

Opinnäytetyö (AMK)

Energia- ja polttomoottoritekniikka

2019

Justus Korhonen

3D-TULOSTUKSEN JA VAKUUMIVALUN OMINAISUUDET JA VERTAILU

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Energia- ja polttomoottoritekniikka

2019 | 21 sivua 2 liitesivua

Justus Korhonen

3D-TULOSTUKSEN JA VAKUUMIVALUN OMINAISUUDET JA VERTAILU

Tässä opinnäytetyössä tutustuttiin ja vertailtiin 3D-tulostuksen ominaisuuksia vakuumivaluun. 3D-tulostustekniikoista tarkastelussa olivat stereolitografia, lasersintraus ja metallin lasersintraus. Työ toteutettiin Ajatec Oy:lle, joka hyödyntää kyseisiä tekniikoita toiminnassaan päivittäin.

Teoriaosuudessa käydään läpi eri tekniikoiden perusteet, toimintaperiaatteet ja historia. Osiossa havainnollistetaan stereolitografian nestemäisen hartsin kovetus ultraviolettilaserilla, lasersintrausten pulverin kovettaminen hiilidioksidilaserin avulla ja vakuumivalun valuprosessi valukammiossa.

Loppuosuudessa valmistustekniikoita vertailtiin keskenään niiden keskeisimpien ominaisuuksien perusteella. Työssä todettiin tekniikan paremmuuden riippuvan paljolti haluttavasta materiaalista, sen pinnanlaadusta ja tuotantomääristä. 3D-tulostuksessa pinnanlaatu on selkeästi heikompi, kun taas valamalla ei muotista johtuen saada tehtyä esimerkiksi tiettyjä kartiomaisia muotoja. Karkeasti lajiteltuna metallit soveltuvat paremmin 3D-tulostukseen, kun taas muovit vakuumivaluun.

ASIASANAT:

3D-tulostus, stereolitografia, lasersintraus, metallin lasersintraus, Ajatec Oy.

BACHELOR'S / MASTER'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Energy and combustion engine technology

2019 | 21 pages 2 appendices

Justus Korhonen

3D PRINTING AND VACUUM CASTING FEATURES AND COMPARISON

This thesis explored and compared the properties of 3D-printing to vacuum casting. The 3D-printing techniques were stereolithography, laser sintering, and metal laser sintering. The thesis was carried out for Ajatec Oy, which utilizes these technologies on its daily basis.

The theory section includes the basics of different technologies, how they work and what is their history. The section also illustrates the curing of liquid resin of stereolithography with an ultraviolet laser, the curing of powder for laser sintering with a carbon dioxide laser, and the vacuum casting process.

In the end, the manufacturing techniques were compared based on their key characteristics. In this thesis, the superiority of the technology was found to be largely depended on the desired material, its surface quality and production volumes. In 3D-printing the surface quality is clearly lower, while vacuum casting due to the mold, for example certain conical shapes cannot be made. When roughly sorted, metals are better suited for 3D printing, while plastics are more suitable for vacuum casting.

KEYWORDS:

3D-printing, stereolithography, laser sintering, metal laser sintering, vacuum molding, Ajatec Oy.

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO	6
1 JOHDANTO	7
2 3D-TULOSTUS	8
2.1 Stereolitografia (SLA)	8
2.1.1 Historia	9
2.1.2 Toimintaperiaate	9
2.2 Lasersintraus (SLS)	10
2.2.1 Historia	10
2.2.2 Toimintaperiaate	11
2.3 Metallin lasersintraus (DMLS)	12
2.3.1 Historia	12
2.3.2 Toimintaperiaate	12
3 VAKUUMIVALU	14
3.1 Historia	14
3.2 Käyttökohteet	15
4 VALMISTUSTEKNIKOIDEN VERTAILU	17
4.1 Polyamidien testaus	17
4.2 Pinnanlaatu	18
4.3 Muoto	18
4.4 Valmistusmäärä	19
4.5 Aika	19
4.6 Hinta	19
5 PÄÄTELMÄT	20
LÄHTEET	21
LIITTEET	5-1

KUVAT

Kuva 1. 3D-tulostuksen toimintaperiaate. (Hausman & Horne 2014).	8
Kuva 2. Stereolitografian toimintaperiaate. (Hausman & Horne 2014).	10
Kuva 3. Lasersintrauksen toimintaperiaate. (Muoviyhdistys 2016).	11
Kuva 4. Metallin lasersintraus. (Proto Labs Oy 2019).	13
Kuva 5. Vakuumivalun toimintaperiaate. (Yumpu 2010).	14

TAULUKOT

Taulukko 1. Polyuretaanien ominaisuuksia. (Ajatec 2018).	16
Taulukko 2. Ruiskuvalun mekaanisia ominaisuuksia. (Valuatlas 2018).	17
Taulukko 3. Materiaaliominaisuudet eri menetelmillä. (Valuatlas 2018).	18
Taulukko 4. Muovien ominaisuuksia. (Proto labs 2019).	Liite 5-1
Taulukko 5. Metallien ominaisuuksia. (Proto Labs 2019).	Liite 5-2
Taulukko 6. Elastomeerien ominaisuuksia. (Proto Labs 2019).	Liite 5-2

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

DMLS	Metallin lasersintraus (Proto Labs 2019)
SLA	Stereolitografia (Proto Labs 2019)
SLS	Lasersintraus (Proto Labs 2019)

1 JOHDANTO

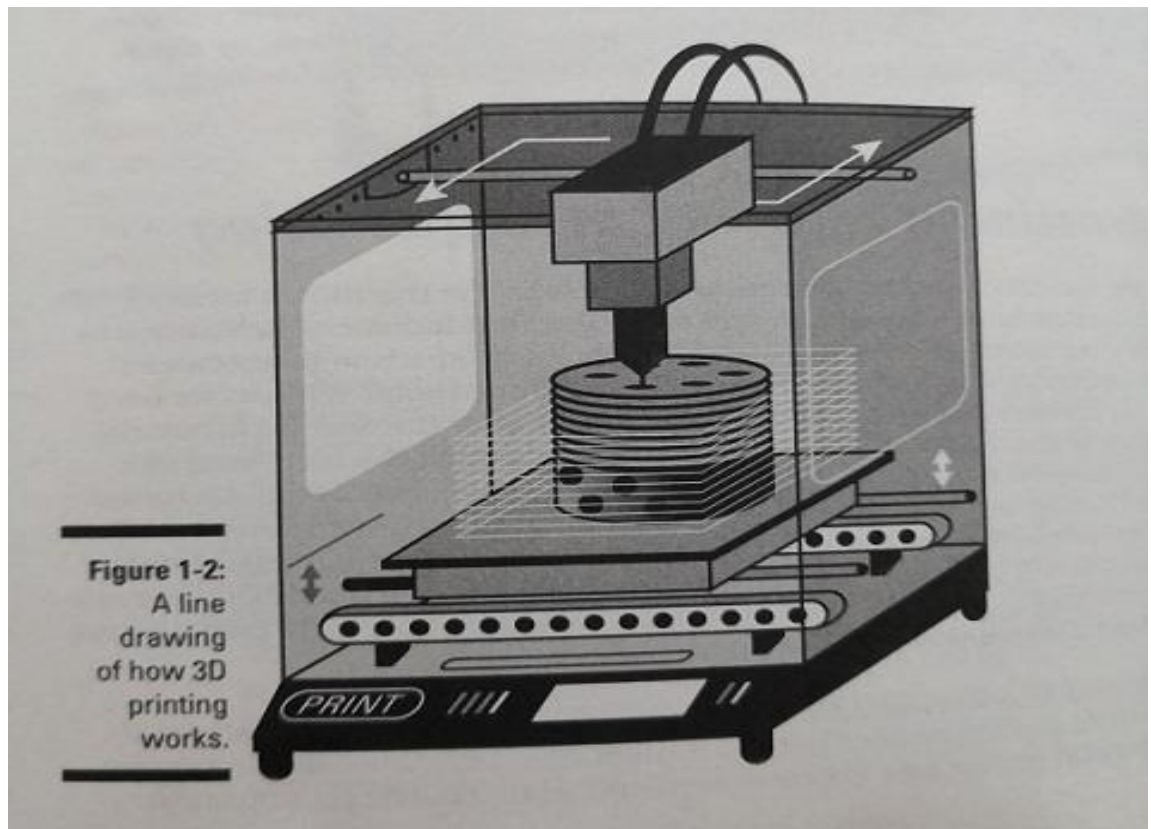
Tässä opinnäytetyössä selvitetään 3D-tulostuksen ja vakuumivalun keskeisimmät ominaisuudet ja toimintaperiaatteet, sekä vertaillaan kyseisiä valmistustekniikoita keskenään. 3D-tulostustekniikoissa perehdytään stereolitografiaan, lasersintraukseen ja metallin lasersintraukseen.

Opinnäytetyö tehdään tutkimuksellisenä toimeksiantona Ajatec Oy:lle perehtyen yrityksen käyttämiin valmistustekniikoihin ja niiden vertailuun. Tutkimuskohteeksi valitut valmistustekniikat perustuvat niiden käyttötarkoitukseen yrityksessä. 3D-tulostettua osaa käytetään masterina eli esimerkkikappaleena, jonka avulla valmistetaan muotti. Tämän jälkeen muotti vakuumivaletaan ja näin ollen saadaan myytäväksi menevä osa. Eri valmistustekniikoilla tehtävät osat antavatkin hyvät lähtökohdat vertailuun muun muassa niiden toleranssien, sekä lujuus- ja kustannustehokkuuksien kannalta.

Koko nimeltään Ajatec prototyping oy on turkulainen Ruskolla sijaitseva prototyyppeihin ja piensarjoihin keskittyvä yritys. Yrityksen liikevaihto on noin 2,1 milj. (Kauppalehti, yritykset 2018). Ajatecin juuret sijoittuvat 1970-luvun lopulle Elomaticin perustaessa pienen protopajan lähinnä keskittyen pienoismalleihin laivatekniikkaan telakalle. 1980-luvulla Electrolux liitti yrityksen osaksi konserniaan, joka lisäsi yrityksen henkilökunnan kasvua ja uudelleen fokusointia. Tästä eteenpäin 1990-luvulla yrityksen toimintamalli eteni ja loi pohjan nykyiselle. Vuosituhannen vaihteessa 3D-tulostuksen vakiintuessa normaaliksi vaiheeksi työkehitysprosessia, Alphaform konserni osti osan yrityksestä. Tällöin yhdistyivät 3D-tulostus, ruiskupuristus ja CNC-koneistus ja Suomessa keskityttiin muoviosien tulostukseen ja valuun. 2015 Proto Labs oy osti Alphaform ryhmän, jolloin digitaalista valmistusta parannettiin. Huhtikuussa 2018 Ajatec Oy osti koko osakekannan ja yritys siirtyi kotimaiseen omistukseen toiminnan jatkuen samanlaisena, kuin aiemminkin. (Ajatec Oy 2018.)

2 3D-TULOSTUS

3D-tulostus on ainetta lisäävä valmistusmenetelmä, jossa tulostettava kappale syntyy materiaalia lisäämällä kerros kerrokselta (3dtech). Kuvassa 1 havainnollistetaan 3D-tulostuksen periaate



Kuva 1. 3D-tulostuksen toimintaperiaate. (Hausman & Horne 2014).

2.1 Stereolitografia (SLA)

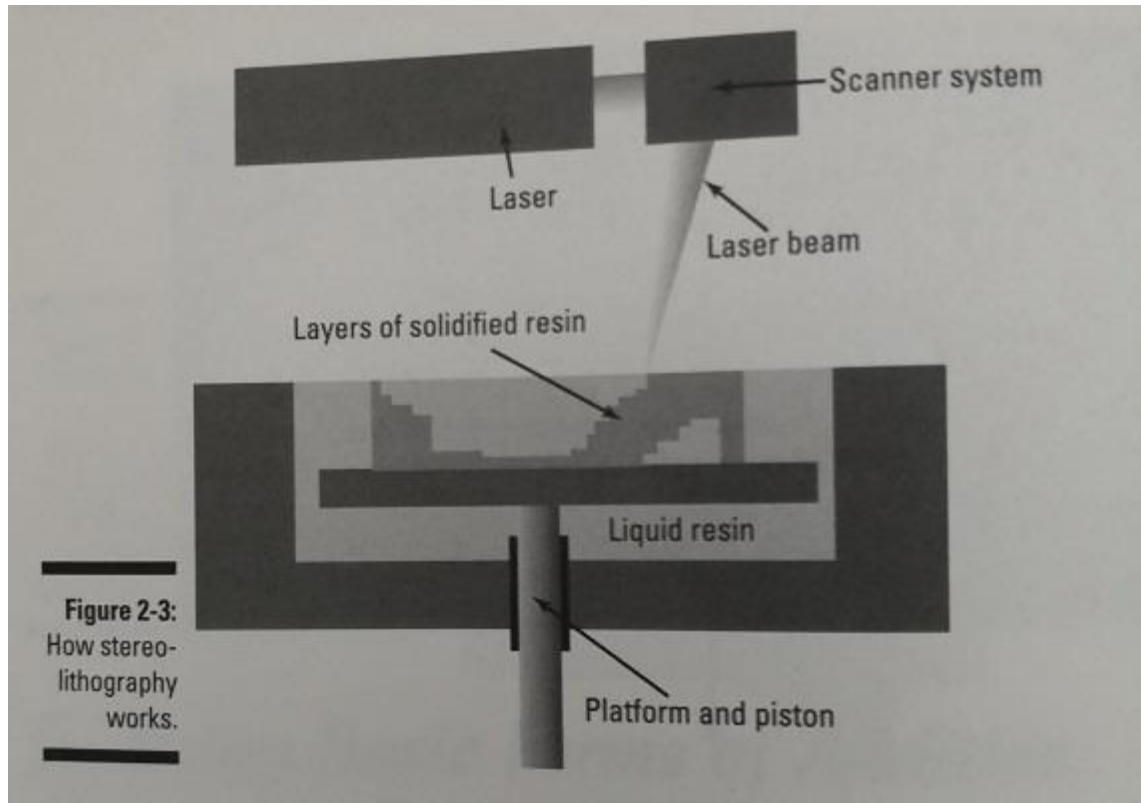
Stereolitografia perustuu fotopolymeerin eli nestemäisen hartsin kovettamiseen. Pienen pisteeseen keskitetty ultraviolettilaser piirtää hartsin pintaan, jolloin se kovettuu. Tämä toistetaan useina ohuina kaksikulotteisina kerroksina, jolloin näistä muodostuu valmiita osia (Proto Labs Oy 2019.)

2.1.1 Historia

Stereolitografian historia pohjautuu 1980-luvun alkuun, jolloin japanilainen tutkija Hideo Kodama keksi kerrostetun lähestymistavan korjata valoherkkiä polymeereja ultravioletisäteiden avulla. Nykyinen käytössä oleva menetelmä ja nimi stereolitografia patentoitiin 1984 Charles W. Hullin toimesta, joka myös perusti 3D Systems -yrityksen kaupallistaakseen teknologian. Myöhemmin tekniikka laajeni tietokoneiden työpöytien alustoille sopivaksi, joka mahdollisti stereolitografian käytön laajemmin (Formlabs 2019.)

2.1.2 Toimintaperiaate

Stereolitografia käyttää keskitettyä ultraviolettilaserta muuttaakseen nestemäisen fotopolymeerin kiinteään muotoon. Prosessi tapahtuu liikuteltavalla alustalla fotopolymeerialtaan yläpuolella. Alusta uppoaa altaaseen muodostaen ohuen kerroksen nestettä. Ultraviolettilaser kulkee edes takaisin nesteen yli luoden ensimmäisen kerroksen tulos-tettavasta kappaleesta. Alustaa laskemalla päästetään enemmän nestettä altaaseen, jolloin ensimmäinen kerros peittyy, joka mahdollistaa toisen kerroksen rakennuksen ensimmäisen päälle. Jokaisen kerroksen tulee liittyä kiinni alla olevaan kerrokseen tai tukiranteeseen, jottei kappale pääse liikkumaan pois paikaltaan uusien kerroksien alta. Tukirakenteet voidaan myöhemmin poistaa. (Hausman & Horne 2014, 25-26.) Kuvassa 2 havainnollistetaan stereolitografian toimintaperiaate.



Kuva 2. Stereolitografian toimintaperiaate. (Hausman & Horne 2014).

2.2 Lasersintraus (SLS)

Lasersintraus perustuu hiilidioksidilaseriin, joka piirtää kuumennettuun kestmuovipulveripetiin muuttuen pulverin kiinteään muotoon. Jokaisen kerroksen jälkeen pulveria levitetään uusi kerros, kunnes osat ovat valmiita. (Proto labs Oy 2019.)

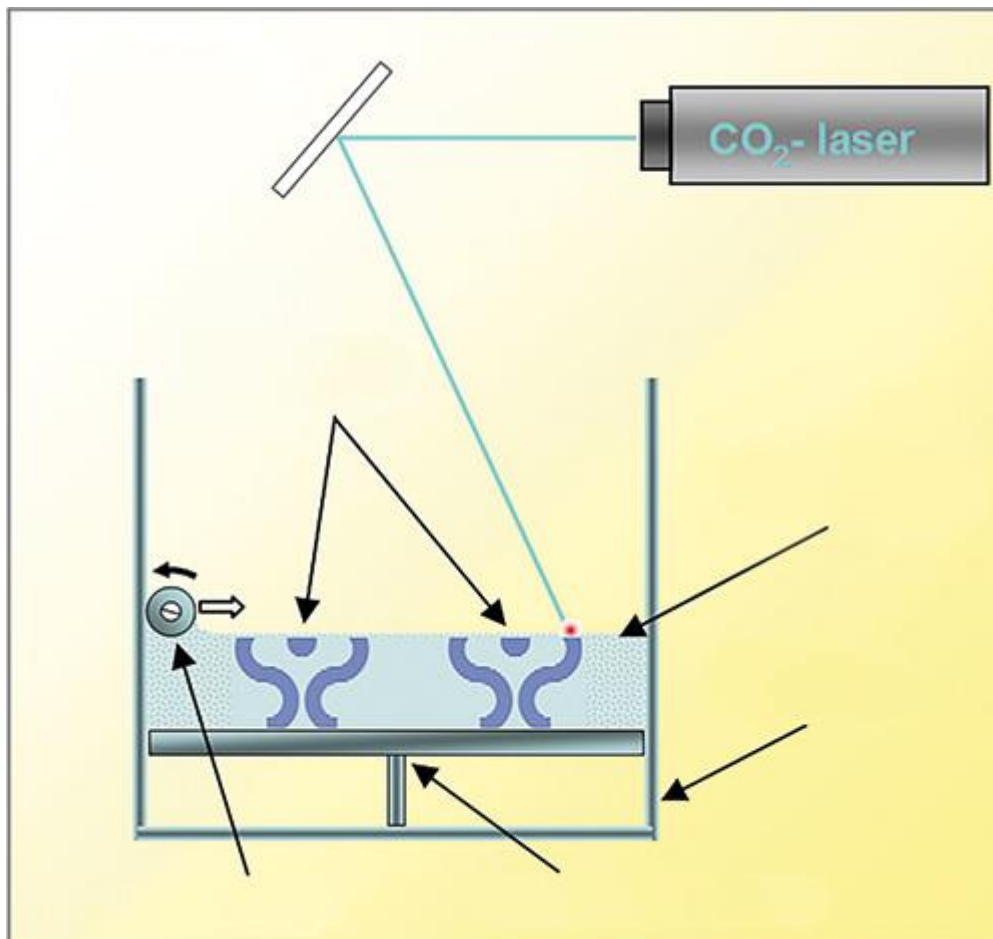
2.2.1 Historia

Lasersintraus kehitettiin 1980-luvulla Yhdysvalloissa Texasin yliopistossa Austinissa. Idean tekniikalle sai aikaiseksi silloinen opiskelija Carl Deckard, joka vuonna 1984 keksi ajatuksen käyttää suunnattua lasersädettä hiukkasten sulattamiseksi yhdessä. Tämän jälkeen hän sai professorinsa Joe Beamanin mukaan projektiin ja he rupesivat yhdessä kehittämään hanketta. Vuonna 1986 Deckard haki ensimmäisen patentin ja samalla hän, Beaman, Paul F. McClure ja Harold Blair perustivat ensimmäisen SLS-yhtiö Nova Automationin. 1989 uusien investointien myötä nimeksi vaihtui DTM Corporation ja McClure

valittiin toimitusjohtajaksi. Tämän jälkeen alettiin valmistaa laitteita kaupalliseen tuotantoon. Vuonna 1992 markkinoille tuotiin ensimmäiset modernit tuotantokoneet. (Utexas 2012.)

2.2.2 Toimintaperiaate

Lasersintrauksessa hiilidioksidilaser sulattaa ja sintraa pulverimaisen muoviraaka-aineen yhteen. Aluksi vastakkaiseen suuntaan pyörivä rulla levittää pulveria ohuen kerroksen liikkuvalla alustalle. Tämän jälkeen ohjattu lasersäde kulkee pulverikerrosta pitkin sulattaen polymeerin muodostaen noin 0,1mm paksuisen kerroksen. Jokaisen kerroksen jälkeen alustaa lasketaan alaspäin, jolloin rulla levittää uuden kerroksen pulveria. (Muoviyhdistys 2016.) Kuvassa 3 havainnollistetaan lasersintrauksen toimintaperiaate.



Kuva 3. Lasersintrauksen toimintaperiaate. (Muoviyhdistys 2016).

2.3 Metallin lasersintraus (DMLS)

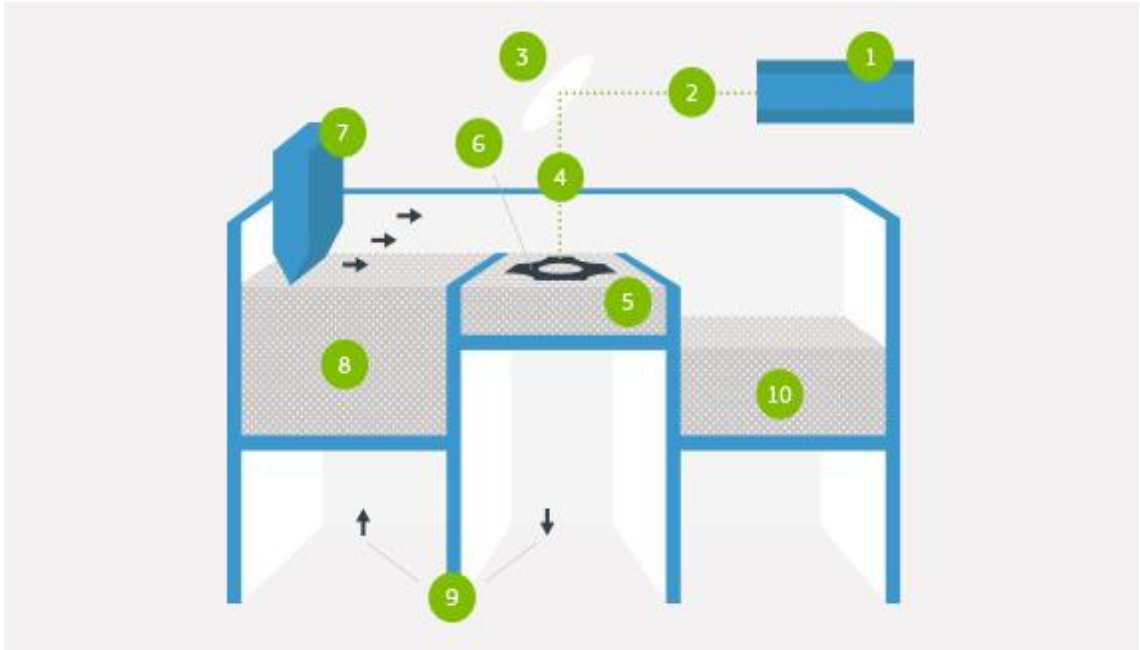
Metallin lasersintrauksen toiminta perustuu laseriin, joka piirtää haluttua kuviota metallipulverin pintaan muuttaen sen kiinteäksi. Jokaisen kerroksen jälkeen pinnalle levitetään uusi kerros pulveria toistaen toimenpide, kunnes haluttu metalliosa on valmis.

2.3.1 Historia

Ensimmäiset kosketukset teknologiaan ovat lähtöisin patenttihakemuksista 1970-luvulta. 1971 Pierre Ciraud jätti patenttihakemuksen koskien menetelmää, jossa jauhemaista materiaalia levitettäisiin substraatin, eli kasvualustan päälle ja kovetettaisiin energiasäteen avulla. Tekniikkaa oli kuitenkin mahdotonta kaupallistaa johtuen puutteellisista tietokone- ja lasertekniikoista. Kuusi vuotta myöhemmin 1977 Ross Housholder jätti perusteellisemmän ja kehittyneemmän patenttihakemuksen, muttei kyennyt testaamaan keksintöään kunnolla johtuen resursseista. Patentti olikin pitkään tuntematon, kunnes DTM corporation lisensoi sen ja hyödynsi sitä liiketoimintansa suojelemiseen. 1980-luvun puolivälissä tekniikkaa kaupallistettiin Chuck Hullin ja 3D-systems yrityksen kautta. Tarkentavat patentit metallin lasersintraukselle haettiin 1987 Michael Feygin ja 1988 Frank Arcellan toimesta. Tämän jälkeen 1990-luvulla tekniikka kehittyi entisestään ja menetelmä RapdiTool julkaisiin 1995 DTM:n toimesta, jonka myöhemmin 3D Systems osti 2001. 2000-luvulla menetelmä kehittyi valtavasti muun muassa vetolujuuksien ja laadun osalta. Vuonna 2004 esiteltiin ensimmäinen uuden sukupolven järjestelmä. (Shellabear & Nyrhilä, DMLS - Development history and state of the art 2004.)

2.3.2 Toimintaperiaate

Aluksi rulla levittää ohuen kerroksen alumiini- tai titaanijauhetta kammiossa olevalle alustalle. Tämän jälkeen tulostuskammio lämmitetään, mutta jauhe ei kuitenkaan vielä sulaa, koska se ei saavuta sulamispistettä. Seuraavaksi laser nostaa haluttujen alueiden sulamispistettä sintraten ne valmiiksi osaksi kerros kerrokselta. (Fabian 2019.) Suurimpana erona SLS-tekniikkaan on lämpötila. Metallien lasersintrauksessa lämpötilan tulee olla 1510-1600 asteen välillä, kun taas polyamideissa lämpötilat pysyvät 160-200 asteen välillä. (Sculpteo 2019.) Kuvassa 4 havainnollistetaan metallin lasersintrauksen toimintaperiaate.



Kuva 4. Metallin lasersintraus. (Proto Labs Oy 2019).

DMLS -tulostimen komponentit: laseryksikkö (1), lasersäde (2), Peili (3), keskitetty ja suunnattu säde (4), rakennuskammio (5), valmistettu osa (6), päällystinterä (7), jauheen syöttösäiliö (8), männät (9), pulverinkeräysastia (10).

3 VAKUUMIVALU

Vakuumivalu tapahtuu alipainekammiossa. Kammioon laitetaan haluttavan osan mukaan tehty silikonimuotti, johon valetaan 2-komponenttiraaka-aine, joka polymeroituu valussa polyuretaaniksi. Tämän jälkeen muotti laitetaan 60C asteiseen uuniin, jossa aine muotin sisällä kovettuu. Kovettumisaika vaihtelee tunnista puoleentoista tuntiin. Tämän jälkeen silikonimuotti valukanavineen irrotetaan osasta ja näin saadaan valmis kappale. Yhdellä muotilla pystytään valamaan noin 50 osaa. (Yumpu 2010.) Alipaineessa valaminen myös estää viat pinnassa ja sen huokoisuudessa (play-azlab 2018). Kuvassa 5 havainnollistettuna vakuumivalun toimintaperiaate



Kuva 5. Vakuumivalun toimintaperiaate. (Yumpu 2010).

3.1 Historia

Muovien historian voidaan katsoa alkaneen vuodesta 1851, kun Alexander Parkes keksi selluloidin. Selluloidista tehty ensimmäinen sovellus oli biljardipallo, jonka kehitti jon Wesley Hyatt vuonna 1968 pyrkien korvaamaan selluloidilla norsunluun. Ensimmäiset demonstraatiot eivät kuitenkaan onnistuneet biljardipallojen hajotessa ja ensimmäinen ruiskuvalukone patentoitiinkin vasta 1872 Hyattin ja hänen veljensä Isaiahin toimesta.

Kaupalliseen valmistukseen pääosa tällä hetkellä käytössä olevista muoveista tuli 1930-1950- luvulla. Laitetekniikka kehittyi roimasti 1940-luvulla, kun James Hendry kehitti mäntäkäyttöisen valukoneen tilalle ruuvikäyttöisen vuonna 1946. Ruuvikäyttöisessä

etuna on ruuvin massaa sekoittava vaikutus ja sekoituksen aikana tuotava ulkoinen mekaaninen energia. Tästä eteenpäin tekniikka kehitettiin eteenpäin kokeellisen työn tuloksiin perustuen. (Ruiskuvalu, Järvelä, Syrjälä, Vastela, 2000.)

Ensimmäinen tyhjiössä muoveja muovaava kone patentoitiin vuonna 1964. Tyhjiön käyttäminen paransi lopputulosta huomattavasti, kun valuihin ei jäänyt enää ilmasta johtuvia heikkoja kohtia. Vuonna 1970 tekniikka oli kehittynyt jo hyvin lähelle nykypäivänä käytettävää ja se patentoitiinkin vuonna 1974. (Displaydevelopements 2019.)

3.2 Käyttökohteet

Vakuuvalu soveltuu erityisen hyvin pieniin tuotantoeriin. Esimerkiksi prototyyppeihin. Yhdellä muotilla voidaan valaa 20-25 osaa ennen muotin rikkoutumista. Saatavan tuotteen koko riippuu paljolti vakuuikkammion koosta. Yleisimmin kammiossa voidaan valaa 900 mm x 900 mm x 750 mm kokoisia muotteja. Pääasiallisena materiaalina vakuuvaluksa käytetään polyuretaania. (Ajatec oy 2018.) Taulukossa 1 on listattuna eri polyuretaanien ominaisuuksia.

Taulukko 1. Polyuretaanien ominaisuuksia. (Ajatec 2018).

Materiaali	Väri	Kovuus, shore	Vetolujuus, N/mm ²	Iskusitkeys, kJ/m ²	Taivutuslujuus, N/mm ²	Murtovenymä, %	HDT, C°	Vastaa lähinnä
6130	Opaali	90 A	16,5		64,1	200		TPE
UPX8400	Valkoinen	30-85 A	2,1-16,2			550-430	70	TPE
SG95	Läpinäkyvä	82 D	54	7,9(Izod)	2195	12	72	PC
PX5212	Läpinäkyvä	85 D	66	48 (Charpy)	2400	7,5	80	PC/UV-Stab
PX223HT	Musta	80 D	60	60 (Charpy)	2300	11	> 120	ABS
PX225	Opaali	85 D	70	50 (Charpy)	2500	9	70	ABS/PC
PX212	Läpinäkyvä	76 D	40	> 30 (Charpy)	1200	25	92	PP
PX205	Ruskea	70 D	25	Rikkoutumaton	500	100	55	PE
8263	Opaali	83	68	10 (Izod)	2200		80	FR UL94V-0

Taulukosta ilmenee materiaalikovuuksien olevan lähellä toisiaan. Lujusominaisuudet ovat polyuretaaneilla hyvät. Polyuretaani on myös kevyt materiaali, joten se soveltuu hyvin muotista irrotettavaksi. (Ajatec Oy 2018.)

4 VALMISTUSTEKNIKOIDEN VERTAILU

Tekniikoita vertailtaessa on lähdettävä huomioimaan kullekin valmistustavalle ominaiset piirteet, sekä mikä valmistustekniikoista on paras vaihtoehto millekin materiaalille. Vertailukohtia kyseisissä asioissa ovat mekaaniset ominaisuudet, valmistettavuuden ominaisuudet, pinnanlaatu ja hinta. (Proto labs 2019.) Opinnäytetyön lopussa liitteinä oleviin taulukoihin on jaoteltu parhaiten ruiskuvalulle ja 3D-tulostukselle soveltuvia muoveja, metalleja ja elastomeerejä, sekä niiden ominaisuuksia.

Taulukoista ilmenee metallien soveltuvan paremmin 3D-tulostukseen ja CNC-koneistukseen, kuin ruiskuvaluun.

4.1 Polyamidien testaus

Polyamidien, eli nylonien ominaisuuksiin kuuluu, että ne ovat lujia, jäykkiä, iskun-, kuluksen- ja kemikaalinkestäviä materiaaleja. Polyamidit voidaan jakaa rakenteensa perusteella kahteen eri ryhmään. Toisessa ryhmässä polyamidit muodostuvat vain yhden tyyppisistä monomeereista, eli toisiinsa sitoutuneista molekyyleistä. Näitä monomeereja ovat esimerkiksi PA6, PA11 tai PA12. Toisessa ryhmässä taas polyamidit muodostuvat kahdesta erilaisesta monomeerista, kuten PA66, PA69 tai PA610. (Savonia 2018.) Alla olevassa taulukossa 2 on nähtävissä ruiskuvalulla aikaansaatuja arvoja eri monomeerien kohdalla.

Taulukko 2. Ruiskuvalun mekaanisia ominaisuuksia. (Valuatlas 2018).

Mekaaninen ominaisuus	PA6	PA66	PA11	PA12
Myötölujuus/Murtolujuus (N/mm ²)	40	65	50	45
Murtovenymä (%)	200	150	500	300
Kimmokerroin (N/mm ²)	1400	2000	1000	1600
Iskulujuus (kJ/m ²)	Ei murre	Ei murre	Ei murre	Ei murre
Kovuus (Shore D)	80	80	72	72

Toisessa tutkimuksessa perehdyttiin PA12-muovikappaleiden materiaaliominaisuuksiin. Tutkimuksessa käytettiin Multi Jet Fusion 3D-tulostusmenetelmää, joka on yhdistelmä jauhepeti- ja sidosruiskutusainemenetelmiä. Menetelmässä itse kappale valmistuu jau-

hepedissä, mutta lasersulatuksen sijasta jauhepetiin ruiskutetaan sidosainetta ja lämpöenergia siirtyy infrapunavalon avulla. Toisena menetelmänä testauksessa käytettiin lasersintrausta. (Savonia 2018.)

Testisarjoista sarja A oli pinnoittamatonta materiaalia ja sarja B pinnoitettua. Molemmissa sarjoissa käytettiin Multi Jet Fusion –menetelmää. Sarja C oli pinnoitettua materiaalia ja siinä käytettiin menetelmänä lasersintrausta. Taulukkoon 3 on lisätty vielä ruiskuvalusta saadut arvot.

Taulukko 3. Materiaaliominaisuudet eri menetelmillä. (Valuatlas 2018).

Murtolujuus ja murtovenymä	A (MJF)	B (MJF)	C (SLS)	PA12*
Murtolujuus (N/mm ²)	45,6	45,1	47,2	45
Murtovenymä (%)	5,5	4,5	21,0	300
Shore D kovuusmittausten keskiarvot	85,3	86,0	87,8	68-72

Huomionarvoista tuloksissa on murtovenymä, jossa esiintyy eniten eroavaisuutta. Eroavaisuus selittyy 3D-tulostuksen valmistustavassa, joka perustuu kerroksittain tapahtuvaan valmistustapaan toisin kuin ruiskuvalussa. (Savonia 2018.)

4.2 Pinnanlaatu

Pinnanlaatua vertailtaessa voidaan todeta vakuumivalun olevan 3D-tulostusta edellä. Jos valmistettavaan tuotteeseen halutaan sileä pinta, on vakuumivalu kannattavampi menetelmä. Myös tarkoissa tekstuureissa ja vaativissa muodoissa pinnanlaadun erot kääntyvät vakuumivalun hyväksi. (Ajatec Oy 2019.)

4.3 Muoto

Tiettyjä muotoja haluttaessa tulee vakuumivalun kanssa ongelmia johtuen muotista. Valun jälkeen kappale tulee saada pois muotista ehjänä ja tämä aiheuttaa rajoituksia, joita 3D-tulostuksessa ei ole. Esimerkiksi tietynlaiset kartiomaiset muodot voivat aiheuttaa ongelmia. (Ajatec Oy 2019.)

4.4 Valmistusmäärä

Kappalemäärät vaikuttavat valmistustekniikan valintaan. Valmistusmäärien kasvaessa on kustannustehokkaampaa tehdä kappaleet vakuuivalulla. Esimerkiksi yli 100kpl määrissä on kannattavampaa valmistaa muotti ja valaa sen kanssa tarvittavat määrät. Laatuksiteerit määrittävät myös paljon kumpaa tekniikkaa kannattaa käyttää. Esimerkiksi hyvää pinnanlaatua haluttaessa on vakuuivalu kannattavampi. Pienissä esimerkiksi kymmenen kappaleen valmistusmäärissä 3D-tulostus on kannattavampi, koska muotin tekemiseen ja itse valuun kuluu suhteessa turhaa aikaa ja resursseja. (Ajatec Oy 2019.)

4.5 Aika

Ajallisesti huomionarvoisia seikkoja ovat valmistusmäärät. Vakuuivalua varten joudutaan tekemään muotti ja siihen kuluva aika tulee ottaa huomioon. Itse vakuuivalu ja kappaleen jäähmettyminen muottiin valun jälkeen on suhteellisen nopea noin kaksi tuntia kestävä prosessi, joten isoissa tuotantomäärissä vakuuivalu tulee nopeammaksi. Asiassa tulee tietysti ottaa huomioon myös viimeistelyyn kuluva aika. Esimerkiksi tiettyä pinnanlaatua haluttaessa, voidaan jokaista 3D-tulostettua osaa joutua jälkikäsittelemään. (Ajatec Oy 2019.)

4.6 Hinta

Hintaa vertailtaessa tulee ottaa huomioon valmistettavat määrät ja haluttu laatu. Vakuuivalussa muotin tekeminen maksaa, mutta suuria määriä tehdessä kustannukset alenevät suhteessa 3D-tulostukseen. Pieniä kappalemääriä tehdessä 3D-tulostuksen voidaan todeta tulevan halvemmaksi. Muottien kustannukset riippuvat tuotteen koosta ja osin myös muotin tekoon käytetystä ajasta, mutta hinnat vaihtelevat sadoista euroista kahteen tuhanteen euroon. Valukoneiden hinnat vaihtelevat kymmenistä tuhansista euroista satoihin tuhansiin, samoin kuin 3D-tulostimet. (Ajatec Oy 2019.)

5 PÄÄTELMÄT

Kokonaisuutena valmistustekniikoiden vertaileminen on vaikeaa johtuen niin monesta eri valmistettavaan kappaleeseen riippuvasta tekijästä. Kappalemäärät, laatu ja materiaali ovat avainasemassa valmistustekniikkaa valittaessa ja riippuukin erittäin paljon haluttavasta tuotteesta mitä valmistustekniikkaa kannattaa käyttää.

Selvänä heikkoutena 3D-tulostuksessa on siitä saatava pinnanlaatu. Sen kehittäminen tulevaisuudessa avaisi paljon uusia mahdollisuuksia valmistusmenetelmälle.

LÄHTEET

3D-techin julkaisema artikkeli. Viitattu 6.8.2019 <https://www.3dtech.fi/3d-ratkaisut/3d-tulostus-eli-ainetta-lisaava-valmistusmenetelma/>

Ajatec Oy. Viitattu 28.10. Ajatec.fi

Displaydevelopments -myyntisivuston julkaisema artikkeli. Viitattu 28.10.2019 <https://www.displaydevelopments.co.uk/vacuum-forming-history-i-133.html>

Fabian. "How DMLS really works" | materializen blogikirjoitus. Viitattu 21.9.2019 <https://i.materialise.com/blog/en/direct-metal-laser-sintering-dmls/>

Formlabsin julkaisema artikkeli. Viitattu 6.8.2019 <https://formlabs.com/blog/ultimate-guide-to-stereolithography-sla-3d-printing>

Hausman, K K. & Horne, R. 2014. 3D Printing for dummies. 1. painos. New Jersey: John Wiley & Sons Inc.

Järvelä P, Syrjälä K, Vastela M, 2000. Ruiskuvalu. 3. painos Tampere: Plastdata Oy

Konferenssiesitys. Viitattu 18.9.2019 <https://pdfs.semanticscholar.org/87af/24fe907c337cdeafec11c7cf2c5cd0aff7b.pdf>

Muoviyhdistyksen julkaisema artikkeli. Viitattu 13.9.2019 <http://www.muoviyhdistys.fi/2016/07/23/osa-21-ainetta-lisaavat-valmistusmenetelmat-additive-manufacturing/>

Mäkinen M. Tiilikainen A. Alonen A. "Muovin lisäävä valmistus ja materiaaliominaisuudet" Savonia-ammattikorkeakoulun blogikirjoitus. Viitattu 29.10.2019 <https://blogi.savonia.fi/3dtulostus/2018/11/08/muovin-lisaava-valmistus-ja-materiaaliominaisuudet-sls-vs-mjf/>

Play-azlabin julkaisema artikkeli. Viitattu 22.10.2019 <https://fi.play-azlab.com/biznes/6705-oborudovanie-dlya-litya-plastmass-v-silikonovye-formy-oborudovanie-dlya-litya-plastmass-pod-davleniem.html>

Proto Labs oy. Viitattu 14.11.2019. Protolabs.fi

Sculpteon julkaisema artikkeli. Viitattu 8.10.2019 <https://www.sculpteo.com/en/materials/dmls-material/>

Tampereen teknillisen yliopiston julkaisu. Viitattu 9.10.2019 <https://www.yumpu.com/fi/document/view/27374498/powerpoint/109>

Tamspark Oy:n julkaisema artikkeli. Viitattu 20.8.2019. <https://tamspark.fi/eos-3d-tulostuksen-edellakavija/>

Texasin yliopiston julkaisema uutisartikkeli. Viitattu 24.8.2019 <https://www.me.utexas.edu/news/news/selective-laser-sintering-birth-of-an-industry>

LIITTEET

Taulukko 4. Muovien ominaisuuksia. (Proto labs 2019).

Materiaalit	Ominaisuudet	Vetolujuus	Iskulujuus	Pehmenemislämpö	Murtovenymä	Valmistustekniikka
ABS	•Kosmeettinen ulkonäkö •Mittastabiilisuus •Iskunkestävyys	34.4-82.7 Mpa	160-400 J/m	60-93.3°C		Ruiskuvalu
HDPE	•Kestävyys •Iskunkestävyys •Jäykkyyks	19.1-31 Mpa	179 KJ/m ²	54.4-121.1°C		Ruiskuvalu
LDPE	•Halkeamankestävyys •Joustavuus •Iskunkestävyys	34 Mpa	273 KJ/m ²	54.4-87.7 C		Ruiskuvalu
PA (Nailon)	•Kestävyys •Lujuus •Lämmönkestävyys	41.3-199.9 Mpa	106-427 J/m	82.2-176.6°C		Ruiskuvalu
PBT	•Kemikaalinkestävyys •Mittastabiilisuus •Pieni kosteuden imeytyminen	41.3-120.6 Mpa	53-160 J/m	93.3-215.5°C		Ruiskuvalu
PC	•Mittastabiilisuus •Iskunkestävyys	62-158.5 MPA	106-960 J/m	65.5-148.8°C		Ruiskuvalu
PC-tyylinen	•Tarkkuus •Jäykkyyks •Lämmönkestävyys	57-61 Mpa				3D-tulostus
PEEK	•Kemikaalinkestävyys •Sterilisoinnin kestävä •Jäykkyyks •Lujuus					Ruiskuvalu
PEI	•Lämmönkestävyys •Iskunkestävyys •Lujuus	96.5-193 MPA	53-106 J/m	179.6-215.5°C		Ruiskuvalu
PET	•Kemikaalinkestävyys •Jäykkyyks •Lujuus	88 Mpa				Ruiskuvalu
POM	•Kemikaalinkestävyys	41.3-151.6 Mpa	40-106 J/m	82.2-148.8°C		Ruiskuvalu
PP	•Kemikaalinkestävyys •Liutinkestävyys	26.8-127.5 Mpa	26-293 J/m	48.8-148.8°C		Ruiskuvalu 3D-tulostus
PP-tyylinen	•Tarkkuus •Kestävyys •Joustavuus					3D-tulostus
PPS	•Kemikaalinkestävyys •Lämmönkestävyys	96.5-193 MPa	26-320 J/m	204.4-260°C		Ruiskuvalu
PTFE (Teflon)	•Kemikaalinkestävyys •Palonkestävyys •Lämmönkestävyys					CNC-koneistus
PVC	•Kemikaalinkestävyys •Korroosionkestävyys •Palonkestävyys	55 Mpa		72°C	20 %	CNC-koneistus
TPE/TPV	•Joustavuus	6.8-48.2 MPA		93.3-148.8°C		Ruiskuvalu
TPU	•Naarmuuntumisen kesto •Joustavuus •Iskunkestävyys	47.5-82.7 Mpa	40-553 J/m	65.6-121.1°C		Ruiskuvalu 3D-tulostus

Taulukko 5. Metallien ominaisuuksia. (Proto Labs 2019).

Materiaalit	Ominaisuudet	Vetolujuus	Kovuus	Murtovenymä	Valmistusprosessi
Alumiini	<ul style="list-style-type: none"> •Korroosionkestävyys •Hyvä lujuus - painosuhte •Lämmönkestävyys 	296-490 Mpa	55-87 HRB	8-6%	3D-tulostus CNC-koneistus
Messinki	<ul style="list-style-type: none"> •Kemikaalinkestävyys •Sitkeys •Lujuus 	310-421 Mpa	32-36 HRB	23-25%	CNC-koneistus
Hiiliteräs	<ul style="list-style-type: none"> •Pehmeys 	540 Mpa	85 HRB	10 %	CNC-koneistus
Kupari	<ul style="list-style-type: none"> •Korroosionkestävyys •Sähkönjohtavuus 	200-360 Mpa	40-110 HV	5-50%	CNC-koneistus
Inconel					3D-tulostus
Teräs	<ul style="list-style-type: none"> •Hyvä sitkeys ja lujuus •Lämpökäsiteltävyys 	3850-540 Mpa			CNC-koneistus
Maraging-teräs	<ul style="list-style-type: none"> •Hyvät mekaaniset ominaisuudet •Karkaistavuus 	1100 Mpa	35 HRC	11 %	CNC-koneistus
Ruostumaton teräs	<ul style="list-style-type: none"> •Korroosionkestävyys •Halkeamankestävyys 				3D-tulostus CNC-koneistus
Titaani	<ul style="list-style-type: none"> •Korroosionkestävyys •Lujuus •Lämmönkestävyys •Painoa pienentävä 				3D-tulostus CNC-koneistus

Taulukko 6. Elastomeerien ominaisuuksia. (Proto Labs 2019).

Materiaalit	Ominaisuudet	Kovuus	Repeymälujuus	Murtovenymä	Valmistusprosessi
LSR	<ul style="list-style-type: none"> •Kosmeettinen ulkonäkö •Kestävyys •Joustavuus •Lämmönkestävyys 	30-70 Shore A	21-29 N/mm	290-620%	Ruiskuvalu
LSR (Optinen)	<ul style="list-style-type: none"> •Bioyhteensopiva •Kemikaalinkestävyys •Lämmönkestävyys •Optinen kirkkaus 	74 Shore A		80 %	Ruiskuvalu