



Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Satakunta University of Applied Sciences

ROBERT SILVENDAIN

# **3D-METALLITULOSTUS**

## **ALFA LAVAL AALBORG PROJEKTI**

KONE- JA TUOTANTOTEKNIikka

2021

Tekijä Silvendoin, Jan Robert	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	21.9.2021
	Sivumäärä : 47	Julkaisun kieli: suomi
Julkaisun nimi <b>3D-metallitulostus</b>		
Tutkinto-ohjelma Kone- ja tuotantotekniikka		
<p>Tämän työn tarkoituksena oli löytää Alfa Laval Aalborg Oy:lle 3D-tulostettava komponentti joka voitaisiin tulostaa metallista SLS-tekniikalla. Yritys valmistaa lämmöntalteenottolaitteistoja joita valmistetaan perinteisillä konepajametodeilla. Jotta yritys pysyy mukana kilpailussa on tarpeen tutkailla ja mahdollisuuksien mukaan tutkia uusia valmistusmetodeja ja niiden antamia ratkaisuja.</p> <p>Tulostettavaksi komponentiksi valittiin Dearaattorin vesisuutin jota voitaisiin tutkia pienessä mittakaavassa yrityksen omassa Training Centerissä. Training Centerissä on pienessä mittakaavassa oleva Dearaattori ja päätettiin tutkia voitaisiinko sille tulostaa suutin.</p> <p>Suuttimen lähtökohdaksi otettiin kotitalouden öljylämmityksissä käytetty öljysuutin ja sen testitulosten perusteella suunniteltiin suutin. Itsemallinnettu suutin päätettiin tulostaa aluksi kustannus syistä muovista. Muovista suutinta tutkittiin ja saatiin tietoa 3D-tulostuksen ominaisuuksista. Muovista tulostettujen suuttimien perusteella suunniteltiin lopullinen metallitulostettava suutin.</p> <p>Lopputulokseksi saatiin 3D-metallitulostettu suutin. Suuttimen ominaisuuksia ei pystytä testaamaan Training Centerin Dearaattorissa koska Training Centerin testaukset ovat vielä siinä vaiheessa, että Dearaattorin käyttöönotto ei ole lopputyön aikataulussa alkanut. Dearaattorin mittakaava saattaa olla kuitenkin liian pieni. Suuttimen mittakaavan kasvaessa sen yksityiskohtia ja ominaisuuksia voitaisiin lisätä ja tutkia enemmän. Tässä projektissa kuitenkin suuttimen yksityiskohtien tulostaminen ei onnistunut täysin niin kuin toivottiin.</p> <p>Tämä projekti antoi tietoa yritykselle 3D-metallitulostuksesta ja seuraavia projekteja voidaan mahdollisuuksien mukaan aloittaa, koska valmistusmetodi tulee yleistymään tulevaisuudessa.</p>		
<a href="#">Asiasanat</a>  Alfa Laval Aalborg Oy, 3D-tulostus, DMLS/SLM, LBF, Metallitulostus		

Author Silvendoin, Jan Robert	Type of Publication Bachelor's thesis/ Master's thesis	21.9.2021
	Number of pages : 47	Language of publication: Finnish
Title of publication <b>3D-metal printing</b>		
Degree program Bachelor of mechanical engineering and production technology		
<p>Aim of this thesis work is to find a component to be 3D-printed for Alfa Laval Aalborg Oy, this component should be able printed from metal with 3D-SLS-method. Alfa Laval Aalborg produces heat recovery equipment which are manufactured with traditional machine workshop methods. For that Company keeps up with competition of development it is important to observe and explore new production methods and possibilities that they make enable.</p> <p>Component chosen to be printed was water nozzle for Dearator, its possibilities could be studied in company's own Training Center. In Training Center there's Dearator in smaller scale and it was decided to explore that if it is possible to print nozzle for it.</p> <p>Basis for nozzle was taken a basic household oil heating boilers nozzle and its testing results were taken as basis of designing a nozzle. Self-designed nozzle was decided to first print from plastic for cost reasons. Plastic nozzle was examined and tested so was collected information of possibilities of 3D-printing. The Final design for a metal printed nozzle was designed from basis of plastic nozzle.</p> <p>Final result of the project was 3D-printed metal nozzle. Nozzles final potential couldn't be tested in Training Centers Dearator because Training Center testing's weren't in that stage that nozzle could be tested in practice. It's possible that scale of Dearator is too small to nozzle to work as it was desired. If nozzles scale is raised its details could be added more and its features could be added more and explored better. In this project nozzles details printing didn't succeed fully as was hoped.</p> <p>This project gave Company information of Metal 3D-printing and new projects can be started in future with this method if. This method of manufacturing will come more useful in future.</p>		
<p><u><a href="#">Key words</a></u></p> Alfa Laval Aalborg Oy, 3D-printing, DMLS/SLM, LBF, Metal printing		

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	4
2	TYÖN TAVOITE.....	5
2.1	Tutkimusmenetelmä.....	6
2.2	Toteutustapa.....	6
2.3	Työn rajaus.....	7
3	PROJEKTISSA MUKANA OLEVAT YRITYKSET .....	8
3.1	Alfa Laval Aalborg Oy .....	8
3.2	Etteplan Oy .....	9
2.3	Ajatec Prototyping Oy .....	9
4	3D-TULOSTUS .....	10
4.1	Yleisesti.....	10
4.2	DMLS .....	10
4.3	SLM .....	10
4.4	EBM.....	11
5	DMLS/SLM-TEKNIikka TARKEMMIN.....	11
5.1	Tulostus.....	11
5.2	Tulostuksen jälkeen .....	12
5.3	Valmistajan vastuu.....	13
6	3D-TULOSTUSKAPPALEEN SUUNNITTELU .....	14
6.1	Kappaleen määrittely .....	14
6.2	3D-tulostuksen etuja .....	14
6.3	3D-tulostuksen rajoitteita.....	15
6.4	Suunnitteluprosessi .....	15
7	3D-TULOSTUS KAPPALE MAHDOLLISUUKSIA.....	18
6.1	Yleisesti.....	18
6.2	Nuohojen ohjain/tuki .....	19
6.3	Nuohojen suutin.....	20
6.4	Höyrysuutin syöttövesitankkiin. ....	20
7	VALITTU 3D-TULOSTUS KAPPALE.....	22
7.1	Lähtötilanne .....	22
7.2	Uuden komponentin tavoitteet.....	22
7.3	Uuden komponentin kehittäminen.....	23

7.4	Öljysuuttimen tutkiminen .....	24
7.5	Öljysuuttimen ominaisuuksien tutkiminen .....	26
8	SUUTTIMEN SUUNNITTELU .....	28
8.1	Suuttimen suunnittelun ensimmäinen vaihe .....	28
8.2	Suuttimen suunnittelun toinen vaihe.....	30
9	SUUTTIMEN 1. PROTO.....	32
9.1	Valmistajan selvittäminen.....	32
9.2	PA12 Suuttimet.....	33
9.3	Stereolitografia Suutin .....	34
10	SUUTTIMEN 2. PROTO .....	37
10.1	Proto 2. suunnittelu .....	37
10.2	Suutin 1. ....	37
10.3	Suutin 2. ....	38
10.4	Suutin 1. tulostettuna .....	39
10.5	Suutin 2. tulostettuna .....	40
11	LOPULLINEN SUUTIN .....	41
11.1	Lopullisen suuttimen suunnittelu.....	41
11.2	Lopullinen suutin tulostettuna.....	42
12	YHTEENVETO .....	45
	LÄHTEET.....	47
	LIITTEET	

# 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli löytää 3D-tulostettava komponentti yritykselle ja alkaa mahdollisesti valmistamaan sitä kautta muitakin komponentteja / tuotteita tulevaisuudessa kyseisellä menetelmällä. 3D-tulostus on uusi teknologia ja sen mahdollisuuksia ei ole aikaisemmin tutkittu yrityksessä. 3D-tulostuksella voidaan tulostaa pieniä eriä ja tehdä muutoksia nopeallakin aikataululla komponentteihin. Tämä on tärkeää erityisesti tuotekehitysosastolle, jossa kehitellään uusia tuotteita ja alustavia prototyyppjejä. 3D-tulostuksella päästään myös sellaisiin muotoihin ja ratkaisuihin, joihin ei perinteisillä valmistusmenetelmillä kyetä. 3D-tulostusta kehittämällä voidaan myös tulostaa varaosia mahdollisesti tulevaisuudessa asiakaskohteissa ja näin toimitusaika varaosalle lyhenee.

Alfa Laval Aalborg Oy suunnittelee, valmistaa ja toimittaa asiakkaille lämmöntalteenottolaitteistoja kuten kattiloita, tankkeja, koneikkoja ja siirtoputkistoja. Projektit ovat systeemitöitä, joissa laitteet räätälöidään asiakkaan tarpeisiin sopiviksi. Laitteiden mitoitus ja rakenneratkaisut tukeutuvat termodynaamikan perusteisiin sekä painelaitteiden suunnittelua ja valmistusta ohjaaviin standardeihin. Valmistusmenetelmät ja materiaalit ovat kehittyneet vuosien saatossa, jos kohta liitännäismenetelmänä hitsaus on edelleen yksi eniten käytettyjä. Materiaalit ovat pääasiassa ”mustia” painelaiterakenneteräksiä EN normien mukaan. Tuotteiden valmistusketju on hyvin perinteinen. Suunnittelu tuottaa tarvittavat valmistuspiirustukset 2D muodossa, työsuunnittelu osittaa laitteen osavalmistuksen työvaiheisiin, tilaa materiaalit ja varmistaa tarvittavan tuotantokapasiteetin. (Mikkilä 2020.)

Laitteiden suunnittelu tapahtuu Suomessa ja valmistus pääasiassa Euroopassa tai Aasiassa. Suunnittelu perustuu vakiintuneisiin, hyviksi koettuihin teknisiin ratkaisuihin sekä alihankintaketjun olemassaoleviin valmistusmenetelmiin. Laitteiden valmistusaika vaihtelee toimitettavan laitekokoisuuden laajuudesta, materiaalien saatavuudesta, tuotantolinjan kapasiteetista jne. ollen 1–8 kk. (Mikkilä 2020.)

Laitteet on suunniteltu tehtäväksi yksinkertaisilla työkaluilla valmistettavaksi missä päin maailmaa tahansa, pääosin käsityökaluilla. Tällöin valmistajaksi valikoituu ”halvin” mahdollinen. Yhtäältä tuotteen ja valmistusmenetelmän kopiointi on helposti tehtävissä. Ja toisaalta valmistus ei luo riittävästi painetta kehittää uusia valmistus- ja/tai suunnittelumenetelmiä. Nykyinen valmistusfilosofia ei suosi kokonaisvalmistusketjun kehittämistä uusien suunnittelumenetelmien, materiaalien eikä valmistuksen osalta. Uusien suunnittelu -ja valmistusmenetelmien käyttöönotto pitää voida testata ja ajaa sisään osana normaaliprojektitoimituksia. (Mikkilä 2020.)

Tänä päivänä on yrityksen menestyksen ja tulevaisuuden kannalta tärkeää löytää uusia ja taloudellisempia valmistus tekniikoita. Alfa Laval Aalborgille on tärkeää pysyä kärjessä oman alansa kilpailussa ja resursseja käytetään myös tuotekehitykseen. 3D metallitulostus on tulossa käyttöön enemmän ja enemmän, valmiita ratkaisuja ei ole eikä toisaalta niin paljon rajoitteitakaan.

Työ pakenee jatkuvasti halvempiin ja halvempiin maihin etsittäessä kustannussäästöjä. 3D tekniikassa työn tekee kone, sitä ennen kuitenkin tarvitaan suunnittelua ja testausta, mutta kun toimiva ratkaisu löytyy niin valmistus voidaan tehdä missä tahansa. Näin saadaan työtä ja valmistusta palautettua takaisin Suomeen.

## 2 TYÖN TAVOITE

Opinnäytetyön tavoitteena oli löytää Alfa Laval Aalborgille yksittäinen komponentti, joka voidaan 3D-metallitulostaa ja jota voitaisiin käyttää osana nykyisessä tuotteessa. Yrityksellä ei ole ennestään kokemusta tästä valmistustavasta, mutta kiinnostusta kyseistä tapaa kohtaan on. Aikaisemmin ei ole ollut tarvetta ja mahdollisuutta keskittää resursseja tutkimaan kyseistä valmistusmuotoa.

Projektilla kerrytetään myös kokemusta yhteistyöstä Etteplanin sekä Ajatec Prototypingin kanssa ja kuinka sitä voitaisiin ottaa huomioon tuotekehitystyössä. Näillä yrityksillä on kokemusta sekä tietoa menetelmästä ja pyrimme käyttämään tätä projektin hyväksi.

Projektin edetessä pyrittiin selvittämään 3D-metallitulostuksen mahdollisuuksia ja rajoituksia sitä kautta löytää oikeanlainen ja hyödyllinen osa tulostettavaksi komponentiksi. Osan materiaaliksi oli löydettävä materiaali, joka kestää valitun osan vaatimukset niin käyttö kuin olosuhteet huomioon ottaen. Osan on myös oltava liitettävissä nykyiseen kokoonpanoon.

## 2.1 Tutkimusmenetelmä

Tutkimusmenetelmänä käytetään kokeellista tutkimusta eli etsitään 3D-tulostuksen rajoitteita tulostamalla prototyyppejä ja niitä tutkimalla sekä testaamalla saadaan tietoa seuraavaan prototyyppiin ennen lopullista komponenttia. Alfa Lavalilla on oma Training Center Raumalla ja siellä voidaan suorittaa testejä valmistetulle komponentille.

Kaikki palaverit pidettiin Korona-ajasta johtuen Teams-palaveroina. Projekti onnistui hyvin, poikkeusajasta johtuen ainoastaan työn aikataulu venyi omien ja muiden työkiireiden vuoksi. Olisi ollut kiintoisaa päästä vierailulle valmistajan tiloihin ja muutenkin tutustua paremmin valmistusprosessiin, mutta poikkeusajat estivät vierailuja ja lähikontakteja.

## 2.2 Toteutustapa

Opinnäytetyössä oli eri vaiheita jotka piti suorittaa, jotta päästiin lopputulokseen. Ensimmäisessä vaiheessa oli löydettävä tulostettavaksi sopiva komponentti, Tuotekehitysosaston kanssa selvitettiin, mitkä komponentit kaipaavat kehitystä. Komponenttien selvittämisen jälkeen pohdittiin sopisiko komponentti tulostettavaksi 3D-tekniikalla ja missä vaiheessa kyseisen komponentin kehitys on yrityksessä.

Komponentin päättämisen jälkeen etsittiin lähtökohta, josta tulevaa tulostettavaa komponenttia aloitettiin kehittämään. Lähtökohtakomponenttia testaamalla saadaan lähdeaineisto, jota käytetään uuden komponentin suunnitteluun.

Ennen uuden komponentin suunnittelua Etteplanin Iikka Rytönen ja Atte Heiskanen pitivät koulutukset 3D-metallitulostuksesta ja siihen liittyvästä suunnittelusta.



Tämän jälkeen aloitettiin protojen suunnittelu koulutusten perusteella. Suunnittelun tuloksia tarkasteltiin Etteplanin asiantuntijoiden kanssa. Tarkastelussa käytiin läpi myös parannusehdotukset tulostuksen onnistumiseksi.

Suunnittelun perusteella tulostettiin prototyypit Ajatec Prototypingillä. Protoja testattiin ja tutkittiin Test Centressä ja suoritettiin vielä toinen protojen tulostus.

Protojen tulosten perusteella tulostettiin lopullinen komponentti, joka testattiin ja tutkittiin Test Centressä. Lopullisen komponentin perusteella suoritettiin loppupäätelmät projektista ja kirjattiin mihin suuntaan 3D-tulostusmenetelmän tutkimusta kannattaa tulevaisuudessa edistää.

### 2.3 Työn rajaus

Työ oli rajattu koskemaan 3D-metallitulostusta, vaikka protot tulostettiin muovista. Muovitulostuksella ei ole käyttöä yrityksen lopputuotteissa kuumien lämpötilojen ja muuten haastavien olosuhteiden johdosta. Muovitulostus on kuitenkin edullisempi tapa tulostaa komponentteja ja selvittää tulostuksen ominaisuuksia sekä mahdollisuuksia.

### 3 PROJEKTISSA MUKANA OLEVAT YRITYKSET

#### 3.1 Alfa Laval Aalborg Oy

Tämän lopputyön toimeksiantajana toimi Alfa Laval Oy. Olen toiminut mekaanisena suunnittelijan yrityksessä kolme vuotta. Alfa Lavalilla on toimintaa noin 100 maassa ja se työllistää noin 17 000 henkilöä. Rauman toimistolla työskentelee 90 henkilöä liikevaihdon ollessa 40-50 miljoonaa euroa.

Alfa Laval Aalborg Oy on nykyään osa ruotsalaista Alfa Laval -konsernia, mutta yrityksen historia ulottuu vuoteen 1964, jolloin Uudenkaupungin Telakka aloitti laivakattiloiden valmistuksen Uudessakaupungissa.

Myöhemmin yhtiö siirtyi yrityskaupan myötä silloisen telakkayhtiön Finnyardsin omistukseen, tullen osaksi Pipemasters Oy:tä. Vuonna 1994 tuotevalikoimaan mukaan tulivat myös maavoimalaitosten lämmöntalteenottojärjestelmät.

Tanskalainen Aalborg Industries A/S osti Pipemasters Oy:n vuonna 1997 ja tuolloin yritys tuli osaksi maailman johtavaa laivakattilavalmistajaa. Yhtiön nimi vaihtui Aalborg Industries Oy:ksi.

Vuonna 2011 tapahtuneen yrityskaupan seurauksena siirtyi koko Aalborg Industries -konserni Alfa Lavalin omistukseen ja näin muodostui nykyinen Alfa Laval Aalborg Oy. Yhdistymisen myötä olemme saavuttaneet markkinajohtajuuden esimerkiksi laivateollisuuden höyrykattiloissa ja kuumaöljyjärjestelmissä sekä inerttikaasujärjestelmissä. Asemaamme vahvistavat kattavat sertifiointikäytännöt, menestyksekkäs uusien innovaatioiden tuottaminen sekä maailmanlaajuinen huoltoverkosto. Tänä päivänä Alfa Laval Aalborg Oy:n kattilat kuuluvat Alfa Laval Aalborg™ tuotemerkin alaisuuteen.

Innovatiiviset savukaasun lämmöntalteenotto- ja poltinkattilajärjestelmät ratkaisumme meri- ja maalaitossovelluksiin edesauttavat sekä asiakkaidemme energiatehokkuutta että päästöjen vähentämistä. (Alfa Laval Aalborg OY 2020.)

### 3.2 Etteplan Oy

Etteplan Oyj on suomalainen teollisuuden laite- ja laitossuunnitteluun, sulautettuihin järjestelmiin ja IoT:n ratkaisuihin sekä teknisen dokumentoinnin palveluihin erikoistunut asiantuntijayritys. Etteplanin asiakkaat toimivat valmistavan teollisuuden aloilla. Yhtiön liikevaihto oli vuonna 2020 noin 260 miljoonaa euroa. Yhtiö työllistää Suomen lisäksi Ruotsissa, Alankomaissa, Saksassa, Puolassa ja Kiinassa 3 500 asiantuntijaa.

Etteplan on perustettu vuonna 1983, kun neljä suunnittelutoimistoa yhdistyi yhdeksi. Etteplan-nimi tulee perustajien etunimistä: Esko Poltto, Tero Elomaa, Tapani Mönkkönen ja Ensio Juotasniemi.

Etteplan tarjoaa suunnittelupalveluita yrityksille, jotka haluavat käyttää hyväksi 3D-tulostusta. Yritys yhdistää ammattitaitoaan suunnittelusta teollisuudelle ja tietoaan 3D-tulostuksen suunnittelusta luodakseen toimivia uusia komponentteja. Yrityksellä on yli kymmenen vuoden kokemus metallien 3D-tulostuksesta. (Etteplan Oyj:n www-sivut 2021.)

### 2.3 Ajatec Prototyping Oy

Ajatec Prototyping Oy:llä on yli 30 vuoden historia. Alunperin Elomatic on perustanut pienen protopajan, jossa tehtiin pienoismalleja laiva- ja konehuoneista Turun telakalle. Pajan oli tarkoitus hyödyntää viimeisintä teknologiaa mallinnuksessa. Sitten yritys on toiminut nimillä Electrolux Rapid Development, Alphaform RPI ja PL Finland.

Vuosituhanen vaihteesta lähtien yritys on keskittynyt 3D-tulostamiseen ja valmistukseen niin muovilla kuin metallilla. Vuodesta 2018 yritys on toiminut nimellä Ajatec Prototyping. Tulostettavat metallit ovat alumiini (AlSi10Mg), teräs (1.2709), ruosatumaton teräs (316L) ja Titaani (Ti6Al4V). (Ajatec Prototypic Oy:n www-sivut 2021.)

## 4 3D-TULOSTUS

### 4.1 Yleisesti

3D-tulostus on vielä uusi tekniikka ja erilaisia valmistustekniikoita syntyy edelleen eri tulostinvalmistajien ilmaantuessa markkinoille. Varsinkin muovitulostuksessa on useita erilaisia pienvalmistajia ja erilaisia tekniikoita.

Tässä lopputyössä keskitytään metallitulostukseen, jossa yleisesti on käytössä jauhepellettisulatus johon on käytössä kaksi tekniikkaa; DMLS/SLM ja EBM. SLM-tekniikkaa on käytössä suomalaisissa yrityksissä, yliopistoissa on joitakin DMLS-laitteita, EBM-laitteita ei ole Suomessa.

### 4.2 DMLS

Direct Metal Laser Sintering eli metallin lasersintraus. Metallipelletit sulatetaan siihen lämpötilaan, jossa ne yhdistyvät toisiinsa molekyylitasolla kasvatusalustan päälle. Kone levittää pedille pellettejä ja laser sulattaa pelletit kiinteäksi niissä kohdin, johon osa valmistuu. Tämä toistuu kerros kerrokselta kunnes osa valmistuu. Osan valmistuttua sulamattomat pelletit siirretään pellettisäiliöön ja ne voidaan käyttää uudelleen. Sintrauksessa käytetyt metallipelletit aiheuttavat karheen pinnanlaadun tulostetuille kappaleille ja ne vaativat koneistuksen pinnalle. (Redwood, Schöffler, Garret. 2018 s. 124.)

### 4.3 SLM

Selective Laser Melting eli sulatus laserin avulla. Metallipelletit sulatetaan laserilla kiinteäksi kerroskerrokselta kasvatusalustalle. Sintraukseen erona on se, että pelletit sulatetaan yhtenäiseksi, mikä tekee kappaleesta homogeenisen eli tasakoosteisen. Kun osa ei ole huokoinen se kestää paremmin räsitystä ja on kestävämpi.

Tekniikoiden aiheuttamien kuumien lämpötilojen vuoksi kappaleet vaativat tulostettavaksi myös metallisia tukirakenteita jotka poistetaan tulostuksen jälkeen mekaanisesti. Tarpeelliset lämpökäsittelyt suoritetaan osille vielä tukirakenteiden ollessa paikallaan. Kun näitä tukirakenteita poistetaan, voidaan myös kappaleen pintoja ja reikiä koneistaa tarkemmiksi. (Redwood, Schöffner, Garret. 2018 s. 74.)

#### 4.4 EBM

Electron Beam Melting eli elektroni säteen avulla sulatus. Metallipelletit ovat tyhjiössä, jossa useat elektroni säteet sulattavat pellettejä yhteen ja muodostaen kappaleen. Tyhjiön ansiosta tulostus on vapaa epäpuhtauksista ja antaa tasalaatuista tulostusta. Tulostus prosessi on nopeampi kuin laser tulostus, koska säteitä on useampia. Tulostus kappaleista tulee tiiviitä ja vahvoja kappaleita kuten laser sulatuksessa ja toisin kuin sintrauksessa. Elektroni säde on kuitenkin leveämpi kuin laser niin kappaleista tulee karkeampia ja valmistuksessa ei päästä samantyyppisiin tarkkuuksiin kuin laserilla. Koska sulatus tapahtuu elektroni säteillä pitää metallipeletti materiaalin olla sähköä johtavaa. Esilämmittämällä metallipellettejä voidaan vähentää muodonmuutoksia, sekä vähentää kappaleelle tarvittavia tukirakenteita ja vahvistuksia. (3D Natives www-sivut 2021.)

## 5 DMLS/SLM-TEKNIikka TARKEMMIN

### 5.1 Tulostus

DMLS/SLM-tekniikasta käytetään myös nimitystä LPBF eli Laser Powder Bed Fusion. Kappaleiden tulostus suoritetaan suojakaasussa ja laite itsessään on ilmatiivis. Jauhepelletit ovat niin hienoja, että niiden joutuminen iholle tai hengitykseen on estettävä suojavaatteilla sekä hengityssuojaimilla. Jauheiden ja prosessissa olevien kappaleiden käsittely tapahtuu ilmatiiveissä laitteissa.

Tulostin levittää tulostuspedille kerroksen jauhepellettejä, jonka jälkeen laser sulattaa pelletit niistä kohdista joihin kappale muodostuu. Kerrosten paksuutta voidaan muuttaa ja sitä kautta kappaleen tarkkuutta lisätä sekä huokoisuutta vähentää, mutta samalla tulostusaika kasvaa. Mitä useampi lasersäde sulattaa pellettejä niin sitä kautta tulostusnopeus lisääntyy.

Tulostettaessa kappaletta sen pinnalle muodostuu lämpöä laserin sulattaessa pellettejä ja kun levitetään uusi kerros pellettejä kappale jäähtyy. Kappaleeseen muodostuu jännityksiä jatkuvien lämpötilamuutosten vuoksi. Jauhe itsessään on huono lämmönjohde ja kappaleeseen varastoituu lämpöä, sitä kautta kappaleen lämpötila nousee. Kohonnut lämpötila vähentää kappaleen myötölujuutta ja saattaa aiheuttaa muodonmuutoksia. Tukirakenteilla saadaan siirrettyä jännityksiä sekä lämpöä pois kappaleen rungosta poistettaviin tukiin ja sitä kautta pohjalevyyn.

Jauheen kantavuus on huono, joten kappaleen muotojen muodostamiseen tarvitaan tukirakenteita. Tulostusasennolla pystytään vaikuttamaan tukirakenteiden määrään sekä jännitysten muodotumiseen, liiallinen tukirakenteiden määrä vaikuttaa materiaalihävikkiin ja sitä kautta kappaleen hintaan. Kappaleen irrottamisen helpoittamiseksi pedistä, tehdään tukirakenne kappaleen ja pedin väliin. 3D-tulostamalla voidaan tulostaa myös toisella menetelmällä tehdyn kappaleen päälle suoraan. (Redwood, Schöffner, Garret. 2018 s. 124.)

## 5.2 Tulostuksen jälkeen

Tulostuksen jälkeen kappaleelle tulee tehdä jälkikäsettely. Hehkuttamalla poistetaan jäännösjännitykset ja kovetetaan rakenne. Tukirakenteiden annetaan olla kiinni kappaleessa vielä hehkutuksen aikana.

Kappaleesta poistetaan imuroimalla tai kappaletta kääntelemällä irtonaiseksi jäänyt jauhe mikä voidaan uudelleen käyttää. Jauhepelletit ovat pieniä ja niitä ei saa jäädä kappaleeseen piiloon.

Tukirakenteet olisi syytä suunnitella niin että niiden poistaminen olisi helppoa. Tukirakenteet voidaan poistaa käsin tai koneellisesti. Tukirakenteet kelpaavat metallikierrätykseen, mutta suoraan takaisin prosessiin niitä ei voi palauttaa.

HIP-käsittelyllä (Hot Isostatic Pressure) eli kuumaisostaattisella puristuksella kappaleen tiheyttä lisätään ja parannetaan kappaleen väsymisen kestävyyttä poistamalla huokoisuutta. Kappaletta puristetaan saman aikaisesti paineella sekä korkealla lämpötilalla tiivistäen sen rakennetta.

Kappaleen pintaa voidaan parantaa tarvittaessa erilaisilla hiomis ja kiillotus tavoilla, jolloin pinnan karheutta saadaan parannettua. Tulostettaessa pinnan karheus on Ra 8 - 12, joten joissakin tapauksissa pinnan koneistus on tarpeen.

### 5.3 Valmistajan vastuu

Valmistajan täytyy tuntea oma prosessinsa ja laitteensa tarkkaan, jotta tulostettavien kappaleiden laatu sekä ominaisuudet ovat asiakkaan haluamia. Tulostettavia materiaaleja on monia esimerkiksi: Titaani (Ti6AL4V), Alumiini (AlSi10Mg), Ruostumatonteräs (316L). Laitteiden toimittajat toimittavat materiaalit tulostus laitteisiin, jolloin jauhepelletit ovat laitteisiin sopivassa muodossa. Jauhepellettien ominaisuudet vaikuttavat tulostuslaatuun ja valmistajan on oltava tietoinen tulostuksessa käytettävän jauheen koostumuksesta ja kuinka paljon siinä on mahdollisesti kierrätettyä jauhetta. Jauhepellettien ominaisuuksia enemmän kappaleen ominaisuuksiin vaikuttaa kuitenkin valmistusprosessi ja siihen kuuluvat parametrit. Tulostusprosessiin vaikuttaa yli 200 parametria sekä lisäksi kappaleen tulostus asento.

Tulostettavassa kappaleessa on huokosia, jotka aiheuttavat jännityskeskittymiä kappaleeseen. Tulostuslaitteiden kehittyessä tulostustettujen kappaleiden huokoisuus on vähentynyt. Kappaleiden väsymisominaisuudet ovat kuitenkin aina huonompia kuin normaalisti käytetyillä materiaaleilla. Pinnan käsittelyllä ja HIP-käsittelyllä pystytään parantamaan kuitenkin huokoisuutta.

## 6 3D-TULOSTUSKAPPALEEN SUUNNITTELU

### 6.1 Kappaleen määrittely

Aloitettaessa 3D-tulostettavan kappaleen suunnittelu on pyrittävä pohtimaan mitä lisäarvoa kappaleelle saadaan tällä menetelmällä. Perinteiset valmistusmenetelmät puolustavat yleensä paikkansa edullisuutensa ja nopeutensa ansiosta. Suoraan perinteisellä menetelmällä tehtävää kappaletta ei yleensä kannata 3D-tulostaa, vaan on pohdittava millainen kappaleen tulisi olla, jotta se suorittaa tehtävänsä ja sitä kautta löytää uusi ratkaisu. Perinteisissä menetelmissä valmistus perustuu siihen, että valmiista materiaalista olevasta kappaleesta poistetaan sekä muokataan sitä, jotta saadaan halutun muotoinen kappale. 3D-tulostuksessa kappale tulostetaan valmiiksi muotoonsa ja siitä ei tarvitse poistaa enää mitään eikä lisätä.

### 6.2 3D-tulostuksen etuja

3D-tulostamalla kappaleelle saadaan sellaisia muotoja, joita ei perinteisillä menetelmillä pystytä tekemään, esimerkiksi vinoja tai kaareutuvia reikiä. Tulostamalla pystytään mallintamaan luonnonmukaisia rakenteita ja saadaan materiaaliin sellaisia ominaisuuksia mitkä ei ole mahdollisia perinteisesti.

Luonnossa on monenlaisia rakenteita joita pystytään mallintamaan entistä paremmin ja ottamaan käyttöön 3D-tulostuksen avulla. Muun muassa Gyroid-rakenne on tällainen luonnossa oleva rakenne, sitä löytyy soluista sekä perhosten siivistä. Gyroid-rakenteella saadaan poikkeuksellisia lujuusominaisuuksia pienellä tiheydellä sekä suuri leikkauslujuus ja kappaleen massa pysyy pienenä. (Harrison M. 2018.)

3D-tulostamalla kappaleeseen saadaan vaikka sisäinen jäähdytys. Kappaleen sisälle voidaan mallintaa jäähdytyslinjasto, jolloin kappale voi olla kuumassakin lämpötilassa ilman muutoksia, kun jäähdytys kulkee kappaleen sisällä.

Tulostamalla kappaleesta voidaan saada kevyt rakenteinen, jossa on lujuutta tarvittavissa kohdin. Muotoilun avulla kappaleesta voidaan jättää materiaalia pois



niistä kohdista, joissa sitä tarvita ja tehdä niistä kohdista joissa lujuutta tarvitaan sellaiset, että jännitykset siirtyvät.

Virtauslaskelmaa eli CFD-laskentaa hyväksi käyttämällä saadaan esimerkiksi suuttimien virtausominaisuuksiin rajattomia toteutumismahdollisuuksia. Laskelmien avulla tutkitaan nesteiden ja kaasujen liikkeitä, lisäksi voidaan tutkia lämpötilan vaikutuksia virtausominaisuuksiin.

### 6.3 3D-tulostuksen rajoitteita

3D-tulostus tehdään koneistuskeskuksen tapaisessa yksikössä ja sitä kautta kappaleen kokoa rajoittavat laitteen sisällä olevan tulostus alueen mitat. Tulostus suoritetaan pohjalevyn päälle ja levyn koko rajoittaa kappaleen mittoja. Pohjalevyssä on myös kiinnitys reiät jotka pitää ottaa huomioon tulostusasentoa suunniteltaessa. Tulostaessa tulostin levittää kerroksen pellettejä pohjalevyn päälle ja lasersulatuksen jälkeen levy laskeutuu seuraavan kerroksen verran alaspäin ennen uuden kerroksen levittämistä. Tulostuslaitteella on rajat kuinka paljon se pystyy laskeutumaan, joten kappaleen korkeudella on rajoitteensa. Isoa kappaletta suunniteltaessa on selvitettävä laitteen rajat ja otettava nämä huomioon. Yleensä 3D-tulostettavat kappaleet ovat pieniä ja kustannusten pitämiseksi pienempänä tulostetaan useita kappaleita kerrallaan.

### 6.4 Suunnitteluprosessi

Suunnittelijan pitää ymmärtää 3D-tulostuksen prosesseja ja materiaalien mahdollisuuksia sekä rajoitteita. Suunnittelijan pitää selvittää onko kappale tulostettavissa ja täytyvätkö halutut ominaisuudet. Suunnittelijan on pidettävä huolta dokumentoinnista ja suunnittelun laadusta.

3D-kappaleen suunnitteluun on hyvä rakentaa suunnittelutiimi, jossa on eri asiantuntijoita. Onnistuneeseen suunnitteluun tarvitaan tietoa 3D-tulostuksen valmistajan mahdollisuuksista tulostaa ja materiaalivaihtoehdoista, lujuuslaskentaa, virtauslaskentaa, materiaalin tuntemusta sekä tuotesuunnittelua.

Kappaleen suunnitteluprosessi alkaa lähtöaineiston keräämisellä. Kysymyksinä voivat olla; Mitä ominaisuuksia uudelta kappaleelta halutaan?, Mitä materiaalia kappale tulisi olla?, Voiko olemassa olevia ratkaisuja parantaa?, jne. Lähtöaineiston perusteella asetetaan tavoitteet, jotka lopputulokseen halutaan.

Kun kappaleen tavoitteet on määritelty aloitetaan ideointi. Kappaletta ideoidessa tulisi unohtaa perinteiset ratkaisut ja perinteisten valmistustapojen rajoitteet. 3D-tulostuksella saadaan monimutkaisia muotoja ja voidaan keskittyä löytämään prosessin ja käytön kannalta parhaita muotoja sekä ratkaisuja.

Ideoinnin jälkeen siirrytään alustavaan mallinnukseen. Päätetään valmistustapa ja materiaali sekä alustava muoto. Tulostusasento on myös päätettävä mahdollisimman ajoissa, jotta voidaan saada sellainen muoto jolloin valmistus onnistuu parhaiten ja tarvitaan mahdollisimman vähän tukirakenteita. Materiaalin määrittämiseksi tarvitsee tietää mitä staattisia ja dynaamisia kuormia kappaleeseen kohdistuu. Valmistajan sivuilta löytyy tietoa materiaalien ominaisuuksista, mutta lopulliset tiedot kappaleen valmistamiseksi pitää saada tulostajalta ja heidän kokemusten sekä testien perusteella saaduista tuloksista. Alustavassa mallinnuksessa on otettava huomioon että tulostettava materiaali kantaa huonosti eli esimerkiksi reiät on tulostettava tulostuspedin suuntaisesti tai sitten aukoista/kanavista on tehtävä sen muotoisia joita voidaan tulostaa. Huono kantavuus on otettava huomioon myös muissa rakenteen muodoissa tai kappaleen asemoinnilla. Yleisperiaate on, että kappaleen kulmat jotka ovat alle 45° tulostuspetiä kohti, tarvitsevat tukirakenteita.

Lopullista suunnittelua varten on tehty tarvittavat lujuus- ja virtauslaskelmat, löydetty tulostettava muoto sekä asento. Kanavien halkaisijoiden on oltava alle 6mm. On varmistettava ettei tulostettaessa kappaleeseen synny suljettuja onteloita. Kappaleen muodot on oltava mahdollisimman sujuvat ja luontevat. Tukirakenteiden poistamisen mahdollisuus on myös varmistettava. Lopullisessa suunnittelussa päätetään myös tarvittavat pintakäsittelyt sekä koneistukset sekä viimeistelyt ja miten nämä täytyy ottaa huomioon tulostettavassa kappaleessa.

Suunnittelun vahvistamiseksi voidaan ajaa testitulostuksia muovilla, joilla voidaan testata mahdollisia haasteellisia muotoja. Tulostusvirheitä sekä ongelmia on helppo ja

edullista korjata vielä tässä vaiheessa. On myös tärkeää varmistaa etteivät tulostuksessa muodostuvat lämpötilat hajoita kappaletta tai aiheuta ei toivottuja muodonmuutoksia. Kun kappale on suunniteltu lähetetään valmis STEP-malli tulostajalle, mutta kappaleesta on hyvä tehdä lisäksi erikseen tulostus- ja koneistuskuvat. On tärkeää, että kappaletta kehittäessä eri revisiot on dokumentoitu ja niiden muutoksiin päästään palaamaan tarvittaessa.

## 7 3D-TULOSTUS KAPPALE MAHDOLLISUUKSIA.

### 6.1 Yleisesti

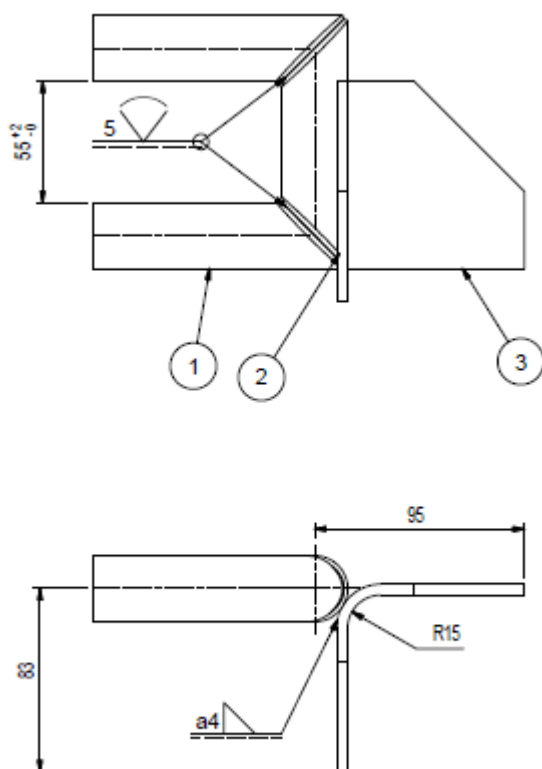
Projektin tavoitteena on löytää komponentti josta olisi hyötyä yritykselle. Komponentin pitäisi korvata nykyinen käytössä oleva komponentti, joka on mahdollisesti vaikea ja työläs valmistaa tai 3D-tulostuksella saadaan uusia ominaisuuksia osalle joita ei ole ollut mahdollista toteuttaa ennen.

Nykyiset komponentit ovat olleet vuosia valmistuksessa ja todettu hyväksi tai riittäväksi. Niiden korvaaminen voi olla useissa tapauksissa mahdotonta, koska 3D-tulostetun kappaleen ominaisuuksia ei tiedetä ja varsinkin kriittisissä kohteissa ei ole halua alkaa kokeilemaan asiakkaan kustannuksella. Joissakin kohteissa komponentti voi olla jopa mahdollista vahvistaa 3D-tulostuksella vahvemmassi ja kestävämmäksi kuin nykyinen komponentti, mutta ei ole tarpeen ettei varaosabisnes ala kärsimään.

Laitteissa on myös paljon eri toimittajilta hankittavia komponentteja. Näissä tyydytään niihin materiaaleihin ja ominaisuuksiin mitä valmiilla komponentilla on. Näiden komponenttien korvaaminen on hyvinkin mielenkiintoinen mahdollisuus, täytyy vain selvittää mitä mahdolliselta komponentilta halutaan ja onko sen saavuttaminen mahdollista uusilla ratkaisuilla.

## 6.2 Nuohoimen ohjain/tuki

Uuden nuohoin mallin ohjaamiseen ja tukemiseen on komponentti, joka on muodostunut tuotekehityksen myötä ja siinä hitsataan levyyn pyörötangot. Pienen komponentin valmistaminen on työlästä. Se edellyttää levyn muokkausta ja tankojen hitsaamista levyyn. Olisi helpompaa, jos kappale olisi yhtä materiaalia.



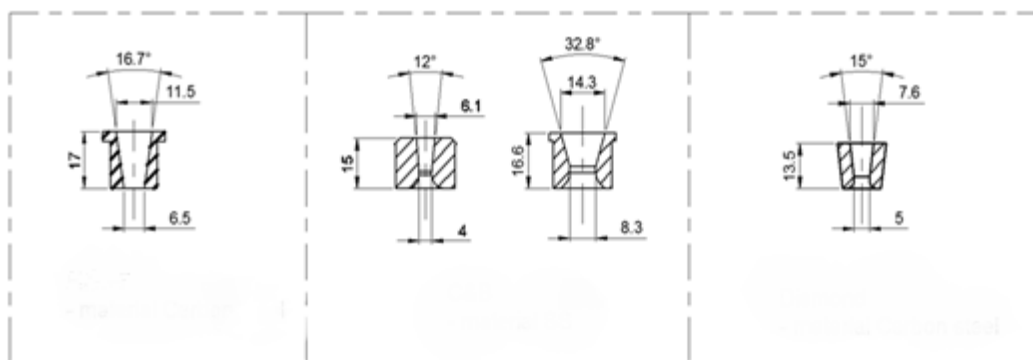
Kuva 1. Ohjain/tuki (Alfa Laval, Sootblower Rake Drawing, 2020).

Nuohoimen tuotekehitys on tässä vaiheessa kesken ja tämän komponentin muokkaaminen ei ole tällä hetkellä ajankohtaista. Nykyisen kokoonpanon käytännön koeajot ovat alkamassa ja nykyisen konstruktion ominaisuudet ja ongelmat käytännössä tulevat sitä kautta vasta selville. Ei ole tarkoituksen mukaista ainakaan tässä vaiheessa tehdä muutoksia olemassa olevaan ratkaisuun.

### 6.3 Nuohoimen suutin

Niin nykyisissä kuin kehityksen alla olevissa nuohoimissa on pieniä suuttimia, joilla höyry/paineilma puhalletaan kattilassa olevien lämpölevyjen päälle pyrkien puhdistamaan lämpöpintaa ja pitämään kattilan suorituskyky hyvänä mahdollisimman pitkään. Mitä tehokkaampaa puhdistus olisi, niin sitä kauemmin asiakkaan ei tarvitsi tehdä seisakkeja kattilan suorituskyvyn vuoksi.

## Steam nozzles



Kuva 2. Suuttimia (Alfa Laval, Own Sootblower General Presentation, Mikkilä J., 2019).

Keskusteltiin voisiko suuttimen muodolla vaikuttaa puhdistustulokseen ja suuttimen suihkun muotoon. Suihkun muotoa voitaisiin varmasti 3D-tekniikalla saada erilaiseksi, mutta todellisuudessa suihkun nykyisiä haasteita on asiakkailta saatavan höyryn/paineilman määrä ja paine, sekä se kuinka lähelle kattiloissa saadaan nuohointen suuttimet lämpöpintaa. Suuttimien hyötysuhde/hinta on sen verran edullinen ettei yrityksen kannata alkaa kehittämään tätä komponenttia. Lisäksi suuttimien hinta on edullinen 3D-tulostettavaan komponenttiin verrattuna.

### 6.4 Höyrysuutin syöttövesitankkiin.

Syöttövesisäiliöihin ohjataan prosessin höyry, jotta höyry ei ”paukkuisi” säiliössä, säiliössä olevan veden ja höyryn lämpötilaerojen vuoksi, niin Steam Injektorilla esilämmitetään säiliössä oleva vesi. Säiliössä oleva vesi pyritään pitämään tasaisessa

lämpötilassa. Steam injektorissa käytetään eri valmistajien suuttimia ja haluna olisi mahdollisesti löytää oma komponentti/ratkaisu.

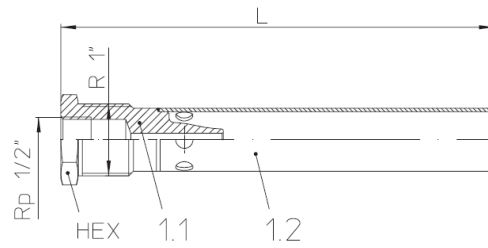
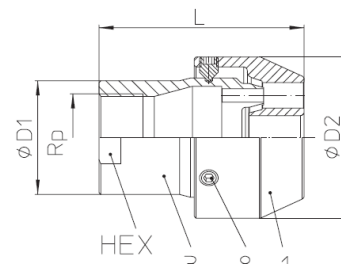


Fig.651....2 with internal thread (Rp 1/2) and external thread (R 1)



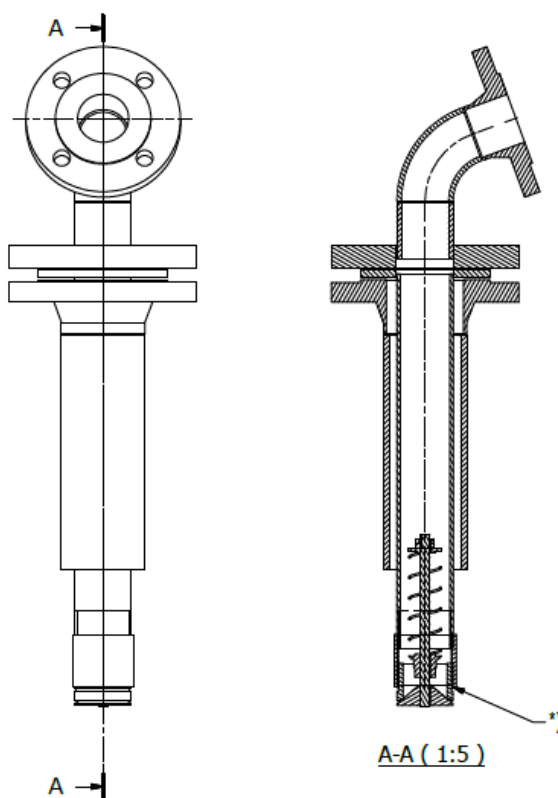
Kuva 3. Suutin (ARI Armature, Steam Injector 2020)

Steam Injektor on korvattu syöttövesitankeissa Steam Injektion putkella, joka on reijitetty putki vesipinnan alla. Tämä ratkaisu on todettu tällä hetkellä toimivaksi ja ei vaadi jatkokehitystä tällä hetkellä.

## 7 VALITTU 3D-TULOSTUS KAPPALE

### 7.1 Lähtötilanne

Tuotekehityskomponentiksi valikoitui Dearatorin vesisuutin. Nykyinen suutin on ulkopuoliselta toimittajalta (Vesipauli) ja sen kustannus on ~250€. Vesisuuttimeen tuodaan vesi ja suuttimessa oleva levy tuottaa suihkukartion ja suuttimessa oleva vieteri tekee suuttimeen vastapaineen. Jousen jännitystä muokkaamalla voi muokata suihkukartiota, mutta käytännössä suutin on asennettu toimitusasennossa paikalleen ja tyydytty sen tuottamaan vesikartioon.



Kuva 4. Dearatorin suihkuputki, jossa vesipaulin suutin (Alfa Laval, Dearator drawing 2020).

### 7.2 Uuden komponentin tavoitteet

Tavoitteena olisi päästä eroon kalliista ulkopuolisesta komponentista ja saada omavalmisteinen osa. Tavoitteena olisi myös saada täyteläinen suihkukartio, jotta



suihkutettu vesi leviäisi mahdollisimman laajalle alueelle. Pisarakokoa pienentämällä voitaisiin myös päästä kattavaan vesisuihkuun/sumuun. Tavoitteena olisi lisäksi parantaa hapenpoistoa syöttövedestä ja sitä kautta vähentää korroosioriskiä sekä vähentää kemikalien kulutusta.

Omaa 3D-tulostettua suutinta voidaan testata Training Centressä ja tehdä lisää parannuksia komponenttiin. Asiakkaille voidaan myydä omaa uudella teknikalla tehtyä komponenttia ja saadaan positiivista imagon lisää. Vanhoja käytössä olevia suuttimia voidaan korvata uudella suuttimella ja varaosan hinta saadaan itselle sen sijaan, että käytettäisiin itse ostettavia komponentteja.

### 7.3 Uuden komponentin kehittäminen

Training Centreen on rakennettu Dearaattori pienemmässä mittakaavassa. Siihen ei voida käyttää Vesipaulin suutinta, koska kyseistä suutinta ei saa eri kokoisena ja nyt siihen pitää itse suunnitella suutin.

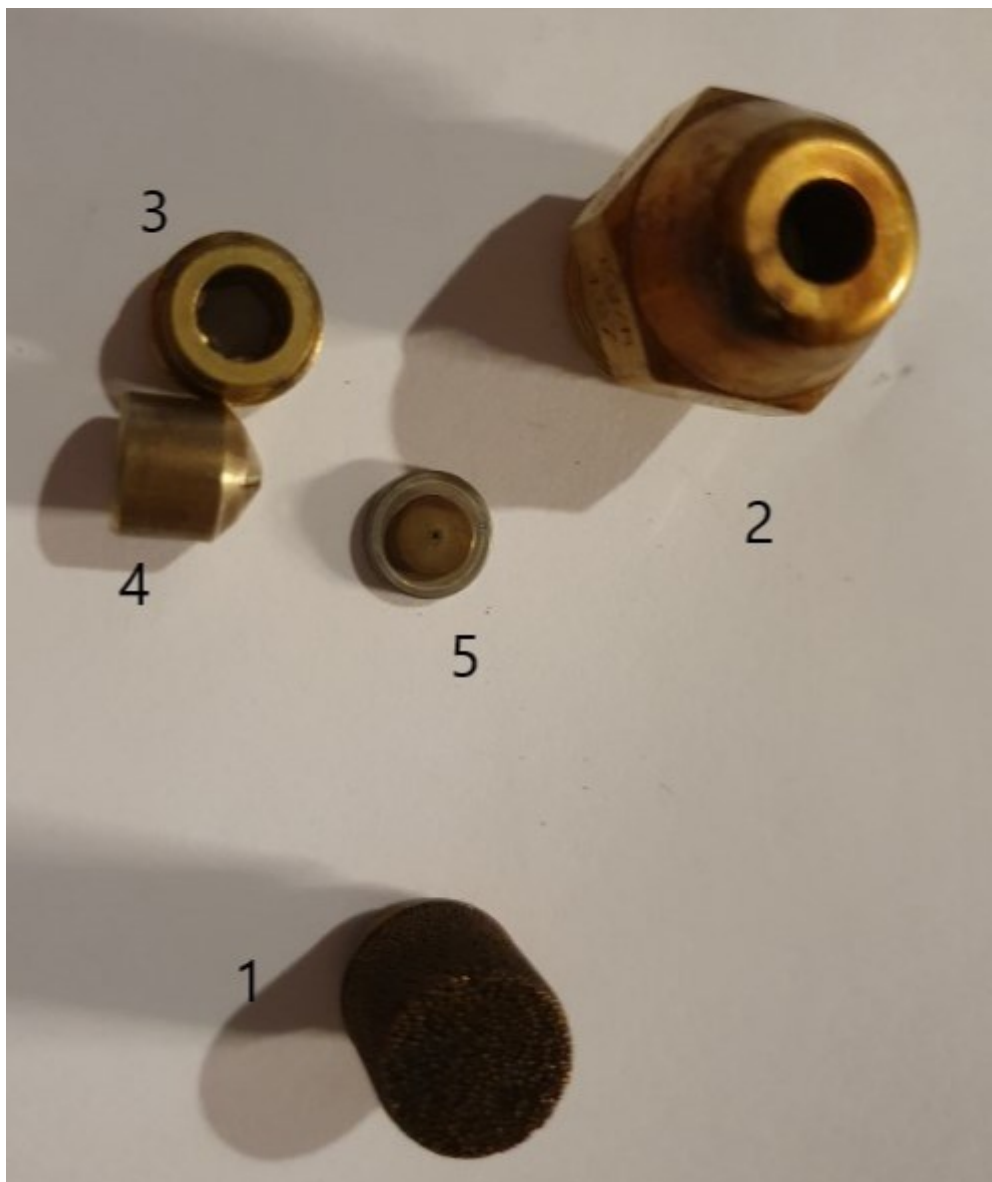


Kuva 5. Training Centren Dearatori ja Feed water tank (kuvannut Robert Silvendoin).

Uuden suuttimen lähtökohdaksi otetaan Danfossin öljykattiloihin käytetty suutin. Kotien lämmitykseen käytettyjen öljykattiloiden öljypolttimissa suutin suihkuttaa öljyn sumuna tulipesään ja sumun muotoon vaikuttaa suuttimen rakenne. Suuttimen tavoite on saada mahdollisimman iso suihkukartio kattilan sisälle. Mahdollisimman iso suihkukartio on myös tavoitteena projektin suuttimella.

#### 7.4 Öljysuuttimen tutkiminen

Jotta saatiin selväksi paremmin Danfossin suuttimen rakenne niin halkaistiin sekä purettiin suuttin.



Kuva 6. Danfossin suuttimen osat: 1. Suodatin 2. Runko 3. Suutinputki 4. Suulake 5. Sumutuspää (kuvannut Robert Silvendoin).

Öljyn suuttimen toiminta: Suodatin pitää suuttimen puhtaana suodattaen mahdolliset epäpuhtaudet öljystä. Suutinputkessa on reiät joita kautta öljy siirtyy paineella rungon ja suulakkeen välissä olevaa tilaa myöten kohti sumutuspäätä. Suulake muodostaa öljyyn pyörivän liikkeen ja sumutinpää aiheuttaa sen, että öljy tulee ulos pisaroina muodostaen öljysumun. Paine vaikuttaa pyörivään liikkeeseen ja sen noustessa pyörimisnopeus suurenee, pisaroiden koko pienenee ja niiden pyörimisliike loppuu. Pisarot liikkuvat suoraan suuttimesta ulos tullessaan. (Danfoss www-sivut 2021.)

Suutinta purkaessa selvisi osien määrä suuttimessa, mikä ei välttämättä tule selväksi suutinta purkamatta. 3D-tulostamalla pyritään osien määrän vähentämiseen yhteen tulostettavaan kappaleeseen. Suodatin ominaisuutta ei uudelle komponentille pyritä saamaan, vaan linjan puhtaus varmistetaan linjassa olevalla erillisellä suodattimella.



Kuva 7. Danfossin suutin halkaistuna. (kuvannut Robert Silvendoin).

Halkaisemalla suutin selviää kanavat joita pitkin neste kulkee suutinpäästä kohti. Neste laajenee suutinputkesta isoon kanavaan, josta se leviää suulakkeen ympärille ja sitä kautta suulakkeen ja sumutuspään väliseen pyörrekammioon.

Kanavat ovat hyvin pieniä ja muodostuvat rungon ja osien väliin. 3D tulostettavassa suuttimessa kanavat on tehtävä rungon sisään, näiden kanavien koot ja muodot ovat yksi selvitettävistä ja kokeiltavista asioista.

### 7.5 Öljysuuttimen ominaisuuksien tutkiminen.

Öljysuuttimen ominaisuuksien tutkimista varten rakennettiin suutintuki johon voi asentaa muokattuja suittimia. Suutintukin rakentamiseen käytettiin avuksi Alfa Lavalin varastolta löytyviä Mig-hitsaus- ja plasmakaarileikkauslaitteita.



Kuva 8. Valmistettu suutintukki (kuvannut Robert Silvendoin)

Poraamalla suurennettiin suuttimien sumutuspään reikää sekä lisäettiin suodattimeen isompia reikiä selvitettäväksi millaisia muutoksia näillä oli vesimäärään ja suihkun muotoon. Kokeilemalla erilaisia kokoonpanoja saatiin taulukossa 1. olevat tulokset. Kerättiin 10 litran ämpäriin yhdestä suuttimesta tuleva vesimäärä minuutissa ja silmämääräisesti arvioitiin suuttimen suihkun ja pisaroiden koko. Tavoitteena on saada leveä kartiomainen suihku pienillä pisaroilla ja vesimääräksi 5kg/h eli 0,8 dl/min.



Kuva 9. Suuttimen suihku (kuvannut Robert Silvendoin).

Taulukko 1. Suutintestien tulokset.

testi	Suutin reikä	Suodatin reiät	Vesimäärä	Suihku
1.	alkuperäinen	alkuperäinen	0,1 dl/min	sumumainen kartio
2.	alkuperäinen	-	0,2 dl/min	sumumainen ohut suiku
3.	1 mm	alkuperäinen	0,5 dl/min	sumumainen kartio jossa keskellä suihku
4.	1 mm	-	0,7 dl/min	Kapea suihku
5.	1 mm	1 mm	2 dl/min	Kapea suihku
6.	1,5 mm	alkuperäinen	0,7 dl/min	Kapea, sumumainen suihku
7.	1,5 mm	1 mm	1,25 dl/min	leveä kartio suihku
8.	1,5 mm	-	3 dl/min	isot pisarat, kartio suihku
9.	1,5 mm	1,5 mm	1,30 dl/min	isot pisarat, pieni kartio suihku

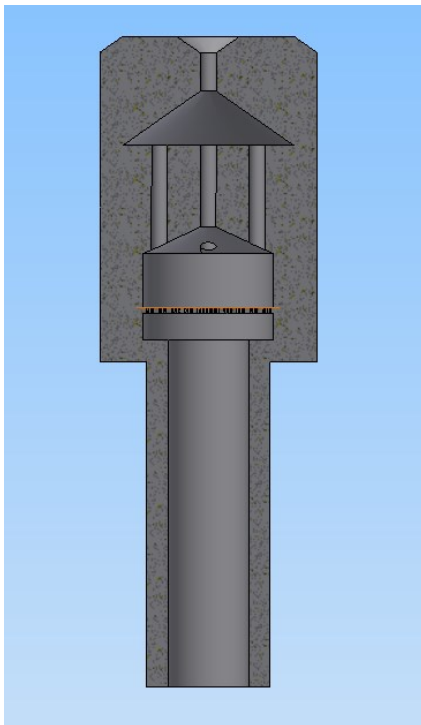


## 8 SUUTTIMEN SUUNNITTELU

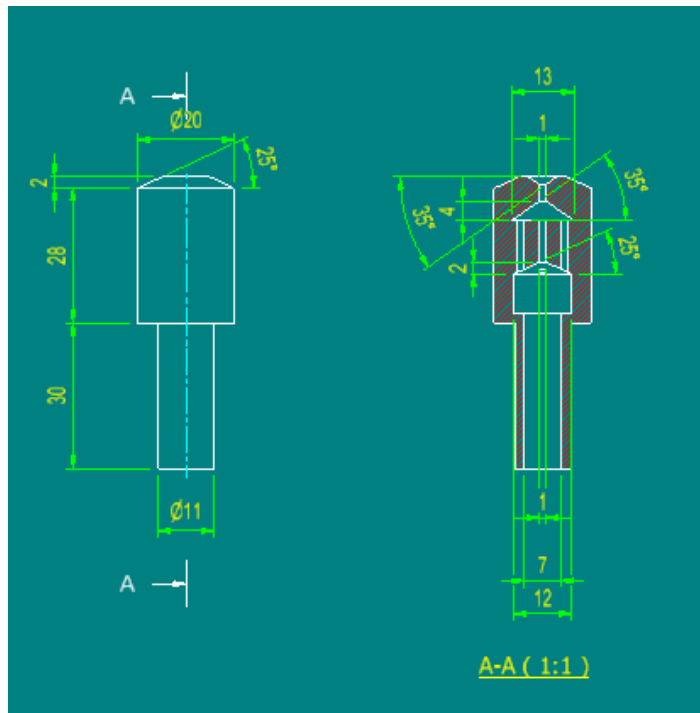
### 8.1 Suuttimen suunnittelun ensimmäinen vaihe

Öljysuuttimen testailun perusteella aloitettiin suuttimen suunnittelu. Suuttimen on tarkoitus olla yksiosainen eli öljysuuttimen eri osien ominaisuudet olisi tarkoitus yhdistää suuttimen sisällä olevilla konstruktiolla. Sisäisten konstruktioiden suunnitteluun tuovat haasteita 3D-tulostuksen rajoitteet.

Jotta saataisiin paremmin selville suuttimen eri osien ominaisuuksia, päätettiin ensiksi tehdä kaksi hiukan toisistaan poikkeavaa kappaletta. Toiseen suuttimeen pyrittiin saamaan sihtirakennetta, jolla pyrittiin saamaan öljysuuttimen suodattimen ominaisuuksia. Epäilynä oli, että puhdistamisen lisäksi suodatin pirstoaa veden pieniksi pisaroiksi ja sitä kautta tekee suihkusta sumumaisen, jollaista halutaan lopulliselta suuttimelta. Toisen suuttimen rakenne on muuten samanlainen, mutta sihtirakenne puuttuu suuttimen sisältä.

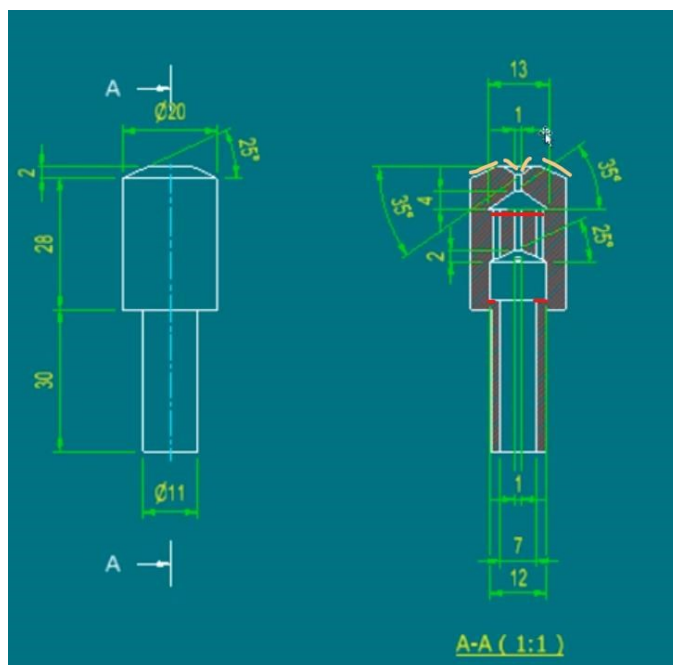


Kuva 10. Suutin, jossa alustavaa sihtirakennetta.



Kuva 11. Suutin ilman sihtirakennetta mitat.

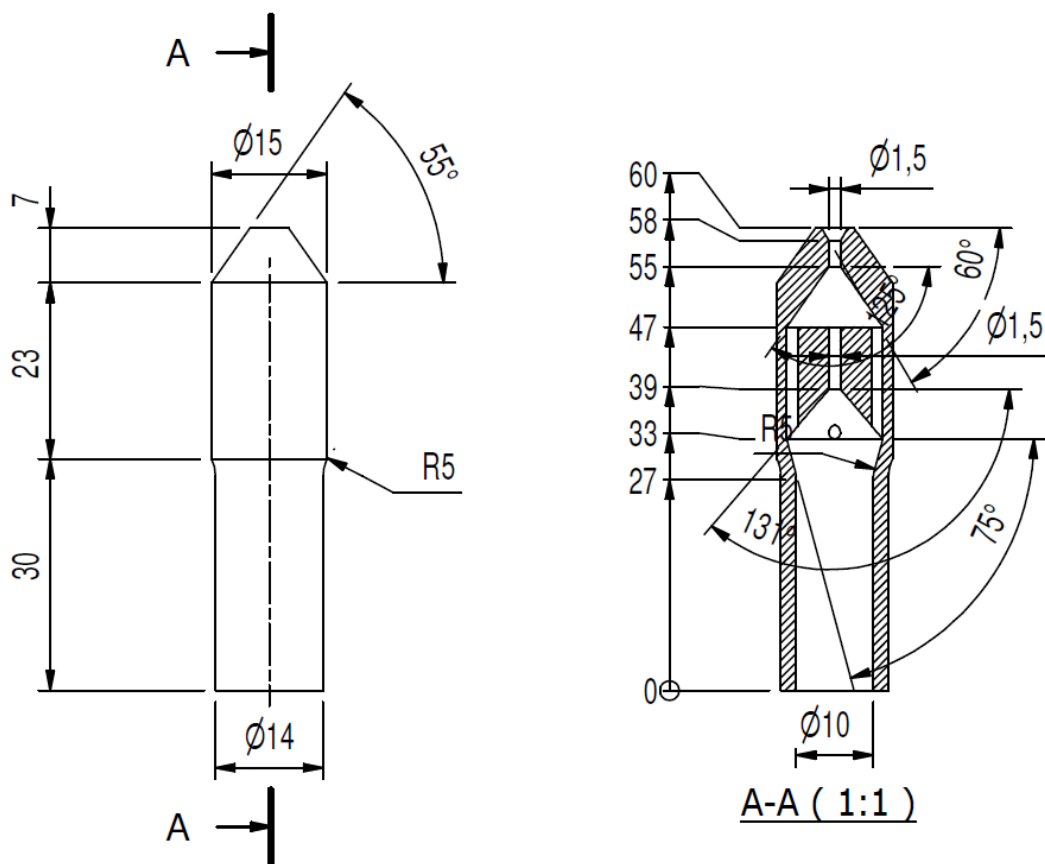
Ensimmäisten suunnitelmien jälkeen päädyttiin muuttamaan suuttimen mittoja ja muotoja niin, että 3D-tulostuksen rajoitteet eivät ylittyisi. Kappaleen tulostus asennosta myös keskusteltiin ja kuinka se myös vaikuttaa kappaleen muotoihin.



Kuva 12. Rytkösen huomioimia ongelmia (punaisella viivalla) suuttimen sisäisessä rakenteessa ja ulkoisessa rakenteessa (keltaisella).

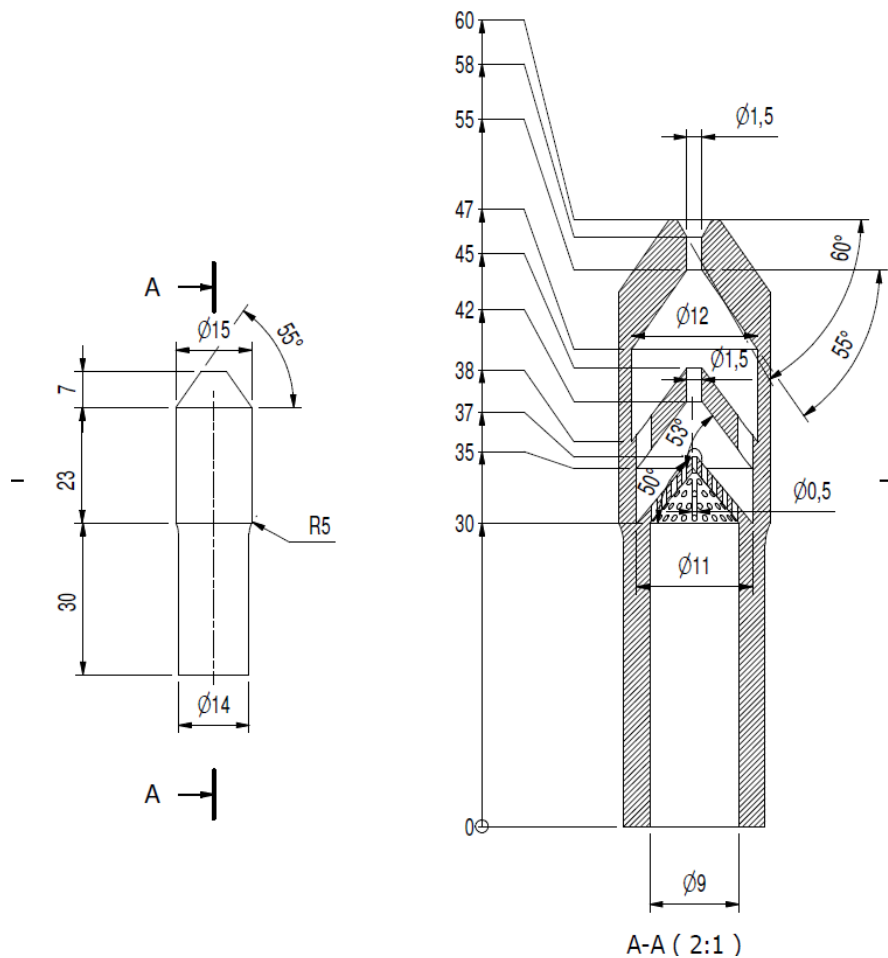
## 8.2 Suuttimen suunnittelun toinen vaihe

Etteplanin Heiskaselta ja Rytököseltä saatujen ohjeiden mukaan jatkettiin suuttimen suunnittelua. Pyrittiin poistamaan tasot, joiden tulostaminen ei onnistuisi ja terävät kulmat suunniteltiin jouheimmiksi. Pyrittiin myös tarkistamaan tulostus alustaa kohti olevien kulmien terävyyttä, jotta niiden tulostaminen onnistuisi. Sihtirakenteen onnistumiseksi mallinnettiin sihti kartion muotoiseksi tulostuksen mahdollistumiseksi.



Kuva 13. Suuttimen 1. mitat.





Kuva 14. Suutin 2. mitat (Silvendoin R., 2021).

Mallinnuksen valmistuttua suutimille pidettiin uusi konsultointipalverin Teamsin välityksellä Heiskasen ja Rytkösen kanssa. Todettiin suutimen näyttävän tulostettavalta ja tultiin tulokseen että sihtirakenne voisi tuoda suihkuun haluttua veden pirstomista.

Saatiin myös idea, että suutin voitaisiin tulostaa ensiksi muovista, jolloin ensimmäisen protosuuttimen tulostaminen ei olisi kallista. Lopullisen suuttimen tulee kestää koviakin lämpötiloja, mutta veden suihkumisominaisuudet voidaan testata rakennetussa suutinpukissa ja nähdä sitä kautta suihkun muoto ja saatu vesituotto.

## 9 SUUTTIMEN 1. PROTO

### 9.1 Valmistajan selvittäminen

Suuttimen valmistajaksi haluttiin löytää valmistaja, jolta onnistuisi niin metalli kuin muovi 3D-tulostus. Lähetettiin tarjouspyynnöt Maker3D:lle, 3D Tech Oy:lle, 3D Formtech Oy:lle ja Ajatec Prototyping Oy:lle, tarjouspyynnön liitteenä lähetettiin suuttimien step-mallit. Vastauksissa toimittajat epäilivät tulostuksen onnistumista reikien pienuuden takia ja koska sisällä olevaa rakennetta ei pääse puhdistamaan.

Tarjousten perusteella valittiin toimittajaksi Ajatec Prototyping Oy, lisäksi valintaan vaikutti myös puhelinkeskustelut yrityksen toimitusjohtaja Dan Björklöfin kanssa. Yrityksellä on mahdollisuudet tulostaa suutinkomponentit niin muovisina kuin metallisina.

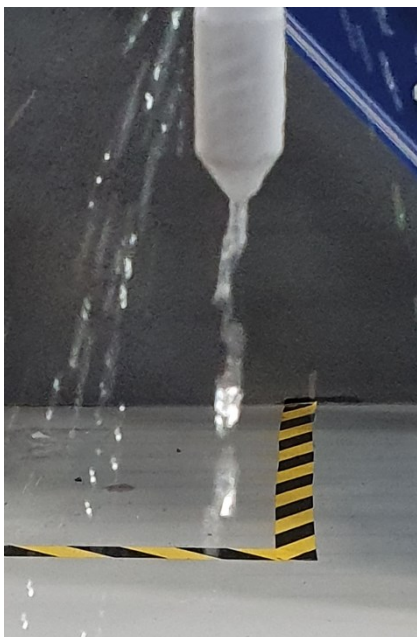
## 9.2 PA12 Suuttimet



Kuva 15. PA12 muovista tulostetut suuttimet (kuvannut Robert Silvendoin).

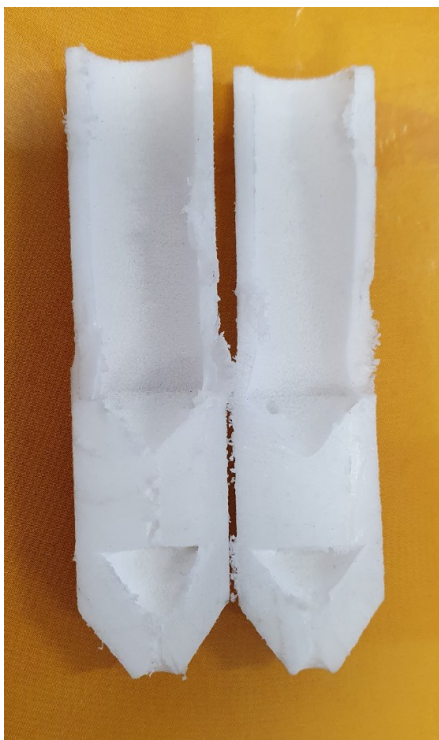
Suuttimet tulostettiin polyamidi 12 muovista, jota pidetään 3D-tulostuksen standardimateriaalina. SLS-tulostusmentelmällä pystytään todentamaan miten mahdollinen metallitulostus onnistuisi lopullisesti.

Testattiin suuttimen 1 ja 2 malleja testipukissa 4 barin vedenpaineessa. Suuttimesta 1 vesi tuli pienenä norona, kun taas suuttimesta 2 vettä ei tullut läpi lainkaan. Vesimäärä mitä suuttimesta 1 tuli läpi oli 2,25 dl/min. Vesimäärä on suurempi mitä saatiin muokatuista Danfossin suuttimista, mutta koska suuttimessa 1. ei ole sihtirakennetta niin haluttua suihkun muotoa ei saavutettu.



Kuva 16. Suutin 1 testi (kuvannut Robert Silvendoin).

Jotta saataisiin selville, miten suuttimien tulostus oli onnistunut, halkaistiin suuttimet. Reikien tulostus oli epäonnistunut eli ne oli suunniteltu liian pieniksi eikä niiden puhdistus ja työstäminen jälkeinpäin onnistunut rakenteen vuoksi. 1,5 mm suurien reikien tulostus oli epätasaista ja suutin 2:ssa olevan sihtirakenteen 0,5 mm reiät eivät olleet onnistuneet. Johtopäätöksenä oli että reikien kokoa on suurennettava, jotta ne saadaan onnistumaan. Suuttimen sisällä olevat kartiomuodot olivat jouheat, joten niiden suunnittelu ja tulostus olivat onnistuneet halutusti.



Kuva 17. Suutin 1 halkaistuna (kuvannut Robert Silvendoin).



Kuva 18. Suutin 2 halkaistuna (kuvannut Robert Silvendoin).

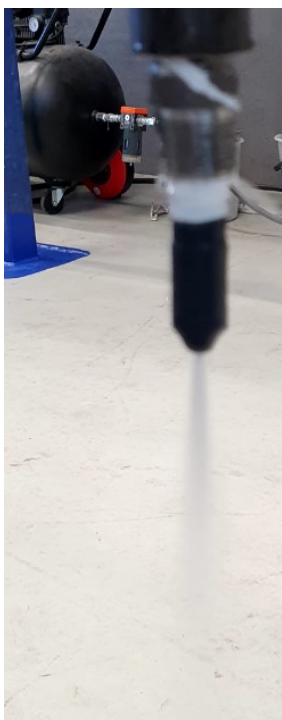
### 9.3 Stereolitografia Suutin

Ajatec tulosti suuttimen 2. myös stereolitografia metodilla. Tällä 3D-tulostusmetodilla pystytään tulostamaan erittäin tarkkoja yksityiskohtia, komponenttien lämmönkestävyys on 90°C astetta. Tulostuspedille kaadetaan nestemäistä materiaalia ja UV-lasersäde kovettaa pintaa niistä kohdin johon komponentti muodostuu. Prosessi toistetaan useita kertoja komponentin valmistamiseksi. Koska tulostusaine on nestemäistä pulverin sijaan, pystytään tällä tulostusmetodilla erittäin tarkkoihin yksityiskohtiin ja hyvään pinnan viimeistelyyn. (Protolabs www-sivut.)



Kuva 19. Suutin 2 tulostettuna stereolitografisesti (kuvannut Robert Silvendoin).

Testattiin myös näitä suuttimia testipukissa ja suihku oli kartion muotoinen ja sumumainen. Epäilykset, että sihtirakenteella saisi suihkuun sumumaisuutta osoittautui todeksi, vesimäärä suuttimesta oli 31 dl/min 4 barilla oli ilahduttava tulos. Tulosten perusteella pystyttiin jatkamaan suunnittelua ja pyrkimistä lopputulokseen, joka onnistuisi myös metallilla.



Kuva 20. Suutin 2 testi (kuvannut Robert Silvendoin).

Halkaistiin suutin, jotta nähtäisiin millainen stereolitografisesti 3D-tulostetun komponentin rakenne on ja se vastasi täysin suunniteltua mallia. Metallia ei pysty kuitenkaan tulostamaan tällä metodilla ja 90°C astetta ei ole riittävä lämpötila vaan lopullisessa kohteessa lämpötilat ovat paljon suuremmat.



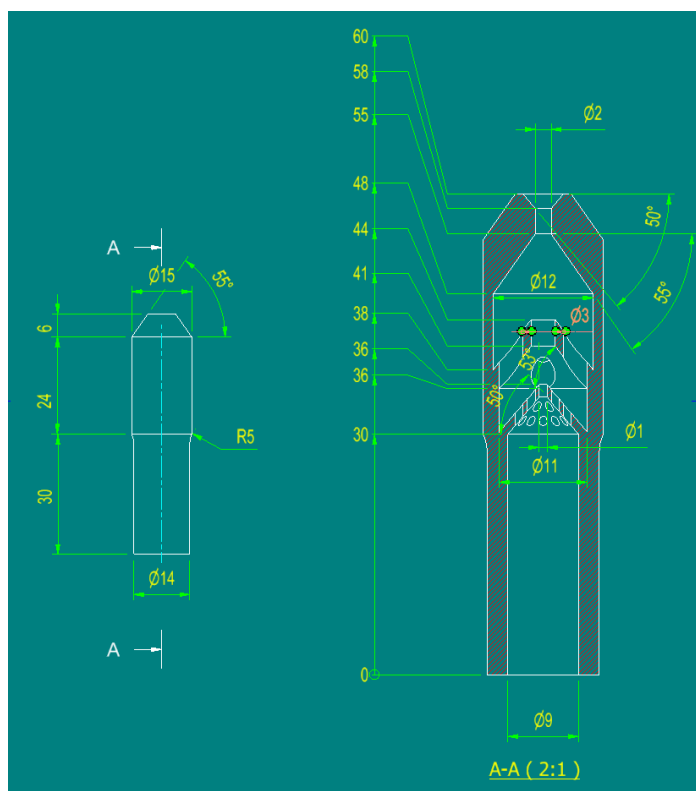
Kuva 21. Suutin 2 halkaistuna (kuvannut Robert Silvendoin).

## 10 SUUTTIMEN 2. PROTO

### 10.1 Proto 2. suunnittelu

Ensimmäisten protojen perusteella jatkettiin suuttimien suunnittelua. Koska suuttimen rakenne on sellainen, että sisäisiä rakenteita ei voi muokata tulostuksen jälkeen on sisällä olevia reikiä suurennettava, jotta vesi tulisi paremmin ulos suuttimesta ja muotojen tulostaminen onnistuneesti olisi mahdollista. Stereolitografinen suutin todisti, että sihtirakenteella saadaan vesisuihkusta sumumaista mikä on tavoitteena. Nyt olisi selvitettävä miten se olisi tulostettavissa jauhepelletti menetelmällä.

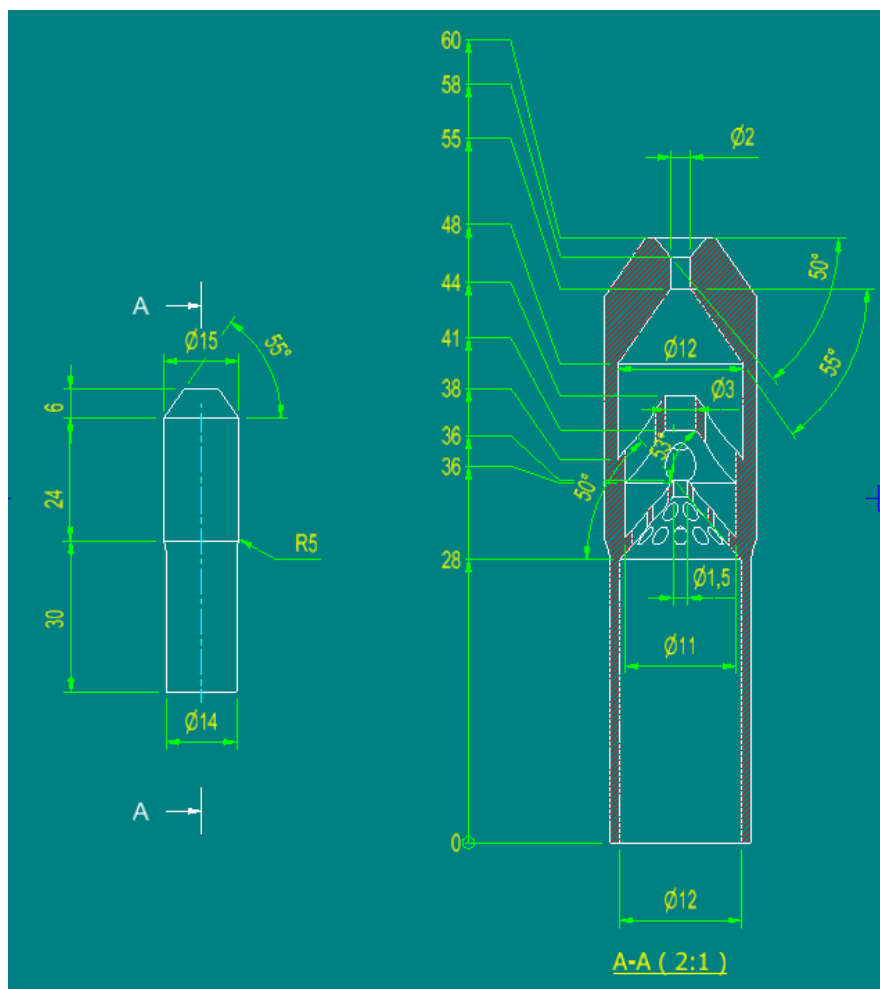
### 10.2 Suutin 1.



Kuva 22. Suuttimen 1. rakenne.

Suutin 1. suurennettiin sihtirakenteen reikiä 1 mm kokoisiksi ja suuttimen keskellä olevia reikiä 3mm kokoisiksi. Suuttimen ulostulo reikää suurennettiin 2 mm kokoiseksi. Reikien kokoa muokkaamalla pyrittiin löytämään ratkaisu tulostuksen onnistumiseen ja selvittää 3D tulostuksen käytännön ominaisuuksia.

## 10.3 Suutin 2.



Kuva 23. Suuttimen 2. rakenne.

Suutin 2. suurennettiin sihttirakenteen reikiä 1,5 mm kokoisiksi ja keskellä olevat reiät ja suuttimen ulostulo reiät ovat saman kokoisia kuin suuttimessa 1. Veden sisääntulo reikä suurennettiin 12 mm kokoiseksi, jotta vesisuihku ennen suutinrakennetta tulee jouhevammin.



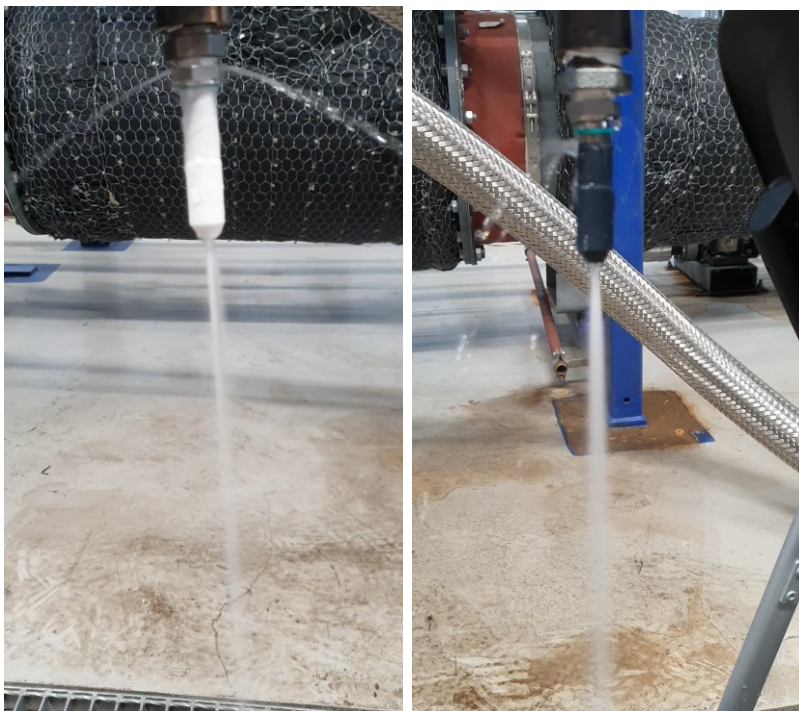
## 10.4 Suutin 1. tulostettuna



Kuva 24. Suutin 1 testi (kuvannut Robert Silvendoin).

Suutinta 1. testatessa tuli selville etteivät sihtirakenteen 1 mm reikien tulostus ollut tälläkään kertaa onnistuneet, koska ulos tuleva vesimäärä oli pieni. SLS-suuttimesta tuleva vesimäärä oli 7 dl/min, kun taas Stereolitografia suuttimesta vesimäärä oli 4,5 dl/min neljän barin vesipaineella. Suuttimien halkaisu paljasti, että sihtireiät olivat edelleen liian pienet pellettitulostukselle.

## 10.5 Suutin 2. tulostettuna



Kuva 25. Suutin 2 testi (kuvannut Robert Silvendoin).

Suutin 2. testissä molemmista suuttimista tuli vettä silmämääräisesti samalla tavalla. SLS-suuttimen vesimäärä oli 4,5l/min ja Stereolitografisen suuttimen vesimäärä 5 l/min eli lähes samat määrät. Suihkun muoto ei ollut aivan toivottu, mutta kuitenkin keilamainen.

Halkaisemalla SLS-suutin saatiin selville, että sihtirakenteen reiät olivat onnistuneet. Kokeilun perusteella saatiin nyt selville että tässä suuttimen mallissa 1,5 mm reikien tulostaminen olisi mahdollista.

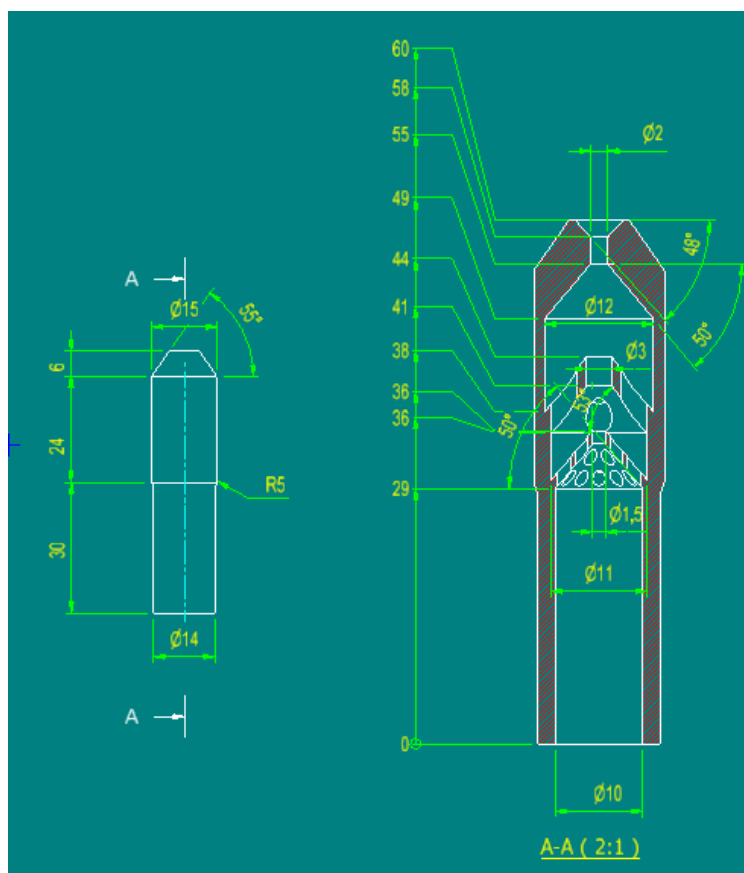


Kuva 26. Suutin 2 halkaistuna (kuvannut Robert Silvendoin).

## 11 LOPULLINEN SUUTIN

### 11.1 Lopullisen suuttimen suunnittelu

Lopullisen suuttimen suunnitteluun otettiin lähtökohdaksi Protovaiheen suutin 2., jonka sihtirakenteen tulostus onnistui ja se onnistuu todennäköisesti myös metallitulostuksella. Suuttimen kärjen kartiokulmaa muokattiin jotta suihkun kartio suurenisi ja vesi leviäisi isommalle alueelle. Suuttimen alkupäässä olevan rakenteen aineen vahvuutta lisättiin, jotta kierteen koneistaminen suuttimeen onnistuisi.



Kuva 27. Lopullisen suuttimen mitat

## 11.2 Lopullinen suutin tulostettuna

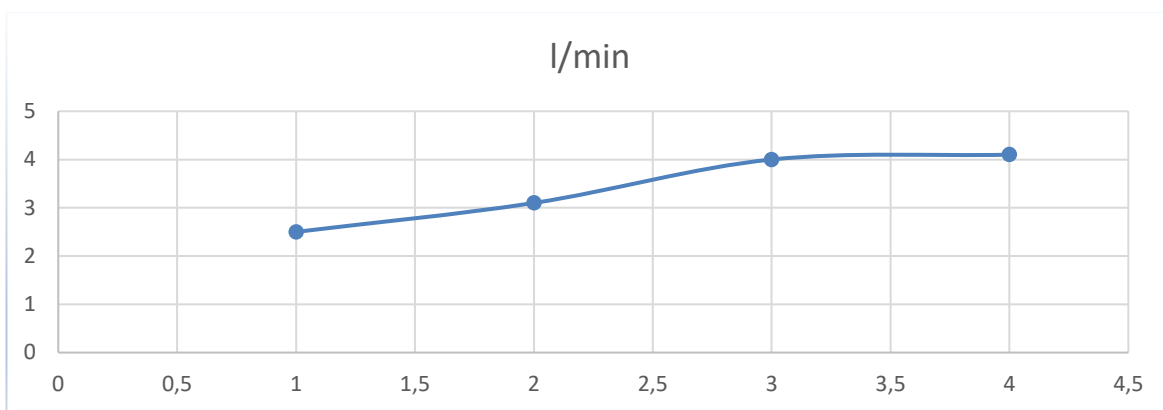


Kuva 28. Metallitulostetut suuttimet (kuvannut Robert Silvendoin).

Ajatec toimitti ruostumattomasta teräksestä 316L tulostetut suuttimet, suuttimien hinta oli noin 180€/kpl. Muovitulosteen hinta oli noin 13€ eli metallitulosteen hinta on yli kymmenen kertainen. Mikäli tulostettavasta komponentista tulisi yleisesti käytettävä osa mitä käytettäisiin eri projekteissa niin todennäköisesti komponentin kappale hinta laskisi ja toimittajan kanssa voitaisiin päästä edullisempaan toimitukseen. Prototyypin hinnasta ei voi vielä suoraa päätellä komponentin hintaa. Etteplanin kehittämään 3D-tulostetun komponentin laskenta sovellusta (<https://amotools.com>) käyttämällä saatiin yhden komponentin hinnaksi noin 80€ kun kappalemäärää yhdellä tulostuskerralla kasvatetaan 20 kappaleeseen. AMOTools ohjelmaan syötetään kappaleen mitat, käytettävä materiaali, tulostustapa ja pyritään arvioimaan tarvittava tukimateriaalin määrä. Ohjelma on käytännöllinen työkalu arvioidessa onko komponenttia kannattavaa tulostaa verrattuna mahdollisesti muihin työmetodeihin verrattuna.



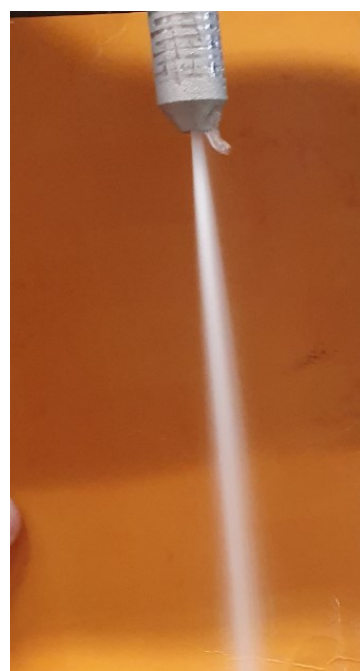
Testissä vesisuihku tuli ulos suuttimesta hyvin. Kaaviosta 1. nähdään veden paineen vaikutus vesimäärään. Paineen kasvaessa ulos tulevan veden määrä lisääntyy 3 bariin saakka kunnes vesi alkaa pirstaloitumaan suuttimessa ja leviämään suuremmalle alueelle eikä kaikki vesi keräänny suuttimen alla olevaan 10L ämpäriin. Veden paineen ollessa pienempi vesi tulee suuttimesta ulos pienempänä ja kapeana suihkuna. Paineen noustessa vesi törmää voimalla suuttimen sisällä olevaan sihtirakenteeseen ja pisarat alkavat todennäköisesti sinkoilemaan suuttimen sisällä ja tulevat suuttimesta ulos leviämällä isolle alueelle. Testiympäristössä ei ollut mahdollisuuksia suurempaan vedenpaineeseen kuin 4 baria. Todennäköisesti pisarat pienenisivät ja sinkoutuisivat suuremmalle alueella paineen kasvaessa.



Kaavio 1: Suutin testin tulokset



Kuva 29. Suutinsuihku 1 bar (kuvannut Robert Silvendoin).



Kuva 30. Suutinsuihku 4 bar (kuvannut Robert Silvendoin).

Halkaistu suutin näytti, että tulostus oli hyvin onnistunut, ainoastaan pieniä jäysteitä näkyy veden sisääntulo rakenteessa. Reiät ovat onnistuneet ja kartiorakenteneet sulavia. Valmistaja tekee komponenteille raekuulapuhalluksen jotta reiät ja muut muodot tulevat puhdistetuksi. Sihtirakenteen reikien koko on 1,5 mm. Valmistaja ilmoittaa, että metallitulostuksessa voidaan päästä noin 1 mm halkaisijaan. Nyt haluttiin kuitenkin onnistua kerralla ja siksi reikien kooksi valittiin varmasti onnistuva vaihtoehto. Tuotekehitys mielessä reikien kokoa voitaisiin pienentää suihkun muodostuksen muuttamiseksi edelleen paremmaksi.



Kuva 31. Metallisuutin halkaistuna (kuvannut Robert Silvendoin).

## 12 YHTEENVETO

Lopputyö projekti venyi Covid-19 epidemian ja omien työ sekä muiden kiireiden vuoksi pitkäksi, mutta Training Centren käyttöönotto siinä muodossa, jotta suutinta olisi mahdollista testata ei ole kuitenkaan vielä ajankohtainen. Projektin loppuvaiheessa heräsi kuitenkin epäily, että Test Centren Dearaattorin mittakaava on mahdollisesti liian pieni suuttimen ominaisuuksille. Komponentteja ja kokonaisuuksia supistettaessa mittakaavaan voidaan välillä törmätä siihen, ettei kaikki ominaisuuksia ja rakenteita voida saada onnistumaan pienoismallissa. Suuttimien sihtirakenteessa jouduttiin kompromissirakenteeseen, jotta vesi saatiin tulemaan ulos.

Projektin tavoitteena oli saada tulostettua 3D-tulostettu komponentti metallista ja tässä onnistuttiin. Tulevaisuudessa päästään kokeilemaan voidaanko kyseistä komponenttia käyttää Training Centressä, mutta suutin on itse suunniteltu ja tulostettu valmiiksi käyttöön. Projektin myötä sain tietoa ja koulutusta 3D-tulostuksesta. Tämän lisäksi Etteplanin Oy:n Heiskanen ja Rytönen pitivät myös koulutuksen Teamsin välityksellä aiheesta kiinnostuneille Alfa Lavalin henkilöille. Projektin myötä tuli myös todistettua, että 3D-metallitulostus on myös varteen otettava valmistusmetodi yritykselle. Tulevaisuudessa on pohdittava missä kohteissa olisi mahdollista käyttää uutta valmistusmetodia ja siirtää projektin opetukset seuraavalle tasolle.

Mahdollisissa tulevissa projekteissa on myös syytä ottaa CFD-laskemista mukaan osana suunnittelua. Tässä projektissa mittakaavan ollessa pieni tyydyttiin vaan arvioimaan ja testaamaan suuttimen rakennetta ja tuloksia. Oikeassa mittakaavassa olisi kiinnostava tarkastella laskelmien ja toteuksen yhteneväisyyttä. Laskelmien kautta voitaisiin optimoida mahdollisen suuttimen ominaisuuksia ja tarkastella myös tulostuksen ominaisuuksia.

Projektin myötä sain aiheen opinnäytetyölle ja sitä kautta opiskeluni päätökseen. Alunperin lähdin opiskelemaan, jotta sitä kautta löytäisin uusia haasteita ja uuden työpaikan itselleni työskenneltyäni silloin Pöyry Oy:llä yli kymmenen vuotta. Onnistuin kuitenkin vaihtamaan työpaikkaa ennen valmistumista ja oli kaikkein järkevintä tehdä opinnäytetyö uudelle työpaikalleni Alfa Laval Oy:lle. Opinnäytetyön

aihe oli mielenkiintoinen ja suuttimen kehittäminen vaati tietojen etsimisen sekä koulutusten lisäksi käytännön testejä joiden perusteella suunnittelin suuttimen. Opinnäytetyön kautta sain tietoa 3D-metallitulostuksesta ja toivon pystyväni käyttämään näitä tietoja tulevaisuudessa mahdollisesti työssäni.



## LÄHTEET

3Dtech www-sivut 2021. Viitattu 26.8.2021 <https://www.3dtech.fi/3d-ratkaisut/3d-tulostus-eli-ainetta-lisaava-valmistusmenetelma/>

3D Natives www-sivut 2021. Viitattu 26.8.2021  
<https://www.3dnatives.com/en/electron-beam-melting100420174/>

Ajatec Prototyping Oy. Viitattu 26.8.2021  
[https://ajatec.fi/?gclid=CjwKCAjw95yJBhAgEiwAmRrutLai6Dxup-2wBpF5qBYBSfn3y2eRLlulkaIZCM3CEbCuvSoOKny9SRoCfLYQAvD\\_BwE](https://ajatec.fi/?gclid=CjwKCAjw95yJBhAgEiwAmRrutLai6Dxup-2wBpF5qBYBSfn3y2eRLlulkaIZCM3CEbCuvSoOKny9SRoCfLYQAvD_BwE)

Alfa Laval Aalborg Oy. 2020. Alfa Laval Suomessa. Viitattu 20.8.2020  
<https://www.alfalaval.fi/tietoa-alfa-lavalista/our-company/alfa-laval-suomessa/alfa-laval-aalborg-oy-rauma/>

Danfoss www-sivut 2021. Viitattu 26.8.2021. <https://www.danfoss.com/fi-fi/products/burner-components/dhs/oil-nozzles/>

Etteplanin www-sivut 2021. Viitattu 25.8.2021. <https://www.etteplan.com/fi/tietoa-meista/etteplanin-historiaeplan>

Etteplanin www-sivut 2021. Viitattu 25.8.2021. <https://www.etteplan.com/fi/etteplan-lyhyesti>

Harrison M. 2018. Introducing Gyroid Infill Viitattu 21.6.2021.  
<https://mattshub.com/blogs/blog/gyroid-infill>

Mikkilä J. 3D metal printing / Abstract for Diploma work

Protolabs www-sivut. Viitattu 21.6.2021 <https://www.protolabs.fi/palvelut/3d-tulostus/stereolitogra>

Redwood, B., Schöffler, F., Garret, B., 2018. The 3D Printing Handbook: Technologies, design and applications. Amsterdam: 3D Hubs B.V.

Etteplan Teams-koulutus 8.3.2021 Kouluttajat: Heiskanen A. & Rykönen I. (Ei saatavana materiaali)

Designing for AM – Etteplan Teams-koulutus 12.3.2021. Kouluttajat: Heiskanen A. & Rykönen I. (Ei saatavana materiaali)

AM suunnittelun konsultointi – Etteplan Teams-palaveri 25.3.2021. Konsultoijat: Rykönen I & Heiskanen A.