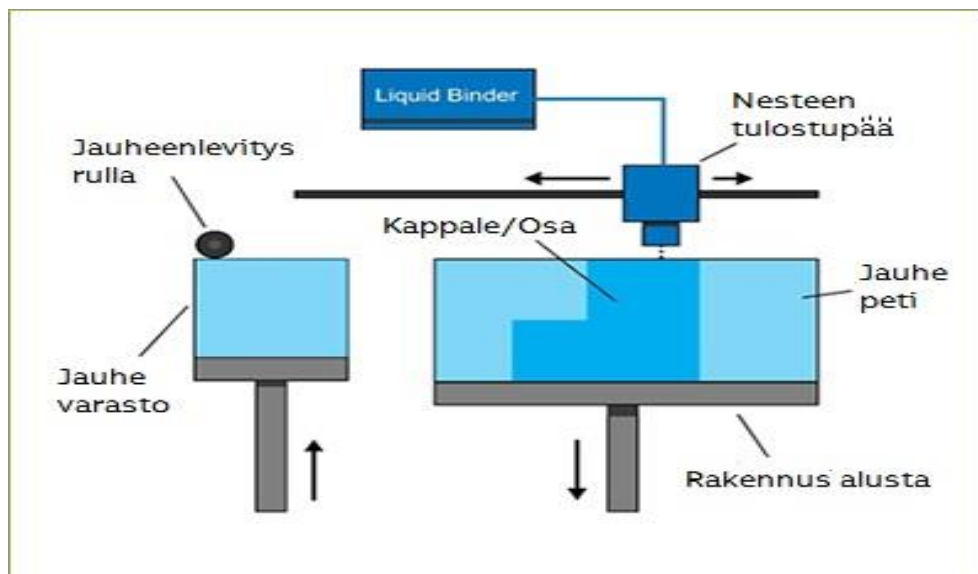
Materiaalin ruiskutusmenetelmä (Material Jetting) on samanlainen kuin mustesuihku, mutta sen sijaan että värisytettäisiin mustetta paperille, tulostimen suuttimet annostelevat pieniä pisaroita vahamaista fotopolymeeriä kerroksittain. UV-valo kovettaa pisarat ennen seuraavien kerroksien muodostamista (Kuvio 4). Tämä lisäaineteknologia perustuu voimakkaasti tukirakenteisiin, joten toinen sarja suuttimia annostelee liukenevaa polymeeriä, joka tukee tulostettavaa kappaletta tulostuksen ajan. Materiaalin ruiskutusmenetelmä on ainoa lisäävän valmistuksen menetelmä, jossa voidaan yhdistää eri tulostusmateriaaleja samassa tulosteessa /13 – 14 /.



**Kuvio 4.** Materiaalin ruiskutusmenetelmän toimintaperiaate /14/.

## 2.4 Sideaineruiskutus

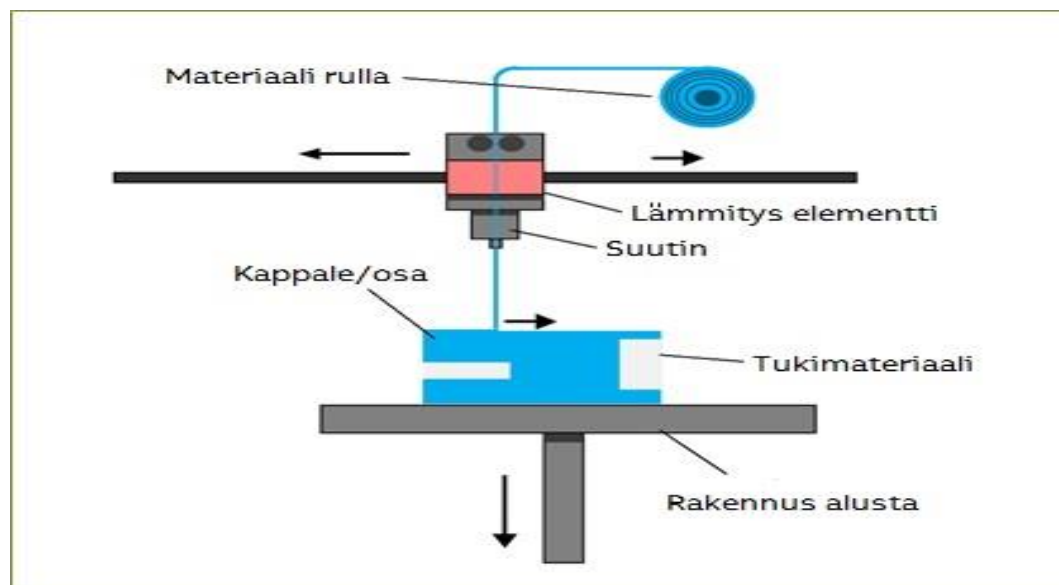
Sideaineruiskutus-menetelmässä (Binder Jetting) suihkutuslaite jakaa jauhekerroksen rakennusalustalle, jonka jälkeen nestemäistä sideainetta levitetään mustesuihkutulostuspään kautta, jolla saadaan sidottua hiukkaset yhteen (Kuvio 5). Sideaineruiskutuksella pystytään valmistamaan kappaleita metallista, hiekasta, keramiikasta tai lähes kaikista materiaaleista, joka saadaan jauheena. Tulostuksen jälkeen kappaleeseen tehdään jälkikäsittely riippuen materiaalista, Jotkut materiaalit eivät tarvitse jälkikäsittelyä esimerkiksi hiekka. Muut materiaalit kovetetaan ja sintrataan tyypillisesti, riippuen materiaalista ja sen koostumuksesta. Kuumaa isostaattista puristusta voidaan käyttää metallien kanssa, korkean tiheyden saavuttamiseksi. Sideaineruiskutus-menetelmässä samalle rakennusalalle voidaan täyttää useilla osilla, myöskin tulostus edellisten osien päälle /15 – 17 /.



**Kuvio 5.** Sideaineruiskutus-menetelmän toimintaperiaate /16/.

## 2.5 Materiaalin pursotus

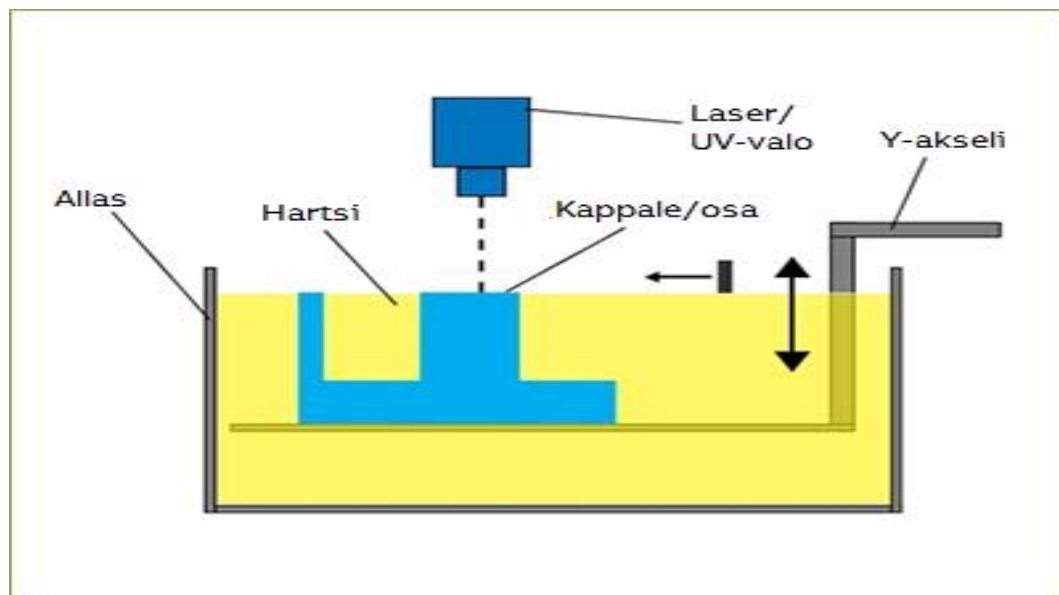
Materiaalin pursotusmenetelmä (Material Extrusion) on eniten käytetty tekniikka, jota käytetään harrastus-, prototyyppi- ja edullisissa 3D-tulostuksissa. Materiaalin pursotuksessa materiaali vedetään suuttimen lävitse, jossa se kuumennetaan sulaan muotoon ja pursotetaan kerros kerrokselta valmiiksi kappaleeksi. Tulostuspäässä on yleensä tuulettimet, joiden avulla saadaan sula muovi kovettumaan sekä pitämään muotonsa ennen seuraavan kerroksen valmistamista (Kuvio 6). Useimmissa tulostimissa suutin liikkuu vaakasuunnassa ja tulostusalusta liikkuu pystysuoraan. Tulostusmateriaalina käytetään yleisimmin ABS- ja PLA-muovia, niiden edullisuuden ja kestävyuden vuoksi. Materiaaleja on myös erikoisempiin käyttö tarkoituksiin, joissa tarvitaan jokin tietty ominaisuus materiaalilta. Esimerkiksi PVA on veden sulava tukimateriaali, joka on helppo poistaa vaikeammastakin paikasta tulostuksen sisältä. Valmiin tulosteen laatuun vaikuttaa monet eri tekijä: materiaalin koostumus, suuttimen lämpötila, lämmitettävä alusta, kerroskorkeus, suuttimen liikkeenopeus, sisätäyttö ja tuulettimen jäähdytysnopeus /18/.



**Kuvio 6.** Materiaalin pursotusmenetelmän toimintatapa /19/.

## 2.6 Nesteen polymerisointi

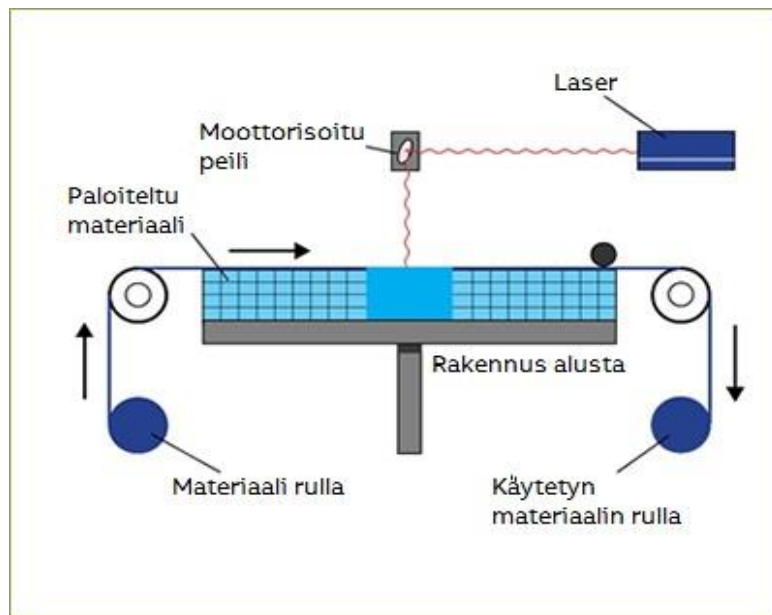
Nesteen polymerisointimenetelmässä (Vat Polymerisation) rakennusalusta laskeetaan nestemäiseen fotopolymeerihartsiin, jossa haluttu muoto kovetetaan hartsista valokuvapolymeroinin tai UV-valon avulla. Valmiin kerroksen jälkeen rakennus alusta liikkuu lisää, jolloin saadaan polymerisointi neste edellisen kerroksen päälle. Tämän jälkeen hartsit kovetetaan haluttuun muotoon edellisen valmiin kerroksen päälle (Kuvio 7). Prosessissa käytetään nestettä muodostamaan esineitä, joten rakenteellista tukea ei ole rakennusvaiheen aikana mahdollista käyttää. Nesteen polymerisoinnin hyöty on, että sillä pystytään erittäin tarkkaan yksityiskohtaiseen pintakäsittelyyn, jopa nanoasteikon tasolle asti. Menetelmä haittapuolina on: jotkut hartsit myrkyllisiä, jotkut materiaalit ei ole stabiileja ja muodon muuttuminen ajan myötä on mahdollista /20 – 22 /.



**Kuvio 7.** Nesteen polymerisointimenetelmän toimintaperiaate /20/.

## 2.7 Laminointi

Laminointi-menetelmässä (Sheet lamination) käytetään rakennusmateriaalina ohutta levyä, joka liitetään toisiinsa kerros kerrokselta. Materiaalista leikataan laserin tai veitsen avulla halutut muodot jokaisen kerroksen tai useiden kerroksien jälkeen (Kuvio 8). Materiaali levyt liitetään toisiinsa joko liimalla, lämmöllä, hitsaamalla, pulteilla, ultraäänellä tai juottamalla. Menetelmä on käytännöllinen metallitulistukseen, jossa sulan metallijauheen lämpöjännitys olisi ongelmallista. Laminointi on matalan lämpötilan prosessi ja sitä käytetään yleisimmin esiteltävien mallien tekemiseen, sen nopean prosessin sekä alhaisen hinnan vuoksi. Menetelmä ei ole sopiva rakenteellisen tai toiminnallisen mallin tekemiseen sen kestävyuden takia. Prosessi sopii erinomaisesti värillisiin tulosteisiin, jotka ei ole hirvittävän monimutkaisia. Materiaalina voidaan käyttää paperia, pahvia, metallikalvoa tai muovia /23 – 26 /.



**Kuvio 8.** Laminointimenetelmän toimintaperiaate /24/.

### 3 OIKOSULKURENGAS

Oikosulkurengas on osa roottoria. Roottorin molempiin päihin on valettu tai asennettu kiinteä oikosulkurengas. Oikosulkurenkailla saadaan roottorin läpi kulkevat johteet kytkettyä oikosulkuun /27 – 29 /. Roottori valmistetaan ohuista sähkölevyistä, sähkölevyihin meistetään reiät roottorisauvoja varten. Sähkölevyt pinotaan kerroksittain, hiukan vinoon suorasta linjasta melun ja vääntömomentin vaihteluiden vähentämiseksi. Pinotut sähkölevyt painetaan kahden oikosulkurenkaan valumuotinväliin ja pursotetaan sulaa alumiinia suuttimien kautta alapuolelta, kunnes sula on mennyt kaikkien levyjen lävitse sekä valanut molempiin päihin oikosulkurenkaat. Valamisen jälkeen roottori prässätään paikalleen akseliin, jonka jälkeen roottori sorvataan oikeaan mittaan ja tasapainotetaan tarpeiden mukaan (Kuvio 9) /27 – 29 /.



**Kuvio 9.** Havainnekuva oikosulkurenkaasta /30/.

## **4 PROJEKTIN KULKU**

Opinnäytetyön tavoitteena oli saada suunniteltua ja valmistettua toinen oikosulkurenkaan valumuoteista 3D-tulostamalla metallista, valmistusmuodon mahdollistamalla tavoilla. Uudelleen kehitetyn oikosulkurenkaan valumuotin tulisi olla modulaarinen, nopeamman muotin vaihdon vuoksi ja mahdollisuus valmistaa vain muutamien prototyyppien ilman suurempia muutoksia valumuottiin.

### **4.1 Nykyinen valumuotti**

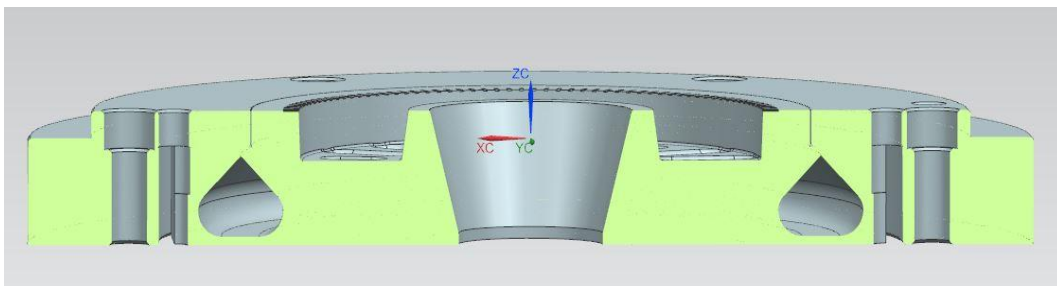
Nykyisen valumuotin toimitusaika on todettu liian pitkäksi teknologia kehityksenprojekteihin, joissa tarvittaisiin vain muutama valu tehtäväksi. Myöskin valumuotin hinta valujen tehtyyn määrän kohden on liian suuri, joten tulostamalla muotti voitaisiin saada suuremmat säästöt rahassa ja ajassa. Nykyään oikosulkurenkaan valumuotti valmistetaan lankasahaamalla ja koneistamalla ulkopuolisen toimittajan puolesta. Tavoitteena oli parantaa ja nopeuttaa muotin jäähdystä, pienentää valmistuskustannuksia, nopeuttaa valmistusta lisäävän valmistuksen avulla ja tehdä valumuotista modulaarinen, jolloin muotoileva osuus olisi mahdollista vaihtaa.

### **4.2 Tiedon kerääminen**

Oikosulkurenkaan valumuotin uudelleen suunnittelua varten tarvittiin nykyisen valumuotin piirustukset sekä tarkemmat tiedot sen käyttämisestä. Piirustuksia nykyisestä valumuotista ei yhtiön sisäisistä tiedonjakoalustoista tai muualtakaan löytynyt. Nykyiseltä valumuotin valmistajalta pyysin tarkkoja piirustuksia alemmasta muotista, mutta sain kokoonpanopiirustukset koko oikosulkurenkaan valumuottien kasaamisesta, jossa ei ollut kuin muutamat mitat merkittynä. Saaduista piirustuksista saatiin mitoitus työkalun avulla mitoitettua kriittiset sekä muut tarvittavat mitat. Tarkempia tietoja valumuotin jäähdystyslinjojen toiminnasta, ilmapäästöjen syvyyksistä, muotin toiminnasta ja valettavista oikosulkurenkaista sain valuosastolta ja osaston esimieheltä Kaj Tikkaselta.

### 4.3 Valumuotin suunnittelu

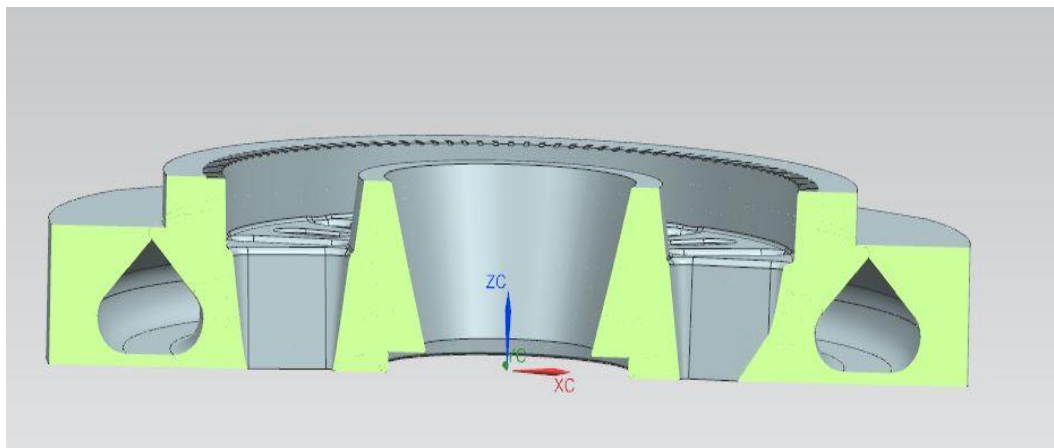
Suunnittelun aloitin selvittämällä yleiset mitat metallin tulostimien tulostusalueesta. Mittojen avulla selvitin, onko mahdollista valmistaa tarvittu muovaava osa valumuottista tulostamalla. Tulostusala oli 280 x 280 mm, joten muovaava osa ei saisi olla suurempi. Modulaarista valumuotia suunnitellessa piti ottaa huomioon muovaavan osan muodot, jäädytyslinjan koko ja sijoitus sekä kiinnityspulttien sijoitus kiinnitysalustassa. Vanhan muotin AutoCad-mallia apuna käyttäen mallinsin muovaavat muodot tasapainotusnastoista sekä siivekkeistä. Ensimmäisissä malleissa käytin vanhaa kuparista jäädytyslinjaa muotin suunnittelussa, mutta myöhemmässä vaiheessa huomasin, että jäädytyslinja on mahdollista sijoittaa muotin sisälle sekä suurentaa linjan halkaisijaa. Jäädytyslinjan sijoituksessa muovaavaan osaan valumuottista suurimpina hyötyinä oli myös se, että saatiin kuuman vaaluosan sisälle kanava, joka jäädyttää nopeasti valettavan materiaalin ja on helppo tapa muodostaa kanava 3D-tulostamalla mallin sisälle. Ensimmäisessä mallissa jäädytyskanava oli pyöreä, viimeiseen revisioon kanavan muoto muotoutui pisanan malliseksi tulostuksen helpottamiseksi. Lisäksi ei tarvittu tulostukseen tukihikkoa, joita olisi myöhemmin mahdotonta poistaa ahtaasta tilasta muotin sisältä.



**Kuvio 10.** Jäädytyskanavan muoto.

3D-tulostetun osan pinnankarheus tulostuksen jälkeen on Ra8 +/- 2, nykyisen muotin pinnankarheus on Ra1.6 muovaavissa osissa. Muovaavien pintojen jälkikäsitteilyt tulisi tehdä tulostuksen jälkeen koneistamalla, kuulapuhaltamalla, kiillottamalla ja lämpökäsittelemällä kunnes saadaan tarvittava Ra1.6 pinnankarheus. Tulostukseen lähetettäessä 3D-mallista pitää täyttää osa tärkeistä rei'istä, jotka tullaan koneistamaan auki tarkkoihin mittoihin osien toimivuuden vuoksi. Valmiiseen tulostettuun osaan kiinnitetään jäädytyskanavan tarvittavat pikaliitännät. Muovaavan

osan muotista pitää saada tukevasti kiinni aluslevyyn, joten suunnittelin kiinnityslaipan, jolla saadaan kohdistettua suuttimien sekä pulttien avulla koko muotti oikeaan valu asentoon. Kiinnityslaipan olkaimet painaa tulostetun osa paikoilleen pult-



**Kuvio 11.** Oikosulkurenkaan valumuotin läpileikkaus.

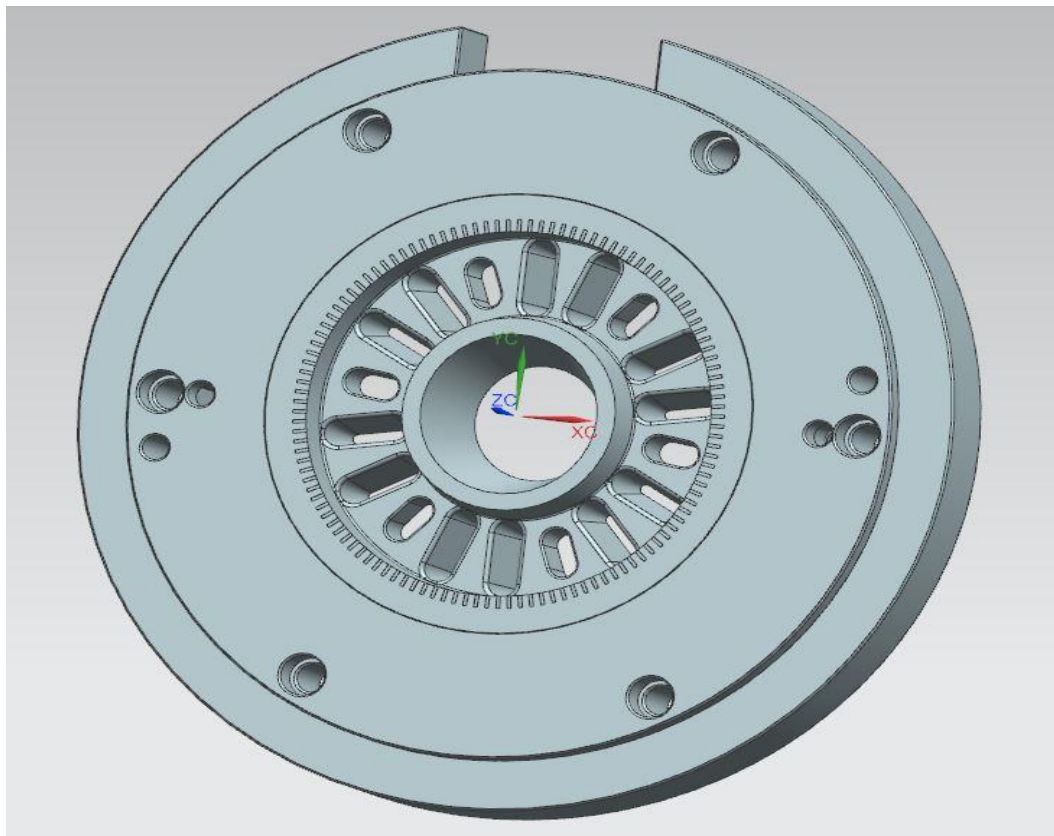
teja kiristäessä. Kiinnityslaippa tulisi koneistettuna metallista.

Uudelleen suunnitellussa valumuotissa kiinnityslaipasta avaamalla pultit sekä nostamalla, saadaan vaihdettua nopeasti ja helposti muovaava osa valumuotista. Tulostettavan muotin materiaalin valinnassa emme valinneet yhtä määriteltyä metallia, vaan annamme toimittajille mahdollisuuden tarjota eri materiaaleja, joiden tulisi kestää valu käytössä antamiemme tietojen perusteella.

#### 4.4 Lopputulos

Lopputulokseksi saatiin lisäävän valmistuksen avulla suunniteltu sekä valmistettava oikosulkurenkaan valumuotti, jonka muovaava osa on helposti vaihdettava muutaman pultin avauksen jälkeen. Kuparisesta jäähdytyskanavasta päästiin eroon, sekä jäähdytyslinjan kokoa saatiin suurennettua valmistamalla kanavan tulostettavan osan sisälle. Pikaliittimet nopeaan irrotukseen saadaan kiinnitettyä valmiisiin kierteitettyihin reikiin kanavan päistä, helpottamaan valajan työskentelyä. Metallista tulostettavan valumuotin toimitusaika puolittuu koneistettavaan verrattaessa, sekä valmistushinta saadaan pienennettyä. Valmistettua tulostettua valumuottia ei tä-

män opinnäytetyön aikana ehditty saamaan kalliin hankintahinnan vuoksi. Myöhemmässä vaiheessa valumuotti on aikeena saada 3D-tulostettuna metallista testausta varten.



**Kuvio 12.** Uudelleen suunniteltu oikosulkurenkaan valumuotti

## 5 TARKASTELU

### 5.1 Johtopäätökset

Materiaalia lisäävän valmistuksen avulla saadaan luotua muotoja ja osia mitä ei voitaisi valmistaa muilla nykyisillä valmistusmenetelmillä. Lisäävällä valmistuksella mahdollistettiin tämänkin valumuotin valmistaminen vaikeista kappaleen sisällä olevissa muodoissa lähtien. Materiaalia lisäävän valmistuksen menetelmä tulee vielä suurenemaan tulevina vuosina lisää, sekä tulostusten hinnat tulevat olemaan kilpailukykyisiä, kun metallin tulostimia alkaa olemaan yhä useammalla yrityksellä käytössään. Pysyäkseen mukana kehityksen aallon harjalla yritysten täytyy kehittää omaa osaamistaan lisäävän valmistuksen optimoidussa suunnittelussa sekä havainnollistaa mitä kaikkea kyseisellä menetelmällä pystytään valmistamaan. Opinnäytetyössä uudelleen suunniteltu oikosulkurenkaan valumuotti metallista tulostettavaksi tulisi säästämään osan projekteihin saaduista rahoituksesta sekä mahdollistaisi nopeamman prototyypin valmistustavan. Lisäävän valmistuksen hyötyjä ja mahdollisuuksia tulisi myös kokeilla muissakin projekteissa, joissa on ongelmia vaikeiden muotojen valmistamisen kanssa. Lisäksi on mahdollisuus saada tietty tuote nopeammalla aikataululla verrattuna normaaleihin valmistustapoihin.

### 5.2 Jatkokehitys ideat

Oikosulkurenkaan valumuotin jatkokehittämisessä keskittyisin lisää materiaalien paksuuksiin, jolloin voitaisiin saada enemmän turhaa painoa pois ja näin ollen myös valmistamisen kustannukset halpenisivat. Jäähdytyskanavan pitäminen kuparisessa voisi olla myös hyötyä, jolla saataisiin valuun tulostaessa valmistetun kanavan ympärillä olevat materiaalien paksuudet poistettua ja näin tiputettua painoa. Yhtenä kehitysideana olisi myös suunnitella jokaisen muovaavan muodon lähelle menemään jäähdytyskanava, myöskin muotin keskiosiin. Näin saataisiin suurempi pinta-ala jäähdyttämään ja voitaisiin saada entistä pienempään tilaan muotin modulaarisuus. Myös yhtenä mahdollisuutena olisi suunnitella valumuotin muovaava osa topologian avulla, jolloin määriteltäisiin tärkeimmät muodot sekä lujuudet. Tietokone piirtäisi ja laskisi topologian avulla valmiin 3D-tulostettavan mallin muotista, joka

kestäisi käytössä. Topologialla suunnitellusta mallista voitaisiin saada paras mahdollinen jäähdytys ja mahdollisesti vähennettyä eniten painoa valmiista tulostettavasta muottista. Pientämällä muottia ainoastaan muovaavaan osaan ja poistamalla kiinnityslaippa, voitaisiin saada pienempi ja kevyempi ratkaisu uudelleen suunnitellulle valumuotille.

## 6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön avulla saatiin toimeksiantajayrityksessä lisää tietoa materiaalia lisäävästä valmistuksesta sekä sen mahdollistamista valmistustavoista ja hyödyistä. Valumuottista tulostettua versiota ei tämän opinnäytetyön aikana keretty saamaan. Toivottavasti opinnäytetyön jälkeen valumuotti saadaan 3D-tulostettuna, jolloin päästäisiin testaamaan käytännössä muotin ominaisuuksia.

Opinnäytetyö oikosulkurenkkaan valumuotin uudelleen suunnittelu oli alusta asti todella kiinnostavaa sekä haastavaa. Koulusta sekä kesätöistä opittujen tärkeiden perustietojen avulla saatiin suuri etu suunnitteluun sekä tietämykseen lisäävästä valmistuksesta. Työn tekeminen toimeksiantaja yritykselle toimi todella hyvin. Jos oli ongelmia työn etenemisen kanssa, oli apu helposti saatavilla.

## LÄHTEET

- /1/ Historia. ABB. Viitattu 7.1.2019.  
<https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/historia>
- /2/ History. ABB. Viitattu 7.1.2019.  
<https://new.abb.com/about/abb-in-brief/history>
- /3/ Uralle. ABB. Viitattu 7.1.2019.  
<https://new.abb.com/fi/uralle>
- /4/ Suomalaiset juuret. ABB. Viitattu 7.1.2019.  
<https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/historia/suomalaiset-juuret>
- /5/ ABB Oy, Motors and Generators. Viitattu 7.1.2019.  
<https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa/yksikot/motors-and-generators>
- /6/ ABB Image Bank. ABB. Sisäinen verkkosivusto. Viitattu 8.1.2019.
- /7/ What is Additive Manufacturing. GE Additive. Viitattu 8.1.2019.  
<https://www.ge.com/additive/additive-manufacturing>
- /8/ Additive manufacturing processes. Ge Additive. Viitattu 9.1.2019.  
<https://www.ge.com/additive/additive-manufacturing/information/additive-manufacturing-processes>
- /9/ DMS (Direct Metal Sintering). Grano 3D. Viitattu 9.1.2019.  
<http://www.rpcase.fi/sovellukset/tietoa-eri-tekniikoista>
- /10/ FIG 12. ResearchGate. Viitattu 9.1.2019. [https://www.researchgate.net/figure/Powder-bed-fusion-process\\_fig5\\_318811217](https://www.researchgate.net/figure/Powder-bed-fusion-process_fig5_318811217)
- /11/ About additive manufacturing. Loughborouh University. Viitattu 9.1.2019.  
<https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/directedenergydeposition/>
- /12/ What is directed energy deposition. Canada Makes. Viitattu 18.1.2019.  
<http://canadamakes.ca/what-is-directed-energy-deposition/>
- /13/ Material Jetting. DREAMS. Viitattu 10.1.2019.  
<http://seb199.me.vt.edu/dreams/material-jetting/>
- /14/ Additive manufacturing research group. Loughborouh University. Viitattu 9.1.2019. <https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/materialjetting/>
- /15/ Binder Jetting. additively. Viitattu 11.1.2019. <https://www.additively.com/en/learn-about/binder-jetting#read-more>

- /16/ Binder Jetting. Loughborough University. Viitattu 11.1.2019.  
<https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/binderjetting/>
- /17/ What is Binder Jetting. ExOne. Viitattu 11.1.2019.  
<https://www.exone.com/Resources/Technology-Overview/What-is-Binder-Jetting>
- /18/ Materiaalin pursotus. ALVO. Viitattu 11.1.2019.  
<http://alvo.savonia.fi/tietopankki/metodit/52-materiaalin-pursotus>
- /19/ Material Extrusion. Loughborough University. Viitattu 11.1.2019.  
<https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/materialextrusion/>
- /20/ Vat Photopolymerisation. Loughborough University. Viitattu 11.1.2019  
<https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/vatphotopolymerisation/>
- /21/ What is vat photopolymerization. Canada Makes. Viitattu 11.1.2019.  
<http://canadamakes.ca/what-is-vat-photopolymerization/>
- /22/ Additive manufacturing processes vat polymerization. Elogioam. Viitattu 22.1.2019. <https://elgioam.com/pages/additive-manufacturing-processes-vat-polymerization>
- /23/ What is sheet lamination. Canada Makes. Viitattu 11.1.2019.  
<http://canadamakes.ca/what-is-sheet-lamination/>
- /24/ Sheet Lamination. Loughborough University. Viitattu 11.1.2019  
<https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/sheetlamination/>
- /25/ Sheet lamination (SL) technology. 3D Printing Lighting. Viitattu 22.1.2019  
<http://www.3dprinting.lighting/3d-printing-technologies/sheet-lamination/>
- /26/ Process Overview. 3DILIGENT. Viitattu 17.1.2019.  
<https://www.3diligent.com/3d-printing-service/sheet-lamination/>
- /27/ Motor basics. Motorsystems. Viitattu 14.1.2019  
<https://www.motorsystems.org/motor-basics>
- /28/ Häkkikäämitty roottori. Wikipedia. Viitattu 14.1.2019.  
[https://fi.wikipedia.org/wiki/H%C3%A4kkik%C3%A4mitty\\_roottori](https://fi.wikipedia.org/wiki/H%C3%A4kkik%C3%A4mitty_roottori)
- /29/ Sähkömoottorin hyötysuhteella on väliä. ABB. Viitattu 22.1.2019  
<http://www.abb.com/cawp/seitp202/9324577570fc2313c125765e002bfcd2.aspx>
- /30/ Sähkömoottorit. Tekniikka & Talous. Viitattu 14.1.2019  
<https://www.tekniikkatalous.fi/innovaatiot/2014-07->

14/S%C3%A4hk%C3%B6moottorin-hy%C3%B6tysuhde-parani---  
60st%C3%A4-90een-prosenttiin-3320669.html

