



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

LASSI LÄHDESMÄKI

3D-tulostuksen mahdollisuudet pot- kurilaitetuotannossa

TUOTANTOTALOUDEN JA -TEKNIIKAN
KOULUTUSOHJELMA

2023

Tekijä Lähdesmäki, Lassi	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Maaliskuu 2023
	Sivumäärä 35	Julkaisun kieli suomi
Julkaisun nimi 3D-tulostuksen tuomat mahdollisuudet potkurilaitetuotannossa		
Tutkinto-ohjelma Tuotantotalouden ja -tekniikan insinööri		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämä opinnäytetyö käsittelee 3D-tulostusta ja sen mahdollisuuksien tutkimista potkurilaitetuotannossa. Tavoitteena oli saada Kongsberg Maritime Oy:lle ensiaskeleet kohti 3D-tulostusta yhtenä mahdollisena tuotantomenetelmänä.</p> <p>Opinnäytetyö tehtiin kvalitatiivisella tutkimusmenetelmällä. Tutustuttiin moniin alan erikoisosaajiin ja tutkittiin lähes kaikkia mahdollisia eri tulostustekniikoita.</p> <p>3D-tulostus on tuotantomenetelmänä vielä melko harvinainen, mutta sillä on kuitenkin paljon hyötyjä. 3D-tulostukset isoimmat hyödyt tulevat esiin vaikeamuotoisissa kappaleissa ja sellaisissa kappaleissa, jotka ovat vaikeita ja/tai hidasta valmistaa ”perinteisten tuotantomenetelmien” kanssa.</p> <p>Työn teoreettisessa osuudessa tutustuttiin 3D-tulostukseen yleisesti ja sen lähtökohtiin. 3D-tulostuksen eri tekniikat sekä mahdollisuudet käytiin tekstissä läpi. Opinnäytetyössä myös eriteltiin tulostimia ja niiden sovelluksia sekä rajoituksia. Opittiin myös ymmärtämään topologian optimoinnin tärkeys ja sen tuomat mahdollisuudet 3D-tulostuksen myötä.</p> <p>Todettiin, että 3D-tulostus voisi olla potkurilaitetuotannossa hyvinkin hyödyllinen. Siihen, että se olisi yrityksellä osana tuotantoa, on kuitenkin vielä matkaa. Tämän opinnäytetyön jälkeen jatkotoimenpiteenä on BOM-listojen läpikäynti ja tästä jatkettaisiin SelectAM-ohjelmaan, jolla voidaan tutkia 3D-tulostuksen mahdollisuudet yksittäiselle osalle.</p>		
<p><u>Asiasanat</u></p> <p>3D-tulostus, 3D-tulostin, AM-tekniikka, additive manufacturing, tuotantomenetelmä, potkurilaitte, metallit, hiekkavalutulostus</p>		

Author Lähdesmäki, Lassi	Type of Publication Bachelor's thesis ThesisAMK	Date March 2023
	Number of pages 35	Language of publication: Finnish
Title of publication Additive manufacturing and its possibilities in thruster production		
Degree programme Industrial management and engineering		
Abstract This thesis deals with 3D-printing and the study of its possibilities in thruster production. The goal was to get Kongsberg Maritime Oy its first steps towards 3D-printing as one possible production method. The thesis was done using a qualitative research method. We got to know many specialists in the field and studied almost all possible different printing techniques. 3D printing is still quite rare as a production method, but it has many benefits. The biggest benefits of 3D printing come out in hard-to-shape pieces and pieces that are difficult and/or slow to produce with "traditional production methods". In the theoretical part of the thesis, 3D printing was introduced in general. The different techniques and possibilities of 3D printing were reviewed in the text. The thesis also detailed printers and their applications and limitations. We also learned to understand the importance of topology optimization and the opportunities it brings with 3D printing. It was concluded that 3D printing could be very useful in the production of thrusters. However, there is still a long way to go before the company has additive manufacturing as part of production. After this thesis, the next step is to go through the BOM-lists and then continue to the SelectAM program, which can be used to investigate the possibilities of 3D printing for individual parts.		
<u>Key words</u> 3D-printing, 3D-printer, AM-tehcnique, additive manufacturing, production method, thruster, metals, sand casting		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	4
1.1	Tutkimusmenetelmä ja toteutustapa	4
1.2	Toimeksiantaja.....	5
1.3	Aiheen rajaus	6
2	3D-TULOSTUSTEKNIikka	7
2.1	Lyhenteet.....	7
2.2	Hiekkavalutulostus.....	9
3	3D-TULOSTUS	11
3.1	3D-tulostuksen historia	12
3.2	Tulostusprosessi	12
3.3	Metallitulostus.....	13
3.4	Digitaalinen varastointi.....	14
3.5	Sopivan AM-prosessin valinta.....	14
4	3D-TULOSTUKSEN TUOMAT MAHDOLLISUUDET	15
4.1	Monimutkaiset geometriat	16
5	TULOSTIMET	19
5.1	Henkilökohtaiset tulostimet	19
5.2	Ammattikäytön tulostimet	20
5.3	Tuotannon tulostimet	21
5.4	Teolliset tulostimet.....	23
6	HINNOITTELUN PERUSTEET	25
7	TOIMITTAJAKARTOITUS.....	26
8	RAJAEHDOT SUUNNITTELUN NÄKÖKULMASTA	28
9	MATERIAALITEKNIikka	30
9.1	Murto- ja myötölujuuksien vertailu	30
9.2	Luokitukset	30
10	YHTEENVETO	31
	LÄHTEET	33
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia 3D-tulostuksen tuomia mahdollisuuksia potkurilaitetuotannossa. 3D-tulostus on viime vuosikymmenten aikana yleistynyt yhä enemmän teollisuudessa ja se herättää yleensä paljon mielenkiintoa. 3D-tulostuksessa yleisin käytetty materiaali on muovi. Tässä tapauksessa kuitenkin materiaali on oltava metalli, sillä kyse on laivojen potkurilaitteiden osista. 3D-tulostuksen tuomat mahdollisuudet ovat lähes rajattomat. 3D-tulostuksen ehdottomasti isoimmat edut ovat suhteellisen nopea läpimenoaika sekä esimerkiksi vaikean muotoisten kappaleiden valmistus vaivattomasti.

Työssä käydään läpi 3D-tulostustekniikan vaatimuksia ja teoriaa. Lähdetään selvittämään millaisia potkurilaitteiden osia olisi järkevä 3D-tulostaa. Vertaillaan tuotantojen läpimenoaikoja, hintaa ja lujuus teknisiä vaatimuksia. Tehdään toimittajakartoitus. Millaisia valmiuksia jo nykyisillä toimittajilla olisi 3D-tulostukseen ja/tai etsitään uusia toimittajia, joilla valmius 3D-tulostukseen. Tutkitaan myös materiaaliluokituksia, täyttävätkö ne osille määrätyt ehdot ja luokitukset.

1.1 Tutkimusmenetelmä ja toteutustapa

Opinnäytetyössä lähdetään tutkimaan 3D-tulostuksen tuomia mahdollisuuksia potkurilaitetuotannolle. Opinnäytetyö on yritykselle uuden tuotantomenetelmän tutkimista ja se tehdään tapaustutkimusotteella. Lisäksi selvitetään, onko 3D-tulostus parempi vaihtoehto kuin nykyiset tuotantomenetelmät. Tutkimusmenetelmänä toimii kvalitatiivinen tutkimus. Tutkittaisiin ja tutustuttaisiin ensin 3D-tulostukseen vielä syvemmin. Sen jälkeen alettaisiin vertailla nykyistä tuotantomenetelmää 3D-tulostukseen. Tämän jälkeen tutkittaisiin millaisia valmiuksia nykyisillä toimittajilla olisi ja/tai etsittäisiin uusia toimittajia. 3D-tulostus olisi tuotantomenetelmänä yritykselle aivan uusi asia. Projektille asetettu tutkimuskysymys on: Mitä 3D-tulostuksella pystytään tuottamaan?

Toteutus tulee sisältämään 3D-tulostuksen teoriaa ja sen mahdollisuuksien tutkimista. Materiaalit ja niiden vaatimukset ja luokitukset tullaan selvittämään. Näiden pohjalta aletaan vertailemaan tuotantomenetelmien vahvuuksia ja heikkouksia.

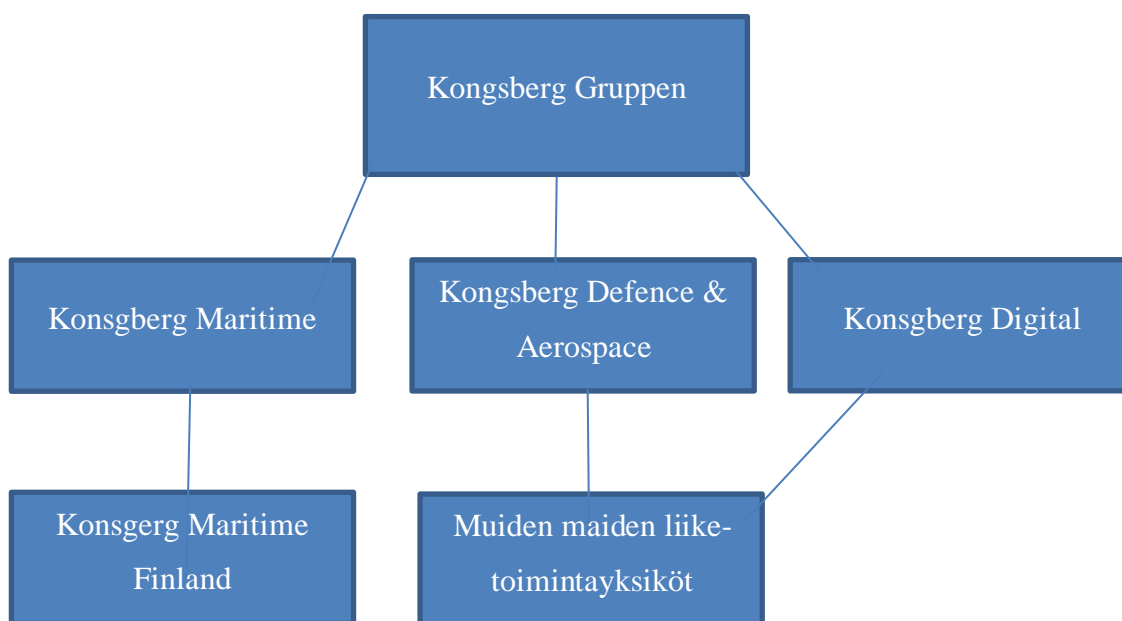
1.2 Toimeksiantaja

Työn toimeksiantajana toimii Kongsberg Maritime Finland Oy. Kongsberg on maailmanlaajuinen teknologiakonserni, joka toimittaa äärimmäisen suorituskyvyn kannalta kriittisiä ratkaisuja asiakkaille, jotka toimivat erittäin haastavissa olosuhteissa. Kongsberg on täyttänyt asiakkaittensa tarpeet jo 200 vuoden ajan. Kongsberg Maritime Finland Oy on Kongsberg Oy:n alajaos. Yhtiö toimii 34 eri maassa, joissa on yhteensä 117 toimistoa. (Kongsberg, 2022.)

Rauman toimipisteen tuotantoon kuuluu atsimuuttipotkurilaitteiden ja kansikoneiden valmistus. Liikevaihto vuonna 2021 oli 219,5 miljoonaa euroa. (Finder-nettisivut, 2022). Työntekijöitä Raumalla on noin 500. Potkurilaitteiden valmistus tapahtuu suunnittelusta aina lopputuotteeseen asti Raumalla. Omaa valmistusta yrityksellä ei ole, vaan komponenttien ja teräsrakenteiden hankinta tapahtuu täysin hyväksi havaittujen alihankkijoiden välityksellä. Rauman potkurilaitetuotannossa tehdään pääsääntöisesti vain potkurilaitteiden kokoonpanotöitä. (Kongsberg, 2022.)

Kongsberg on kansainvälinen suunnannäyttäjä potkurilaitetuotannossa. Potkurilaitteissa propelli kääntyy 360 astetta pysty akselin ympäri, jotta yksikkö tarjoaa työntövoimaohjausta ja paikannustyöntövoimaa ja asemointityöntövoimaa, jotka takaavat erinomaisen ohjattavuuden. Suunnitelmat on kehitetty työntövoiman ja dynaamisten paikannusten pohjalta, jotka on suunniteltu markkinoiden tarpeisiin nähden. Tuloksena on suunnitelmat ja toteutusvalmius lähes jokaiselle tarpeelle. Yksinkertainen ja vankka rakentaminen tarjoaa korkeaa toimintakuntoista luotettavuutta sekä helppoa huoltoa läpi koko potkurilaitteen elinkaaren. Täten päästään alhaisiin elinkaarikustannuksiin. Yksiköt voidaan toimittaa sekä diesel -että sähkökäyttöisenä ja toimitetaan kauko-ohjainjärjestelmän kanssa. (The Full Picture, Kongsberg Maritime, 2020.)

Kaavio 1. Kongsberg korsernin alajaokset



1.3 Aiheen rajaus

Aihe rajataan yhteen tai kahteen potkurilaitteen osaan, joiden mahdollisuuksia 3D-tulostuksessa aletaan tutkimaan. Tutustutaan eri tulostustekniikoihin ja materiaaleihin sekä materiaalivaatimuksiin. Tehdään toimittajakartoitus. Ei syvennyttä liiketoiminta-analytiikkaan tarkemmin, vaan selvitetään vain asiat, jotka ovat olennaisia opinnäytetyölle. Millaisia etuja 3D-tulostuksella voisi olla. Tutkitaan hintoja ja toimitusaikoja. Osat, jotka työhön tullaan valitsemaan, ovat sellaisia, joissa läpimenoaika on pitkä tai niitä on muuten vaikea saada nopealla aikataululla. Tässä juuri 3D-tulostus voisi olla hyödyllinen, nopea läpimenoaika sekä vaikean muotoiset osat voitaisiin tulostaa vattomammin. Tässä työssä vaadittava materiaali 3D-tulostukselle on metalli, sillä osat joita tulostetaan kuuluvat laivojen potkurilaitteisiin.

Ydinkysymys työssä on ehdottomasti 3D-tulostuksen tuomat mahdollisuudet.

Tutkitaan erityisesti lujuusteknisiä ominaisuuksia ja rajoitteita. Ei syvennyttä tekniikkaan liikaa. Työssä ei tarvitse tietää tarkalleen, miten tulostin toimii, vaan mitä sillä pystytään tuottamaan. Kustannustehokkuutta aletaan tutkimaan verrattuna nykyisiin tuotantomenetelmiin. Paljonko 3D-tulostettu kappale maksaa per kilo sekä, mikä etu

3D-tulostuksella. Selvitetään miten toimitusajat eroavat toisistaan. Tehdään arviointimatriisi, nykyinen tuotantomenetelmä verraten 3D-tulostukseen, tähän liitetään mukaan hinnoittelu. Käydään lisäksi läpi valmistusehdot suunnittelun näkökulmasta: materiaaliluokitukset, luokitetut ja luokittamattomat.



Kuva 1. Kongberg Oy US type AZIMUTHING THRUSTER potkurilaite. (Kongberg, 2022)

2 3D-TULOSTUSTEKNIikka

2.1 Lyhenteet

AM = Additive Manufacturing. Materiaalia lisäävä valmistus.

SLM = Selective Laser Melting. Sulatetaan materiaalia kerros kerrokselta.

EBM = Electron Beam Melting. Muuten sama kuin SLM, mutta sulattaminen tapahtuu laserin sijasta elektronisuihkulla.

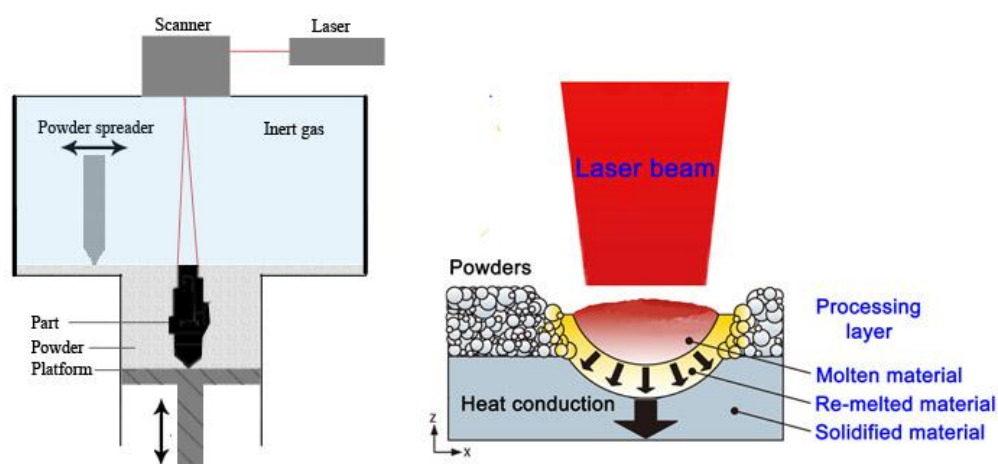
WAAM = Wire and Arc Additive Manufacturing. Robottihitsaus, erittäin hyvä isoille kappaleille.

LMD = Laser Metal Deposition. Robottihitsaus.

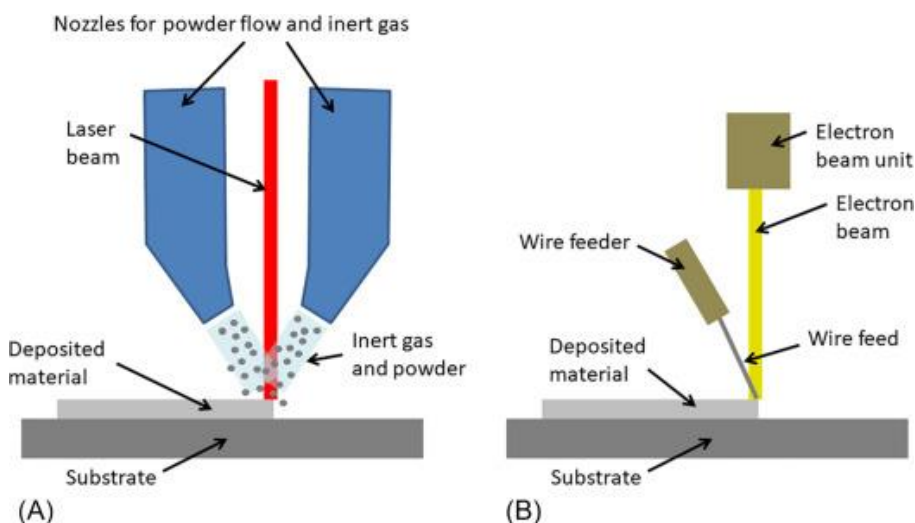
DED = Direct Energy Deposition. Eroaa PBF-teknikasta siten, että kappaleet ovat yleensä isomman kokoisia ja vaativat korkeampaa energiatiheyttä.

PBF = Powder Bed Fusion, Jauhepetiteknikka. SLM ja EBM kuuluvat jauhepetiteknikkaan.

(Formnext, 2022;3Dformtech,2022;Gebhardt, 2019.)



Kuva 2. SLM-tekniiikan prosessikuvaus. (Materflow, SLM Selective Laser Melting, 2022)



Kuva 3. PBF- ja DED-tekniiikat vertailussa. (ScienceDirect, Directed Energy Deposition, 2015)

2.2 Hiekkavalutulosus

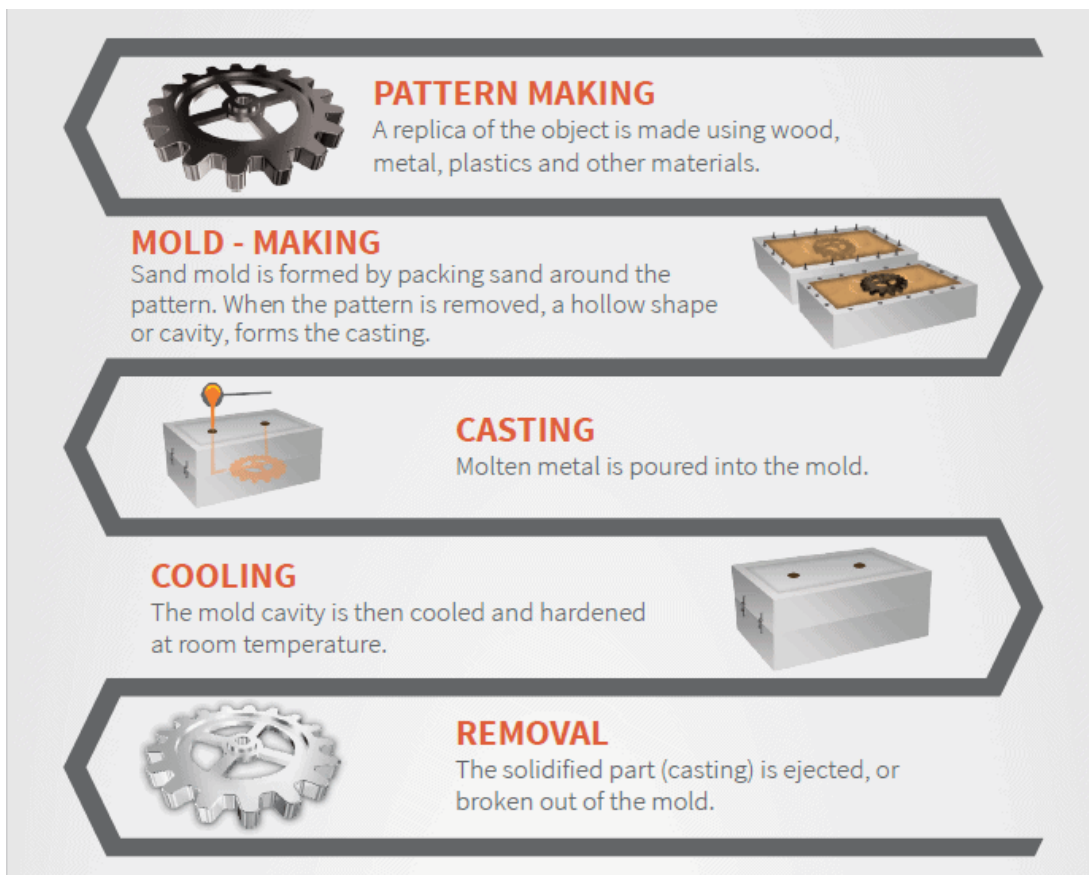
Hiekkavalutulosus on käytännössä ihan perinteinen valuprosessi, jossa vain muotti on 3D-tulostettu hiekasta. Hiekkavalutulosusprosessi on seuraavanlainen:

Päällystyskone levittää ohuita kerroksia hiekkaa rakennusalustalle, jotka 3D-tulostuspää sitoo valikoivasti. Näitä prosesseja toistetaan, kunnes muotti on rakennettu ja valmis. Käytännössä yhdessä työlaatikossa valmistetaan yleensä useita tuotteita rakennustilan parhaan mahdollisen hyödyn saamiseksi. (Voxeljet, 2022.)

Valuteollisuus on mullistuksen tilassa. Kyky tuottaa yhä monimutkaisempia muotoja ja ailahtelevia määriä samalla toimitusaikojen lyhyentyessä, on tulossa yhä tärkeimmiksi tekijöiksi kilpailuetujen saavuttamisessa. Oli kyseessä sitten prototyyppien valmistus, varaosien valmistus tai vilkas teollinen sarjatuotanto. Sideaineen suihkutuksella (binder jetting) 3D-hiekkatulostimella ja 3D-tulostettujen hiekkamuottien ja -ytimien valmistuksella klassisiin metallivaluprosesseihin ilman työkaluja, avataan uusia näköaloja valimoteollisuudelle. Ilman yksilöllisyyden rajoituksia, kevyet rakenteet ja vaativat tai monimutkaiset geometriat on mahdollista valmistaa. Kaikilla on suuri mahdollisuus kustannusten optimointiin valmistusprosessissa. Aina kun perinteiset prosessit saavuttavat taloudelliset rajansa kalliiden muottien rakentamisen tai vaihtoaikojen vuoksi. 3D-tulostetut hiekkavalumuotit ja -ytimet tarjoavat olennaisia taloudellisia etuja. Täysin digitaalisesti ja ilman työkaluja valmistettuna alaleikkaukset tai vetokulmat menettävät tärkeytensä laskennassa ja ne voidaan valmistaa optimoiduilla kustannuksilla tarpeen mukaan ja oikeaan aikaan. (Voxeljet, 2022.)

Hiekkavalutulosuksen suurimmat hyödyt ovat seuraavat. Ensimmäinen hyöty on ehdottomasti se, että sitä voidaan käyttää osien valmistukseen lähes kaikista metallimateriaaleista, mukaan lukien ne, joilla on korkea sulamispiste. Toinen hyöty on, että se on helposti skaalautuva. Kolmas on monimutkaiset geometriat ohuilla seinämillä. Neljäs hyöty on kaikenkokoiset ja -painoiset valukappaleet. Viimeinen hyöty on alhaiset

tuotantokustannukset. Esimerkiksi Voxeljetillä on maailman suurimmat ja tehokkaimmat 3D-hiekkatulostimet suurille komponenteille tai suurille pienten komponenttien erille. Tällä pystytään ylittämään perinteisten 3D-tulostusprosessien rajoitukset hiekkavalulla. Yleisten valimomateriaalien, kuten hiekan ja täydentävien sideaineiden käyttö takaa optimaaliset valutulokset saumattoman integroinnin kautta perinteisiin tuotantoprosesseihin. (Beamlar, 2019; Voxeljet, 2022.)



Kuva 4. Hiekkavalutulostusprosessi kuvattuna (Bigrep, Sand Casting Using Large-Scale 3D-Printing Solutions, 2017)

3 3D-TULOSTUS

Joillekin ihmisille tulee sanasta 3D-tulostus mieleen perinteinen vanha pöytätietokone tulostin. Isoin ero mustetulostuksen ja 3D-tulostuksen välillä on se, että 3D-tulostuksessa on yksi ulottuvuus lisää. Pöytätietokone tulostin tulostaa kahdessa ulottuvuudessa, ruiskuttamalla värillistä mustetta litteälle paperisille dokumenteille. 3D-tulostin valmistaa kolmeulotteisia asioita, joita voi pitää kädessä. (Lipson, 2013.11.)

3D-tulostin kykenee valmistamaan osia, noudattamalla tietokoneelle asetettuja ohjeita ja pinoaa raakaa materiaalia kerroksiksi. Ennen 3D-tulostusta yleisimmät tuotantomenetelmät ovat olleet sellaisia, joissa materiaalia leikataan pois tai valetaan tiettyihin muotteihin. Tekninen nimi 3D-tulostukselle on materiaalia lisäävä valmistus (additive manufacturing), joka todellisuudessa kuvaa prosessia paremmin. 3D-tulostuksen uniikki, materiaalia lisäävä tekniikka mahdollistaa osien ja esineiden valmistuksen muodoissa, jotka eivät ole olleet ennen mahdollisia. (Lipson, 2013. 11.)

3D-tulostus on prosessi, jossa tehdään kolmeulotteisia kiinteitä esineitä digitaalisesta tiedostosta. 3D-tulostettuja kappaleita saadaan käyttämällä aineenlisäys prosesseja. Tällaisessa prosessissa kappale luodaan siten, että luodaan materiaalikerroksia yksi kerrallaan, lisäten niitä siihen asti, että kappale on valmis. Jokainen näistä kerroksista on ikään kuin ohueksi viipaloitu poikkileikkaus kohteesta. 3D-tulostus mahdollistaa vaikeamuotoisten kappaleiden valmistuksen vaivattomasti, ilman että se kuluttaisi isoja määriä materiaaleja toisin, kun taas perinteiset tuotantomenetelmät, kuten esimerkiksi koneistus. (3D-printing.com, 2022.)

Tietokoneilla on kriittinen rooli prosessissa. Ilman tietokoneen ohjeita ja suunnitelmia, tulostin on täysin käyttämätön. 3D-tulostin vaatii hyvin suunniteltua sähköistä pohjapiirustusta tai suunnittelutiedostoa, joka kertoo tietokoneelle materiaalin sijainnin. (Lipson, 2013. 12.)

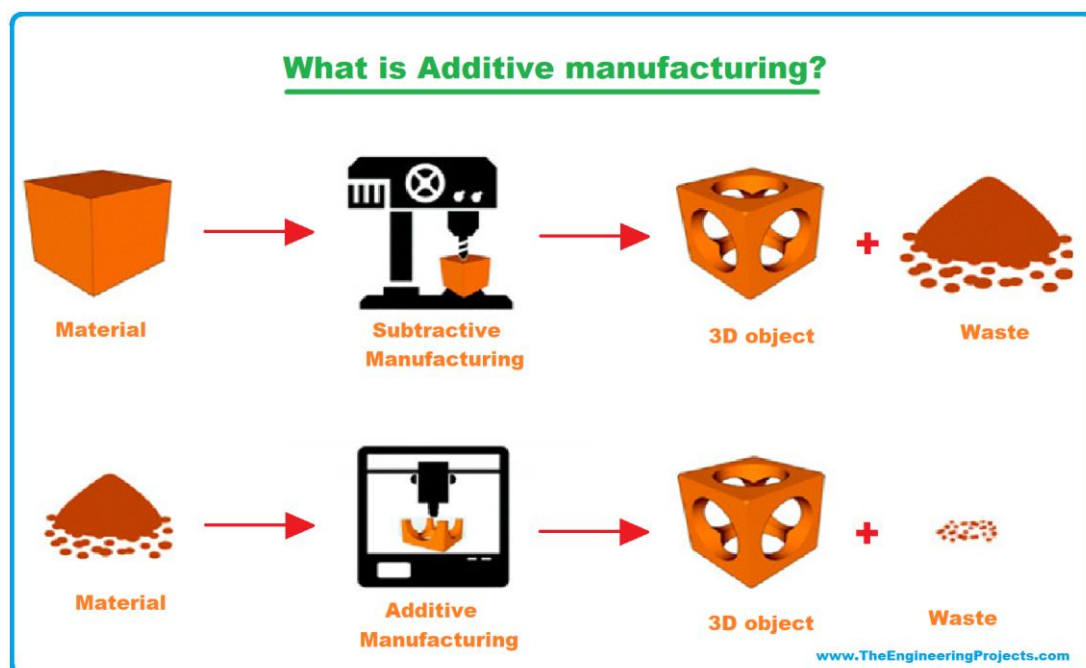
3.1 3D-tulostuksen historia

3D-tulostus ei ole uusi tuotantomenetelmä. 3D-tulostimet ovat olleet hiljaisemmassa käytössä jo vuosikymmenien ajan. Viime vuosina 3D-tulostus teknologiaa on viety nopealla tahdilla eteenpäin laskentatehon, suunnitteluohjelmistojen sekä uusien materiaalien johdosta. Ensimmäiset dokumentoidut jäljet 3D-tulostuksesta löytyvät jo 1980-luvulta Japanista. Vuonna 1981 Hideo Kodama yritti kehittää nopean prototyyppijärjestelmän. Hän päätyi kerroskerrokselta lähestymistapaan valmistukseen. Vaikka Kodama ei patentoinutkaan tällöin tekemiään tekemäänsä teknologiaa, häntä silti pidetään 3D-tulostuksen keksijänä. Tämä oli siis aikainen versio nykyisestä SLA-koneesta. (3D-printing, 2022; Lipson, 2013. 12.)

3.2 Tulostusprosessi

3D-tulostuksen prosessi on seuraavanlainen. 3D-tulostin noudattaa saamiaan ohjeita, jotka se saa suunnittelutiedostosta. 3D-tulostin alkaa ruiskuttaa tai jähmettää jauhettua, sulanutta tai nestemäistä materiaalia tiettyyn litteään tasaiseen kerrokseen. Kun ensimmäinen kerros on jähmettynyt, 3D-tulostimen ”pää” palaa paikalleen ja muodostaa uuden ohuen kerroksen ensimmäisen kerroksen päälle. Tämän jälkeen taas materiaali jähmettyy ja jälleen tulostin palaa valmistamaan uuden ohuen kerroksen edellisen päälle. Hiljalleen ohuet kerrokset alkavat muodostaa suunniteltua kolmiulotteista kappaletta. (Lipson, 2013. 12.)

3D-tulostimet eivät toimi perinteisillä tavoilla, joissa materiaalia poistetaan, kaiverretaan tai valetaan muottiin. Esineiden valmistus kerroksia lisäämällä avaa mahdollisuuksia tuottaa lähes mitä tahansa paljon laajemmalla skaalalla. Lisäksi materiaalia kuluu vähemmän, sillä 3D-tulostuksessa materiaalia ei mene juuri ollenkaan hukkaan. Kerros kerrokselta kappaleen muodostuessa kaikki materiaali muodostaa kappaleen. Muissa tuotantomenetelmissä, kuten esimerkiksi koneistuksessa yleensä kappaleesta poistetaan materiaalia. 3D-tulostus on siis myös materiaalia säästävä. 3D-tulostus on ensisijainen vaihtoehto yleensä silloin, kun kappale on vaikeanmuotoinen ja sillä on tarkat yksityiskohdat, jotka ovat vaikeissa paikoissa. (Lipson, 2013. 12.)



Kuva 5. Materiaalia lisäävän valmistuksen prosessi verrattuna koneistukseen. (The Engineering Projects, What is 3D printing, 2021)

3.3 Metallitulostus

Yleisellä ajatustasolla, kaikki tuotteet, jotka voidaan hitsata, voidaan myös tulostaa. Materiaalit muistuttavat huomattavasti niitä, joita käytetään laserpinnoittaessa tai laserhitsauksessa täytemateriaalin kanssa. Tästä syystä laaja valikoima laatuja eri toimittajilta on saatavilla, joista on jo kerätty korkealaatuista asiantuntemusta. Yleensä 3D-tulostimeen toimitettuja jauheita toimitetaan materiaalitietojen kanssa, jotka perustuvat luotettaviin muuttujiin, myös mukaan lukien optimoidut säätöarvo asetukset. Tästä huolimatta pitäisi harkita onko välttämätöntä määritellä tai edes arvioida materiaali “talon sisällä”. 3D-tulostuksessa mm. SLM-prosessilla on tulostettavissa ruostumaton teräs, työkaluteräs, CoCr metalliseos, titanium, magnesium, alumiini sekä jalometallit kuten kulta ja hopea. Ensimmäiset kuparista valmistetut kappaleet tehtiin jo vuonna 2011, mutta prosessia ei ollut vielä viety markkinoidulle tasolle. Patentoidut materiaalit kehitettiin osittain suunterveyden sovelluksiin. (Järvitalo, 2022; Gebhardt, 2022.)

3.4 Digitaalinen varastointi

Yksi mielenkiintoisimmista eduista, joita 3D-tulostuksen myötä tulee, on digitaalinen varastointi. Tämä aiheutuu sen lyhyestä läpimenoajasta, joka ei välttämättä tule ensimmäisenä mieleen. Teollisuudessa puhutaan usein varastoista ja niiden hallinnasta. Tavoite pitää varastot optimitilassa, jossa varastot eivät ole aivan täynnä jatkuvasti. Tavaraa täytyy kuitenkin olla, jotta toimitusajat eivät veny ja luvatuissa rajoissa pysytäisiin. 3D-tulostuksen puitteissa voidaan puhua “digitaalisista varastoista”. Tämä tarkoittaa sitä, että kun jotain tuotetta valmistetaan jatkuvasti, riittää, että siitä oleva CAD-tiedosto löytyy. Konkreettista varastoa ei tarvitse olla, joka olisi pullollaan tulostettavaa osaa. Vaihtoehtoisesti tilauksen tullessa tiedot viedään tulostimeen ja aletaan välittömästi tulostaa. Läpimenoaika tiedetään jo etukäteen ja täten toimitusaika on myös helposti laskettavissa. Varastointi helpottuu huomattavasti. (Järvitalo, 2022.)

3.5 Sopivan AM-prosessin valinta

Sopivan AM-prosessin valinta riippuu osan soveltuvuudesta ja ominaisuuksista sekä myös siitä onko kyseessä prototyyppi vai tuote. Jos luodaan prototyyppi, esimerkiksi kiinteä kuva tai toiminnallinen prototyyppi, valinta alkaa prosessin lopusta. Ensiksi AM-tekniikalle valittava materiaali valitaan siten, että se vastaa parhaiten materiaalin ominaisuuksia myöhemmästä tuotteen sarjan osasta. Toiseksi tulostin/kone on määritettävä siten, että se sopii valitulle prosessille sekä valitulle materiaalille. Osalle annettu 3D-data on siirrettävä ja sen jälkeen osa valmistetaan. (Gebhardt, 2022.)

Riippuen valitusta materiaalista ja valitusta prosessista kiinteä kuva tai toiminnallinen prototyyppi luodaan. Jos vaaditaan tuote, myös materiaali on määritettävä ensimmäisessä tapauksessa. Osan tekninen suunnittelu pitää perustua valitun materiaalin ominaisuuksiin ja suunnittelun AM-prosessiin asetetuille suuntaviivoille. Muut parametrit, kuten osan suunta tulostusjalustalla on lisättävä teknisen suunnittelun vaiheeseen. Myöhempiä AM-prosessia varten käytetään samoja parametrejä kuin ne, joita käytettiin teknisen suunnittelun vaiheessa. Tulostimen käyttäjä/operaattori on vastuussa vain oikeasta toimivuudesta ja ammattimaisesta käytöstä. Suorittaakseen nämä toiminnot

toistettavalla tavalla ja mahdollisesti myös eri tulostimilla samanaikaisesti, operaattorilla on oltava jonkinlainen johtamisjärjestelmä, joka nykypäivänä perustuu kokemukseen. (Gebhardt, 2022.)

4 3D-TULOSTUKSEN TUOMAT MAHDOLLISUUDET

Mitä 3D-tulostuksella sitten ei pystytä tuottamaan? 3D-tulostus on erittäin hyvin soveltuva, koska sillä on mahdollista tuottaa lähes mitä vaan. Kuten jo aiemmin sanottua vaikea muotoiset kappaleet ovat jopa tämän tuotantomenetelmän suurin etu. Yhtenä esimerkkinä kappaleesta, joka voisi olla vaikea toteuttaa on mm. pitkä S-muotoinen öljykanava. Sekin kuitenkin pystytään tuottamaan 3D-tulostamalla paljon helpommin ja nopeammin kuin tavanomaisilla menetelmillä. 3D-tulostuksessa kappale luodaan kerros kerrokselta ja se voidaan määrittää alkamaan esimerkiksi laatasta, jossa on reiät. AM-valmistus rakentuu haluttaessa jopa “yhdeksi istumalta” yhteen putkeen. Lämpimenoaika nopeutuu esimerkiksi koneistukseen nähden jo tässä siten, että esimerkiksi vaikeamuotoista kappaletta joudutaan mahdollisesti koneistuksessa kääntämään. 3D-tulostuksessa tällaista ongelmaa ei tule. Kappale muodostuu materiaalia lisäämällä, eikä ihmisen tarvitse “puuttua” tulostusprosessiin sen ollessa käynnissä. (3D-formtech, 2022.)

Koneistaminen on lähes aina tarpeellista pinnoille tulostetun tuotteen valmistumisen jälkeen. Varsinkin koneistaminen on tärkeää kriittisissä teollisuuskoneissa ja niiden osissa. Tasopinnat, kaikki kolot ja reiät on aina koneistettava. Koneistus 3D-tulostuksessa on erittäin iso osa ja olisi tärkeää, että se tapahtuisi aina yrityksen tiloissa. Tämä olisi tärkeää, jotta esimerkiksi tulostuksen jälkeen ei tulisi pullonkaulaa koneistamiseen. Jos yritys pystyy myös loppukäsittämään tuotteensa, eli koneistamaan, prosessi helpottuu huomattavasti eikä täten pullonkaulaa synny. Jos taas yritys joutuu ulkoistamaan koneistuksen, sekä muun loppukäsittelyn, läpimenoaika luultavasti kasvaa. (3D-formtech, 2022.)

Mahdolliset sovellutukset, joita AM-tekniikalla voidaan tehdä, on todella laaja. AM-tekniikan vielä hyödyntämättömät mahdollisuudet tarjoavat mahdollisuuden uuteen teolliseen vallankumoukseen. 3D-tulostus mahdollistaa kenet tahansa tuottamaan osia tai tuotteita, joissa voi olla lähes millaisia tahansa kuviteltavissa olevia geometrioita tai muotoja. Näitä voidaan valmistaa mieltein mistä tahansa materiaalista ja niin monta kappaletta kuin halutaan, lisäksi tulostus voidaan toteuttaa missä tahansa ja tarvittaessa vielä monessa paikassa yhtä aikaan. (3D-printing, Understanding Additive Manufacturing, 138, 2018.)

3D-tulostuksen mahdollisuudet aloittaa teollinen vallankumous perustuu kolmeen perusominaisuuteen. Ensimmäinen on se, että 3D-tulostusprosessi mahdollistaa vaikeiden geometrioiden tuotannon, näitä ei pystytä tuottamaan perinteisen valmistusmenetelmän toimitiloissa. Toiseksi, jo nykyään silloin tällöin ja laajemmin lähitulevaisuudessa, materiaalit voivat vaihdella suurissa määrin tuotantoprosessissa mahdollistaen täysin erilaisten osien ja vastaavien tuotteiden ominaisuuksien kehittämisen. Kolmas perusominaisuus, joka 3D-tulostusta koskee, on suora digitaalinen tuotantoprosessi, joka mahdollistaa eri tuotteiden samanaikaisen tuotannon yhdessä tuotantojaksossa, vaikka tuotteiden geometria olisi täysin erilainen tai tuoteriippuvaliset työkalut olisivat erilaiset, onnistuu tulostus missä tahansa tulostin sijaitseekin. Sitä ei tarvitse korostaa, että 3D-tulostuksen menestys johtuu järjestelmien nopeasta kehityksestä. (3D-printing, Understanding Additive Manufacturing, 138, 2018.)

4.1 Monimutkaiset geometriat

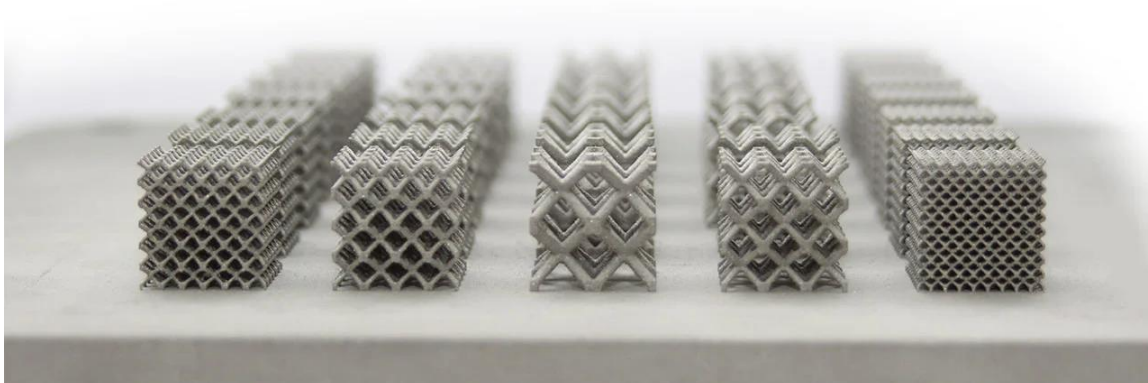
Adjektiivi monimutkainen yhdistetään osiin, jotka voidaan suoraan tuottaa sellaiseen, valmiina kappaleina AM-valmistuksen avulla. Kun taas niiden tuotanto normaaleilla, perinteisillä tavoilla vaatii paljon monivaiheista tuotantoa, monimutkaisia työkaluja ja lopun viimeistelyä. Ihmisen pääkallo on yksi vaikeimmista kuviteltavista geometrioista, myös tämä pystytään tuottamaan yhtenä kokonaisuena kappaleena AM-valmistuksella. Vastaavanlaista ei pystyttäisi tuottamaan tavallisilla tuotantomenetelmillä tai rahalliset menot, joita se vaatisi olisivat aivan liian korkeat. Luvut selventävät, että riippuen tarpeesta ja osasta, erilaisia AM-prosesseja voidaan soveltaa juuri tällaiseen tarpeeseen. Vertailukelpoisia komplekseja ovat työkalut tai työkaluterät, joissa

on vakiojäähdytys. Ajatus tarjota mukautuvia jäähdytyskanavia ei ole täysin uusi. Tavanomaiset tuotantotavat kuten koneistetut suorat kanavat, joissa on pyöreät risteyskohdat eivät pysty seuraamaan ontelon muotoa lähellä pintaa ja täten tavoite ei ole toteutettavissa. AM-tekniikka mahdollistaa suunnittelun ja valmistuksen juuri tällaisten vaikeille kanaville ja jopa kolmiulotteisten jäähdytysritilöiden tuotannon, joka voi kehittää työkalun tuottavuutta (syklin ajan lyheneminen) merkittävästi. (3D-printing, Understanding Additive Manufacturing, 145, 2018.)

Toinen esimerkki erittäin monimutkaisesta geometriasta tulee jälleen lääketieteen alalta ja se on keuhkoputken malli. Mallia käytettiin kadonneena ytimenä valmistuksessa läpinäkyvänä testikanavana ihmisten hengityselinten virtaustestejä varten. Tietoaineisto voidaan luoda vain elävistä yksilöistä (muuten putket romahtavat) CT-skannauksella ja sitä seuraavalla 3D-rakenteella. “CT tarkoittaa tietokonetomografiaa. Lääketieteellisessä kuvantamisessa, CT-skannaus on yksi yleisimmistä suoritetuista skannauksista diagnostisiin tarkoituksiin. Yksinkertaisesti sanottuna CT-skannaus käyttää pyörivää röntgenlaitetta, joka pystyy ottamaan kuvia kehosta useista eri näkökulmista. Kuten röntgenkuvat, se käyttää säteilyenergiaa, joka imeytyy ja heijastuu eri asteisiin kehon eri rakenteilla.” (postdicom www-sivut, 2022;3D-printing, Understanding Additive Manufacturing, 145, 2018.)

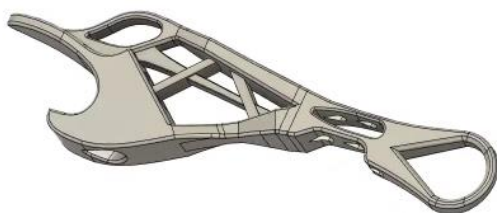
Ydin valmistettiin jauhepetiteknikalla ja tämän jälkeen valettiin silikoniin. Jotta kanavat saataisiin puhtaaksi, ydin jouduttiin poistamaan kokonaan, kun silikoni oli kovettunut. Tästä syystä se tehtiin mahdollisimman vähällä jauheen määrällä. Lopputulos oli erittäin hauras osa, joka vaatii todella varovaista käsittelyä ja puhdistusta. (3D-printing, Understanding Additive Manufacturing, 145, 2018.)

Yksi esimerkki melkein rajattomasta valikoimasta geometrisia elementtejä, joita AM-tekniikalla voidaan valmistaa on, 3D-verkon tai ruudukkoimaisen rakenteen valmistaminen. Alla oleva kuva kertoo, että tekniikalla voidaan tuottaa hienoja, herkkäluontoisia ja monimutkaisia osia myös metallista, eikä ainoastaan muovista. (3D-printing, Understanding Additive Manufacturing, 145, 2018.)



Kuva 6. Esimerkki 3D-tulostetusta “verkkorakenteesta”. (3D-printing [www-sivut](#), 2019)

3D-tulostuksella pystytään myös tuottamaan kokonaisia valmiita mekanismeja. Esimerkiksi viinipullonavaaja pystytään tuottamaan suoraan valmiina tulostimesta. (3D-formtech, 2022.)



ITEM "Avaaja / Opener" keychain / v4.1 / 2019	
3D PRODUCTION slm 280 hl / selective laser melting	
MATERIAL stainless steel 316l	MASS 9,90 g
LAYER THICKNESS 0,060 mm	LENGHT 66,434 mm
WIDHT 5,012 mm	HEIGHT 18,295 mm
PRICE for prototype 38 €	PRICE for 200 pcs 11,40 € a piece
	

Kuva 7. Esimerkki 3D-tulostuksella tulostettavasta tuotteesta. Kuvasta näkyy myös tuotteen tietoja, kuten mm. käytetty materiaali, mitat, massa ja hinta. (Materflow, 2020)

5 TULOSTIMET

3D-tulostukseen käytettävät tulostimet voidaan jakaa neljään pääkategoriaan. Nämä neljä kategoriaa ovat: henkilökohtaiset tulostimet, tuotannon tulostimet, ammattikäytön tulostimet ja teolliset tulostimet. (3D-printing, Understanding Additive Manufacturing, 80, 2018.)

5.1 Henkilökohtaiset tulostimet

3D-tulostimilla tuotetaan kokonaisia osia auttomaattisesti yhdellä “askeleella”. Tämä mahdollistaa myös amatöörien oman valmistuksen. Tulostimien nopeasti kasvava määrä on merkittävä. Lähes kuka tahansa voi ostaa itselleen kotiin oman 3D-tulostimen. Tulostimen voi ostaa täysin valmiina kotiin (desktop printer) tai vaihtoehtoisesti osina, jolloin laite täytyy koota itse DIY-ajatuksella (Do It Yourself). Vuonna 2018 yli 500 laitetta oli saatavilla sisältyen 5000 € hintabudjettiin. Näissä tulostimissa ainoa materiaalivaihtoehto on muovi. Isoimpia hyötyjä näissä tulostimissa on niiden matalahintaiset tulostimien hinnat, matalahintaiset materiaalihinnat, laaja materiaalivalikoima eikä tuotteilla ole infrastuktuuria koskevia vaatimuksia. (3D-printing, Understanding Additive Manufacturing, 80-83, 2018.)



Kuva 8. Makerbot Z18, 3D-tulostin. Esimerkki henkilökohtaisesta tulostimesta. (Makerbot.com, 3D-printers, Replicator Z8, 2022)

5.2 Ammattikäytön tulostimet

Ammattikäytön 3D-tulostimet näyttävät keskeimpiä ominaisuuksia AM- prosessista. Tämä vaatii jo organisoidun työpajan. Tuotantoprosessin ohjelmointi on itsenäistä ja lisää täten yleistä joustavuutta. Jotkin manuaalisesti toimeen pannut ohjelmoinnin vaiheet on jo integroitu ja ovat osittain käsitelty automaatiolla. Ohjelmoinnin jakso on täysin automatisoitu. Prosessin seurannassa on joitain alkeisia vaiheita. Käyttäjä saa palautteen/raportin järjestelmästä. Ammattikäytön tulostimien isoin käyttötarkoitus on yleensä mainoksellinen käyttö työpajoissa ja toimistoissa. Yleisimmissä tapauksissa tulostimille ei tarvita erityisempää infrastruktuuria, ainoastaan pistokepaikka ja pöytä. Erillinen toimistohuone tekee osien ja materiaalin käsittelystä helpompaa ja lisäksi vähentää myös melua. Näiden laitteiden hinta liikkuu 20 000 ja 70 000 euron välillä. Materiaalit, jotka tälle tulostimille sopivat ovat muovit, keraamit, metallit ja kipsitärk-

kelys jauhe. Ohjelmisto on valmistajakohtainen, ideana “plug & play”. Tämän tulostimen hyötyihin kuuluvat esiasetetut parametrisarjat, minimaalin infrastruktuurin tarve, lyhyt koulutus käyttöön sekä toimistoon sopivuus. Huonoja puolia ovat osittain korkeat materiaalin hinnat ja se, että käyttäjä on riippuvainen koneen valmistajasta (ohjelmisto, materiaali). (3D-printing, Understanding Additive Manufacturing, 87-88, 2018.)



Kuva 9. Dimension Elite. Esimerkki ammattikäytön tulostimesta. (Treatstock.com, Dimension Elite, 2022)

5.3 Tuotannon tulostimet

Tuotannon 3D-tulostimet omaavat joustavan materiaalia lisäävän valmistuksen yksiköiden (AM) ominaisuuksia. Ne ovat yleensä aina erillisiä koneita, mutta nykyään ne suunnitellaan yhä enemmän AM prosessi keskuksina, joita on varusteltu jopa integroituilla automatisoituna oheislaitteilla, kuten jauheenpoistoasemilla. Tyypillistä on lisäominaisuudet, jotka mahdollistavat yksityiskohtaisen toiminnan suunnittelun kuten tarkan läpimenoajan arvioijan, tai jopa prosessin simulaattorin.

Yleisin kohderyhmä tuotannon tulostimille on minimaalinen manuaalisten prosessien vaiheiden määrä, sekoitettu käyttö koskien osia, jatkuva valmistus ja tuotannon muutos ilman valmistelua. Nämä kaikki ovat ominaisuuksia, joita pidetään edistysaskeleina tavanomaiselle aineita vähentävälle valmistukselle ja voidaan pitää järjestelmällä omaisena suhteessa aineita lisäävään valmistukseen. Tuotannon tulostimien hinnat alkavat 130 000 eurosta ja ylettyvät aina 1,8 miljoonaan euroon. Ohjelmisto on valmistajakohtainen ja toimii plug & play periaatteella. Tuotannon tulostimille soveltuvia materiaaleja ovat muovit, keramiikka, metallit ja kipsitärkkelysjauhe. Hyviä puolia ovat “Ready to print” säätöarvot, laaja tulostusmateriaalivalikoima, minimaalinen jäte/poisto. Huonoja puolia näissä tulostimissa on korkeat toimintakulut, korkeat materiaalihinnat sekä työpajaympäristön että jälkikäsittelyn vaadittavuus.). (3D-printing, Understanding Additive Manufacturing, 89-90, 2018.)



Kuva 10. Voxjet VX2000. Esimerkki tuotannon tulostimesta. (Voxeljet.com, VX2000, 2022)

5.4 Teolliset tulostimet

Pidempi kehitys johtaa joustaviin AM järjestelmiin (FAS, flexible AM systems). Valmistajat keskittyvät metallin tulostukseen SLM prosessin mukaisesti ja tyypillistä on tutut elementit automaatioteknologiasta. Tämä sisältää rakennusalojen varastoinnin, useamman tulostimen toiminnan, automatisoidun valmistuksen ohjauksen, tietokone valvonnan ja DNC:n (distributed numerical control), osien tuotantovaiheiden yhdistämisen toisiinsa sekä kuljetusvälineet lisäksi myös suljetun materiaalikierron. Prosessin seuranta ja ohjaus ovat keskeisessä osassa. Jako rakennus- ja käsittelyosastoihin kuten myös jako rakennuskammioon ja valotusyksikköön (koskien metallijauheprosessia) ovat keskeisiä ominaisuuksia. Myös tulostimien määrä aina neljään asti (multi-laser technology) ja tulostimen rakennusalojen koko noin 400 x 400 x 400 mm ovat pitkälti keskeisiä ominaisuuksia. Teollisten tulostimien hinta alkaa 1,2 miljoonasta eurosta ja ylettyy aina ominaisuuksista riippuen jopa 2 miljoonaan euroon asti. Järjestelmät ovat valmistajakohtaisia ja toimivat plug & play ajatuksella. Ainut materiaali ainakin tällä hetkellä näissä tulostimissa on saatavilla, on metalli. Hyötyjä näissä on modulaarinen tuotantojärjestelmä, johon on liitetty lämpökäsittelyyksikkö ja varastointilaitte, yksilöllisesti muokattavissa, tuottavuuden lisääminen. Heikkoja puolia tulostimissa taas on jälkikäsittelyn pakollisuus, korkeat tulostimien hinnat, suurin osa materiaalista vaatii isoa sijoitusta materiaaleihin sekä työpaja ympäristö on vaadittu. (3D-printing, Understanding Additive Manufacturing, 91-92, 2018.)



Kuva 11. Additive Industries, MetalFab1. Esimerkki teollisesta tulostimesta. (Additiveindustries.com, Fusor Tech Selects Additive Industries MetalFAB1 System, 2020)

6 HINNOITTELUN PERUSTEET

3D-tulostustettujen tuotteiden hinnat ovat täysin tapauskohtaisia ja niitä on melko vaikeaa arvoida etukäteen ainakaan kovin tarkasti. Hinta muodostuu kuitenkin pääasiassa muutamista selkeistä kohdista. Ensimmäinen asia, joka vaikuttaa on ajoaika. Eli kauanko 3D-tulostin on käynnissä ja valmistaa tuotetta. Toinen asia, joka vaikuttaa hintaan on materiaalin määrä. Eli kuinka paljon materiaalia valmistettavaan tuotteeseen kuluu. Kolmas asia, joka hintaan vaikuttaa on tulostettavien kerrosten määrä. AM-tekniikassa partikkeli valmistetaan kerroksittain. Asennolla on myös paljonkin väliä eli, missä suunnassa kappale valmistetaan. Kappale kannattaa tulostaa lähes aina vaakatasossa, sillä kerrosten määrä vähenee verrattuna pystysuuntaan. Hintaan vaikuttaa siis se, kuinka monta kerrosta tuotteen lopulliseen muotoon mennessä on tulostettu. Materiaalin hinnat vaihtelevat noin 80€-300€ välillä. Tulostuksen sarjakoolla on myös suuri merkitys. Hinnassa näkyy paljon eroja. Jos tulostetaan yksi kappale, hinta on korkea. Kun taas tulostetaan vaikkapa 100 tai 1000 kappaletta, hinta putoaa huomattavasti. (Järvitalo, 2022.)

Etteplanilla on netissä oma laskuri, jolla voi laskea 3D-tulostetun kappaleen arvoidun alustavan hinnan. Työkalu on nimeltään AMOTool. Työkalu pyytää syöttämään kenttiin tietoa tulostettavasta tuotteesta/osasta. Ensimmäiseen kenttään täytyy syöttää arvioitu osan korkeus rakennuslevystä. Arvioituun korkeuteen pyydetään lisäämään 2 millimetriä tukirakenteiden vuoksi. Seuraavaan kenttään pyydetään syöttämään arvioitu lopputuotteen materiaalin määrä kuutioina. Materiaalin määrän pystyy selvittämään suunnitteluohjelman mittaustyökalulla suunnitellusta osasta. Seuraavassa kohdassa pyydetään arvoimaan osan monimutkaisuutta. Arvio tehdään asteikolla 1-2. 1 esimerkkinä olisi yksinkertainen kuutio, kun taas toinen ääripää 2 olisi monimutkainen tai monimuotoinen. Työkalu pyytää käyttäjää ilmoittamaan vielä halutun materiaalin, kerrosten määrän, tukirakenteiden tarpeen, prosessin jälkeiset kulut (mm.koneistus) sekä arvoidun tuotteen kysynnän vuodessa. Kun kaikki kohdat on täytetty työkalu antaa selkeän arvoidun hinnan, joka tuotteelle tulisi per kappale. Hinta on jaettu neljään alueeseen. Nämä neljä aluetta ovat prosessin kustannus, materiaalikustannus, valmistelukustannus sekä prosessin jälkeinen kustannus. (AMOTools, 2022.)

7 TOIMITTAJAKARTOITUS

Lähdimme tutustumaan erilaisiin suomalaisiin 3D-tulostukseen erikoistuviin yrityksiin. Kävimme messuilla, yritysvierailuilla sekä palavereissa yritysten kanssa. Yrityksiltä saimme paljon tietoa 3D-tulostukseen ja sen mahdollisuuksiin sekä myös rajoituksiin liittyen. Kävimme vierailemassa mm. 3D-formtechin tiloissa Jyväskylässä. Alta löytyvässä taulukossa on Suomen isoimmat toimijat alalla.

Taulukko 1. Vertailussa suomalaiset 3D-tulostuksen erikoisosajaat. (Etteplan, 2023;Materflow, 2023;Hetitec,2023;Materflow,2023.)

Yritys	Sijainti	Materiaali- valmiudet	Lisätiedot
3DFormtech	Jyväskylä	Metallit, muovit	8 huipputason EOS-tulostinta. Järjestää koulutuksia.
Etteplan	Espoo	Suunnittelupalvelu, Etteplanilla ei itsellään ole tulostimia.	Tarjoaa 3D-tulostuspalveluita yrityksille. AM-tekniikan tarpeen arvionti. Amotools- työkalu, järjestää itse koulutuksia.
Hetitec	Tampere	Valurauta, teräkset sekä alumiini	Hiekkavalutu-lostus-tekniikalla tulostetaan muotit, joihin valetaan osat.
Materflow	Lahti	Muovit ja metallit	7 tulostinta. “3D-tulosteiden tuotannon lisäksi autamme yrityksiä hahmottamaan lisäävän valmistuksen tarjoamia mahdollisuuksia osana yritysten omaa liiketoimintaa.” (Materflow)

8 RAJAEHDOT SUUNNITTELUN NÄKÖKULMASTA

On hyödyllistä tuoda esiin suunnittelun luonteenpiirteet, jotka osoittavat tilanteita jolloin AM-tekniikka ei olisi juuri sopivin ratkaisu. Lyhyesti sanottuna, jos osa voidaan valmistaa taloudellisesti käyttäen tavanomaista tuotantomenetelmää ja se voi tavoittaa vaatimukset, AM-tekniikka ei ole tällöin luultavasti sopiva tuotantomenetelmä. Suunnittelijan täytyy tasapainotella hinnan, toimitetun arvon sekä riskien kanssa, harkitessaan AM-tekniikan käyttöä. (ISO 52910, 2018.)

AM-tekniikan isoimmat edut ovat joustavuus erimuotoisten osien valmistuksessa, monimutkaiset ja kustomoitavat muodot ja mahdolliset monimutkaiset materiaali-kaumat. Jos halutaan yksinkertaisten osien massatuotantoa suurissa tuotantoerissä, ei AM-tekniikka ole luultavasti tällöin paras ratkaisu ilman selkeitä parannuksia valmistusajassa ja hinnassa. Suunnittelijan täytyy olla tietoinen saatavilla olevista materiaallivalinnoista, raaka-aineiden laadusta ja valikoimasta, kuinka materiaalin mekaaniset ja muut fyysiset ominaisuudet vaihtelevat niistä, joita käytetään muissa tuotantoprosesseissa. Materiaaleilla AM-tekniikassa on erilaisia ominaisuuksia ja luonteenpiirteitä, sillä ne tuotetaan eri lailla kuin tavallisilla menetelmillä tuotetuissa prosesseissa. Suunnittelijoiden täytyy tietää, että AM-komponenttien ominaisuudet ovat herkkiä prosessiparametreille ja, että prosessin vaihtelevuus on merkittävä ongelma, joka voi rajoittaa vapautta suunnittelussa. Lisäksi suunnittelijoiden tulisi ymmärtää anisotropiat, jotka ovat usein läsnä AM-prosessin materiaaleissa. (ISO 52910, 2018.)

Anisotropia tarkoittaa suuntariippuvuutta toisin kuin isotropia, joka taas tarkoittaa homogeenisuutta kaikkiin suuntiin. Se voidaan määritellä erona tietyn materiaalin fysikaalisissa ominaisuuksissa eri akseleita pitkin mitattuna. (Sciencedirect, anisotropy, 2022.)

Joissain prosesseissa ominaisuudet rakennustasossa (X, Y- suunnissa) ovat erilaisia kuin rakennussuunnassa (Z-akseli). Joillakin metalleilla voidaan saavuttaa parempia mekaanisia ominaisuuksia kuin muokattuna. Kuitenkin tyypillisesti uupumus ja iskunkestävyys eivät ole niin hyviä AM-tekniikalla tuotetuissa osissa kuin tavanomaisella

tuotantomenetelmällä tuotetuissa osissa. Kaikki 3D-tulostimet eristävät osien geometrian ennen osan valmistusta. Eristys voi esiintyä monissa eri muodoissa. Esimerkiksi suurin osa 3D-tulostimista tuottaa osat kerros kerrokselta menetelmällä. Materiaalin ja sideaineen suihkutuksessa kerrostuu erillisiä materiaalipisaroita. Muissa prosesseissa erillisiä vektorivetoja (esim. laserilla) käytetään materiaalin käsittelyyn. Osien geometrian eristyksen vuoksi osien ulkopinnat eivät usein ole sileitä, koska kerrosten väliset erot ovat selkeitä. Muissa tapauksissa, osilla saattaa olla pieniä sisäisiä aukkoja. Geometrian eristyksellä on muutamia muitakin vaikutuksia. Pienet ominaisuudet voivat olla huonosti muotoiltuja. Ohuet seinät tai tuet, jotka ovat vinossa rakennussuunnan suhteen, voivat olla haluttua paksumpia. Lisäksi, jos seinä tai tuki on melkein vaakasuorassa, seinä tai tuki voi olla todella heikko, sillä peräkkäisten kerrosten välillä voi esiintyä suhteellisen vähän päällekkäisyyksiä. Vastaavasti, pienet negatiiviset piirteet kuten reiät voivat päinvastoin kärsiä, pienentymällä toisin kuin haluttu sekä tuoden vääristyneitä muotoja. Jälkikäsittely on vaadittavaa monelle 3D-tulostusprosessille tai loppukäyttäjää voi halutessaa pyytää sitä. Tuotteeseen voidaan tehdä monenlaisia eri sovellutuksia kuten, mekaanisia, kemiallisia ja lämpökäsittelyä. (ISO 52910, 2018.)

Useat AM-prosessityypit käyttävät tukirakenteita silloin kun osia rakennetaan, jotka joudutaan jälkikäteen poistamaan. Joissain tapauksissa tukirakenteet saatetaan poistaa käyttäen liuottimia, muissa tapauksissa tukirakenteet joudutaan poistamaan mekaanisesti. Suunnittelijan pitäisi aina olla tietoinen lisätyövoimasta, manuaalisesta komponenttien käsittelystä ja ajasta, jotka nämä toiminnot vievät. Lisäksi suunnittelijoiden tulisi ymmärtää, että tukirakenteiden läsnäolo voi vaikuttaa pinnan lopputulokseen tai tuettujen tasojen tarkkuuteen. Vielä lisänä tukirakenteiden poistoon, muita jälkikäsittelyn toimintoja saatetaan tarvita tai haluta, nämä sisältävät ylimääräisen jauheen poiston, pinnan viimeistelyn parantamisen, koneistuksen, lämpökäsittelyn, pinnoituksen. Jos osalla on joitain sisäisiä onkaloita tai koloja, suunnittelijan pitää suunnitella ominaisuudet osaan, joka mahdollistaa tukirakenteiden, sintraamattoman jauheen (vain PBF) tai nestemäisen hartsin poiston näistä koloista. Riippuen tarkkuudesta ja pinnan viimeistelyvaatimuksista, osa saattaa vaatia loppukoneistusta, kiillotusta, hiomista, helmipuhallusta tai kuulapuhallusta. Metalliset osat saattavat tarvita lämpökäsittelyä esimerkiksi jäännösjännityksen lievittämiseen. Pinnoitteita voidaan tarvita kuten maa-lausta, galvanointia tai hartsin suodattamista. Jälkikäsittely kasvattaa koko 3D-tulostusprosessin kuluja. (ISO 52910, 2018.)

9 MATERIAALITEKNIikka

9.1 Murto- ja myötölujuuksien vertailu

Useasti moni saattaa ajatella, että 3D-tulostettavat materiaalit ja tulosteet eivät ole yhtä kestäviä ja hyvälaatuisia kuin normaalien tuotantomenetelmin tuotetut osat. Todellisuudessa asia on täysin päinvastainen. Tulostetut osat ovat jopa kestävämpiä kuin esim. hitsaamalla ja koneistamalla tuotetut osat. (Hämeenaho & Järviö, 2022.)

Alla olevassa taulukossa käydään läpi materiaalin paksuus, murtolujuus, myötölujuus sekä kovuus. Vaikka kyseessä onkin hieman erilaiset materiaalit (alumiini ja teräs) tästä selviää kuitenkin, että 3D-tulostetut materiaalit ovat kestäviä ja yhtä hyviä kuin muillakin menetelmillä tuotetut materiaalit.

Taulukko 2. Vertailussa 3D-tulostettava materiaali EOS 316 L ja “normaali” teollisuudessa yleinen S355. (3DFORMTECH, 2022; Steelnavigator, 2022; Ironfoundry, 2022)

Materiaali (paksuus)	Murto- tolujuus (xy)	Myötö- lujuus (xy)	Kovuus (hardness)
S355 (3-16mm)	500+/- 30MPa	355 MPa	89 HRB = 180 HB
EOS 316L (5mm)	640+/- 50 MPa	530+/- 60MPa	140-190 HB

9.2 Luokitukset

Yleisellä tasolla 3D-tulostetuille materiaaleille ei vielä ole luokituksia. Kuitenkin tulevaisuudessa, materiaaleilla on kaikki mahdollisuudet tulla luokitetuiksi. Joitain luokituksia löytyy joillekin materiaaleille joihinkin käyttötarkoituksiin, mutta mitään yleisluokitusta ei ole vielä. Todellisuudessa 3D-tulostetut kappaleet ovat jopa kestävämpiä ja kovempia kuin ns. normaaleilla tuotantomenetelmillä tuotetut materiaalit,

vaikka toisin luullaankin. Yksi esimerkki löytyy lentokoneteollisuudessa. Eräs lentokoneyhtiö käyttää lentokoneissaan 3D-tulostettuja osia. Jos osia on saatu luokitettua lentokoneteollisuuteen, olisi osien luokitus varmasti mahdollista myös meriteollisuuteen ja tarkemmin vielä potkurilaitteisiin. (Järvitalo, 2022.)

Luokituksissa käytäisiin läpi tekniikat sekä kuvattaisiin ne lyhyesti, lisäksi niissä viitataan niiden soveltuvuuteen ja mahdollisiin rajoituksiin. Lisäksi esitetään tärkeimmät 3D-tulostuksen laatua ja yksittäisten teknologioiden soveltuvuutta määrittävät parametrit sekä vertailu osien valmistuksen tarkkuudesta, niiden koosta, ajankulutuksesta, tukirakenteiden ja viimeistelyprosessien tarpeesta tai tulostuksessa syntyvän jätteen määrästä. Lopuksi esitetään myös kunkin teknologian nykyinen käyttö ja ennusteet niiden käytön kasvusta. (Sciencedirect, 2022.)

10 YHTEENVETO

3D-tulostus ja kaikki siihen liittyvät käsitteet olivat ennen opinnäytetyötä melko vieraita käsitteitä. Aika nopeasti kuitenkin pääsi kiinni ajatusmaailmaan ja siihen, miten käytännössä Additive Manufacturing eli AM-tekniikka toimii.

3D-tulostus kannattaa valita esimerkiksi koneistuksen sijasta, jos tuote on muodoltaan monimutkainen, toisin sanoen vaikea valmistaa tavanomaisella tuotantomenetelmällä tai hidasta valmistaa siten.

Mahdollisuuksia potkurilaitetuotannossa löytyy todella paljon, kompastuskiviä tulee siinä kohtaa, kun aletaan miettimään 3D-tulostusta sellaiselle osalle, joka on suunniteltu esim. sorvattavaksi tai koneistettavaksi. Isoja hyötyjä saadaan irti ja painoa sekä hintaa voidaan saada alaspäin, kun alusta asti tuote suunnitellaan 3D-tulostettavaksi. Useimpia potkurilaitteen osia ei ole suunniteltu 3D-tulostettavaksi ja ne täytyy suunnitella alusta lähtien 3D-tulostettavaksi. Tämän myötä myös suunnittelun ajatusmalli potkurilaitetuotannossa muuttuu täysin. Voisikin kysyä, onko joku osa pakko olla juuri tiettyä materiaalia ja voisiko osa olla kevyempi tai jopa pienempi. Tämä tarkoittaa topologian optimointia.

Juuri tästä syystä opinnäytetyöhön ei saatu konkreettista case-esimerkkiä. Lähetimme Kongsberg Maritime Oy:n kanssa muutamille suomalaisille 3D-tulostuksen erikoisosaajille tarjouspyynnön eräästä osasta, mutta hinta ei ollut kovin realistinen, sillä osat olivat suunniteltu valmistettavaksi perinteisin tuotantomenetelmin, kuten jo aiemmin todettiin. Hinnasta saa kuitenkin hyvän kokonaiskuvan ja käsityksen opinnäytetyön kappaleessa ”Hinnittelun perusteet”. Eräkoilla huomattiin myös olevan iso merkitys varsinkin hintaan. Yleisajatuksena se, että mitä enemmän tulostaa eli mitä isompi erä koko on, sitä halvemmaksi yksittäisen kappaleen hinnaksi tulee.

Isojen partikkeleiden tuotannossa ymmärrettiin se, että välttämättä ei ole pakko 3D-tulostaa koko osaa, on mahdollista tulostaa jokin pienempi partikkeli, joka siihen kuuluu. Isommille kappaleille soveltuva tekniikka on hiekkavalutulostus, joka on esitelty opinnäytetyön alussa. Tämä oli Kongsberg Maritime Oy:lle ensimmäisiä askelia kohti 3D-tulostusta ja sen mahdollista toteuttamista osana tuotantoa tulevaisuudessa. Jatko-toimenpiteenä seuraavaksi yrityksellä olisi bom-listojen läpikäynti ja sen jälkeen SelectAM- ohjelmalla voitaisiin tutkia yksittäisten osien potentiaali 3D-tulostuksessa.

Lopputuloksena myös itselle jäi todella laaja kuva 3D-tulostuksesta ja opin ymmärtämään aiheesta paljonkin. Opinnäytetyötä tehdessä sain tietoa todella monesta lähteestä. Teimme Kongsberg Maritime Oy:n kanssa monilla yhteistyötä monien 3D-tulostukseen erikoistuneiden yritysten kanssa, joista sain myös paljon materiaalia opinnäytetyöhön. Lähteitä tuli tätä kautta jo paljon, kirjojen ja verkkolähteiden lisäksi.

Itse opin miten 3D-tulostus toimii käytännössä sekä teoriassa. Opin milloin 3D-tulostus on hyvä ratkaisu ja milloin sitä myöskään ei kannata käyttää. Sain ymmärryksen, millaisia mahdollisuuksia tällä tuotantomenetelmällä on sekä miten siitä saa isoimman hyödyn irti. Opinnäytetyölle asetetut tavoitteet pystyttiin saavuttamaan onnistuneesti.

LÄHTEET

- 3Dformtech www-sivut. (n.d). Materiaalit. Viitattu 20.12.2022. <https://3dformtech.fi/materiaalit/#materiaalit-metalli>
- 3D-printing www-sivut. (n.d). 3D-printed lattice structures. Viitattu 4.12.2022. <https://3dprinting.com/tips-tricks/3d-printed-lattice-structures/>
- 3D-printing www-sivut. (n.d). What is 3D printing. Viitattu 20.10.2022. <https://3dprinting.com/what-is-3d-printing/>
- Additive Industries www-sivut. (n.d). Metalfab1. Viitattu 21.11.2022. <https://www.additiveindustries.com/news/news-and-press/sigma-labs-and-additive-industries-announce-metalfab1-certified-as-printrite3d-ready-0>
- Beamlar www-sivut. what is sand casting. 2019. Viitattu 04.01.2023 <https://www.beamlar.com/what-is-sand-casting/>
- bigrep www-sivut. Sand Casting Using Large-Scale 3D-Printing Solutions. 2017. Viitattu 04.01.2023 <https://bigrep.com/posts/80-percent-faster-large-metal-part-production-sand-casting-3d-printing/>
- Etteplan www-sivut. (n.d). Amotools. Viitattu 12.11.2022. <https://amotools.com/report>
- Etteplan www-sivut. (n.d). Tietoa meistä. Viitattu 12.01.2023. <https://www.etteplan.com/fi/tietoa-meista>
- formnext. AM FIELD GUIDE. (2019)
- Ironfoundry www-sivut. (n.d). Hardness. Viitattu 20.12.2022. <http://www.iron-foundry.com/hardness-hrc-hrb-hb.html>
- Gebhardt, K. T. (2019). 3D Printing, Understanding Additive Manufacturing.
- Hetitec www-sivut. (n.d). Materiaalit. Viitattu 12.01.2023. <https://hetitec.com/de/materialien/>
- Hod Lipson, M. K. (2013). Fabricated: The New World of 3D printing.
- Hämeenaho, T. & Järvitalo, T. (01.12.2022). Paneelikeskustelu. Tampere, Messukeskus.
- ISO 52910. Additive manufacturing. (2020). Design, Requirements, guidelines and recommendations. Standard Norge.
- Järvitalo, T. (25.10.2022). Toimitusjohtaja. 3D-formtech. Haastattelu.
- Kongsberg www-sivut. (n.d). Maritime. Viitattu 23.10.2022. <https://www.kongsberg.com/maritime/products/propulsors-and-propulsion-systems/thrusters/us-azimuthing-thruster/>

Kongsberg. (2022). The Full Picture. Kongsberg Maritime's scope of delivery.

Kongsberg www-sivut. (n.d). Kongsberg Maritime. Viitattu 14.10.2022.
<https://www.kongsberg.com/maritime/>

Makerbot www-sivut. (n.d). 3D-printers. Viitattu 21.11.2022. <https://www.makerbot.com/3d-printers/replicator-z18/>

Materflow. Youtube, Avaaja. 05.05.2020. Kuvankaappaus Youtube-videosta:
<https://www.youtube.com/watch?v=35Q9TGF9zto&t=9s>

Materflow www-sivut. (n.d). SLM Selective Laser Melting. Viitattu 7.10.2022.
<https://www.materflow.com/slm-selective-laser-melting/>

Materflow www-sivut. (n.d). Viitattu 12.01.2023. <https://www.materflow.com/>

Postdicom. (22. Lokakuu 2020). Blog. Viitattu 23.11.2022. <https://www.postdicom.com/fi/blog/ct-and-mri-imaging>

Sciencedirect www-sivut. (2021). Anisotropy. Viitattu 15.11.2022.
<https://www.sciencedirect.com/topics/neuroscience/anisotropy>

Sciencedirect www-sivut. (2022). Polymers for 3D Printing. Teoksessa J. Izdebska-Podsiadly, Methods, Properties and Characteristics (s. 23-34). Viitattu 21.12.2022
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128183113000094#!>

Sciencedirect www-sivut. Directed energy deposition. (2015). Viitattu 2.11.2022
<https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/directed-energy-deposition>

Steelnavigator www-sivut. (n.d). s355. Viitattu 20.12.2022. <https://steelnavigator.ovako.com/steel-grades/s355/>

The engineering projects www-sivut. (2021). What is 3d printing. Viitattu 15.10.2022. <https://www.theengineeringprojects.com/2021/06/what-is-3d-printing-definition-technology-and-applications.html>

Treatstock www-sivut. (n.d). Dimension Elite. Viitattu 21.11.2022.
<https://www.treatstock.com/machines/item/132-dimension-elite>

Voxeljet www-sivut. (n.d). Sand Casting. Viitattu 04.01.2023. <https://www.voxeljet.com/3d-printing-solution/sand-casting/>

Voxeljet www-sivut. (n.d). VX2000. Viitattu 21.11.2022. <https://www.voxeljet.de/industrielle-3d-drucker/serienproduktion/vx2000/>