

Joel Jones

3D-tulostustekniikan hyödyntäminen tuotekehityksessä ja valaisimien valmistuksessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

6.11.2016

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Joel Jones 3D-tulostustekniikan hyödyntäminen tuotekehityksessä ja valaisimien valmistuksessa 25 sivua 6.11.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Konetekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Energia- ja ympäristötekniikka
Ohjaajat	Lehtori Heikki Paavilainen Tuotekehityspäällikkö Sami Yllikäinen
Tämän insinööriyön tarkoituksena oli pohtia 3D-tulostustekniikan hyötyjä tuotekehityksen tukena valaisintehtaalla. Lisäksi tavoitteena oli tarkastella valaisimien osien valmistusta 3D-tulostustekniikkaa hyödyntäen. Insinööriyön tilaajana toimi Hella Lighting Finland Oy, joka suunnittelee ja valmistaa valaisimia teollisuudelle ja yksityiskäyttöön. Työssä perehdytään yleisellä tasolla erilaisiin 3D-tulostusmenetelmiin ja 3D-tulostamisessa käytettäviin materiaaleihin. Tulostettava tuote pitää ensin suunnitella tietokoneella 3D-mallinnusohjelmalla. Tuotteen suunnittelussa tulee ottaa huomioon tuotteen lopullisen valmistusmenetelmän, esimerkiksi ruiskuvalutekniikan, tarpeet ja rajoitukset. Hella Lighting Finland Oy:llä on käytössään 3D-tulostin. Valaisimien valmistuksessa 3D-tulostettuja osia käytetään jo tällä hetkellä tuotekehityksessä konseptimallien tekemisessä ja uusien tuotteiden suunnittelussa. 3D-pikamallien etuna on se että, että uuden tuotteen mekaniikkaa ja toimivuutta voidaan testata käytännössä ennen lopullisen ruiskuvalumuotin tilaamista tai muottimuutosten tekemistä. Työssä pohdittiin myös 3D-tulostamisen soveltuvuutta sarjatuotantoon. Tällä hetkellä se ei ole yritykselle taloudellisesti kannattavaa, mutta sarjatuotantoon soveltuvia 3D-tulostimia on kehitteillä. Työssä pohdittiin myös 3D-tulostustekniikan hyödyntämistä ruiskupuristusmuottien tekemiseen.	
Avainsanat	3D-tulostus, valaisimien valmistus, tuotekehitys

Author Title Number of Pages Date	Joel Jones Utilization of 3D Printing Technology in Product Development and Luminaire Manufacturing. 25 pages 6 November 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Energy and Environmental Engineering
Instructors	Heikki Paavilainen, Senior Lecturer Sami Yllikäinen, Head of D&D
The goal of this Bachelor's thesis was to examine the benefits of 3D printing in the product development and production of a luminaire manufacturing company. In addition, the objective was to examine the possibilities of manufacturing luminaire parts using a 3D printer. The study was commissioned by Hella Lighting Finland Oy. Hella Lighting Finland Oy designs and manufactures luminaires for industrial and private use. The main focus was to familiarize with the current 3D printing methods and materials. To start with, the product has to be designed using 3D modeling software. In the design of a product, the production methods have to be taken into consideration, e.g. the needs and limitations of injection moulded parts. Hella Lighting Finland Oy owns a 3D printer. Currently, 3D printers are used in the product development to make parts that are used for the design process of new products and concept models. The benefits of 3D printing technology are that while designing a new product, the mechanics and the changes can be tested in practice before ordering the final mould for the injection moulding machine. Also, the suitability of 3D printing for mass production was examined. In its current state, 3D printing is not considered profitable for a company to be used in mass production. However, 3D printers for mass production are being developed. In addition, the utilization of 3D printing technology for injection moulds was analyzed as well.	
Keywords	3D printing, luminaire manufacturing, product development

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	3D-tulostaminen	1
2.1	3D-tulostamisen historia ja tulevaisuus	2
2.2	3D-mallinnus	4
2.3	3D-tulostusmenetelmät	5
2.3.1	Polyjet	6
2.3.2	Stereolithography (SLA)	7
2.3.3	Fused Deposition Modeling (FDM)	8
2.3.4	Selective Laser Sintering (SLS)	9
2.3.5	Direct Metal Laser Sintering (DMLS)	9
2.3.6	Laminated Object Manufacturing (LOM)	10
2.3.7	Continuous Liquid Interface Production (CLIP)	11
2.4	Tulostamisessa käytettävät materiaalit	11
2.4.1	Muovit	11
2.4.2	Puupohjainen polymeeri	12
2.4.3	Keramiikat	12
3	Valaisimien valmistus	13
3.1	Muoviosien valmistus	13
3.2	Metalliosien valmistus	15
4	3D-tulostuksen mahdollisuudet	15
5	3D-tulostus valaisinvalmistuksessa	16
6	Yhteenveto	21
	Lähteet	23

Lyhenteet

3D	Three Dimensional. Kolmiulotteinen.
ABS	Acrylonitrile butadiene styrene. Akryyliniitrilibutadienistyreeni.
CAD	Computer aided desing. Tietokoneavusteinen suunnittelu.
CLIP	Continuous Liquid Interface Production. Jatkuvasyöttöinen 3D-tulostustekniikka.
DMLS	Direct Metal Laser Sintering. Jauheen sulatukseen perustuva lisäävän valmistuksen teknologia.
FDM	Fused Deposition Modeling. Materiaalin pursotus.
LED	Light Emitting Diode. Hohtodiodi eli ledi. Elektroniikan komponentti, joka säteilee valoa.
LOM	Laminated Object Manufacturing. Laminointiin perustuva 3D-tulostustekniikka.
PA	Polyamide. Polyamidi, nailon.
PCB	Printed Circuit Board. Piirilevy.
PLA	Polylactic acid. Polylaktidi, biohajoava muovi.
SLA	Stereolithography. Valokovetteiseen muoviin perustuva lisäävän valmistuksen teknologia.
SLS	Selective Laser Sintering. Jauheen sulatukseen perustuva lisäävän valmistuksen teknologia.
UV	Ultraviolet. Ultravioletti.
WPC	Wood-plastic composite. Puupohjainen polymeeri.

1 Johdanto

3D-tulostus on tullut viime vuosina aikaisempaa tunnetummaksi, ja 3D-tekniikka on saavuttanut entistä suuremman yleisön. 3D-tulostus ei siltikään ole kaikkien tiedossa, vaikka se on ollut käytössä vuosikymmeniä [32]. Menetelmää on käytetty kauan valmistajien toimesta tutkimuskäytössä ja suunnitteluprosessissa, kun tehdään prototyyppejä tuotteista. 3D-tulostuksen kehitys sai vauhtia, kun lasersintraukselle haettu patentti raukesi helmikuussa 2014. Lasersintraus on yksi halvimmista tulostustekniikoista. [19.]

Insinööriyön tilaajana toimii Hella Lighting Finland Oy (myöh. HLF). Tämä on johtava yritys LED-valaisintuotteissa Pohjoismaissa. HLF suunnittelee ja valmistaa tuotteita ajoneuvoteollisuudelle, sekä LED-valaisimia asuinrakennuksiin, toimistoihin, hotelleihin, myymälöihin ja risteilyaluksiin. Yritys on perustettu Talmu-nimisenä vuonna 1955 ja vuodesta 1983 lähtien se on ollut Hella KGaA:n omistama. [9.]

HLF:llä on käytössä ruiskupuristuskoneita, joten opinnäytetyössä keskitytään ruiskupuristusosien valmistamiseen 3D-tulostamalla. Yrityksellä on käytössään FDM-teknologiaan perustuva 3D-tulostin, jota hyödynnetään tuotekehityksessä. HLF:llä on myös oma kappaleiden metallointi, jolla saadaan optisia osia pinnoitettua.

Työn tavoitteena on pohtia 3D-tulostustekniikan hyötyjä tuotekehityksen tukena ja tutkia valaisimien osien valmistamista 3D-tulostustekniikkaa hyödyntäen.

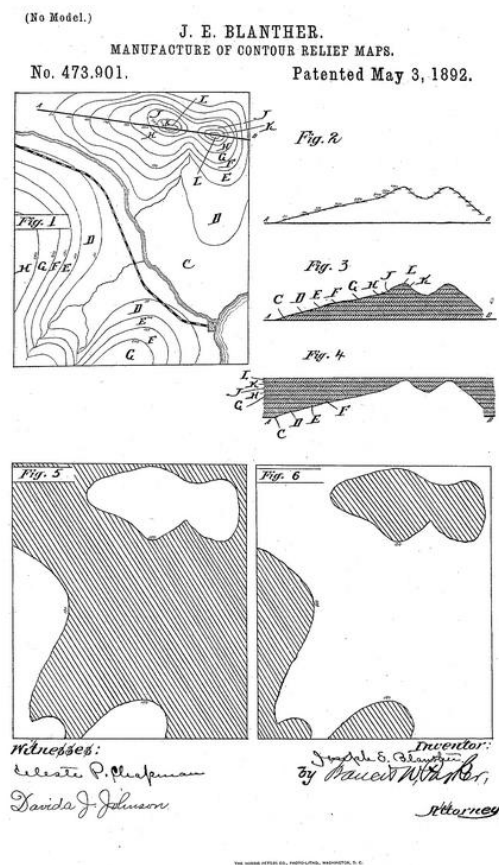
2 3D-tulostaminen

3D-tulostaminen tarkoittaa materiaalia lisäävää valmistusta. 3D-tulostustekniikan avulla on mahdollista tulostaa kappale 3D-mallista. Kappale jaetaan kerroksiin, jotka syötetään tulostimelle. 3D-tulostin tulostaa kappaleen yksi kerros kerrallaan liittäen tulostettavan kerroksen edelliseen. Näin muodostuu kappale 3D-mallin pohjalta. [1.]

2.1 3D-tulostamisen historia ja tulevaisuus

3D-tekniikka on ollut olemassa kauemmin kuin yleensä luullaan. Ensimmäinen 3D-tekniikkaan liittyvä havainto on 1860-luvulta: François Willèmen Photosculpture-tekniikka, joka tallentaa objektin 3D:nä. Tämä toteutetaan objektin ympärille sijoitetuilla kameroilla, jotka ottavat kuvan siitä kulmasta, johon kamera on sijoitettu. Yksittäiset kuvat muodostavat näin 3D-kokonaisuuden. [11, s. 19.]

Vuonna 1892 J. E. Blather ehdotti että, kartat tehtäisiin niin, että maan topografia jaetaan kerroksiin ja piirretään karttaan kaksiulotteisena. Blather patentoi topografisen kartan samana vuonna. Topografisen kartan periaate on esitetty kuvassa 1 olevassa patentissa. Viivojen etäisyys toisistaan kertoo maan korkeuserot, mitä lähemmällä viivat ovat, sitä jyrkempi korkeusero. [2.]



Kuva 1. Patentti topologiselle kartalle [6].

Ensimmäinen toimiva valokovetteiseen muoviin perustuva pikamallinnuslaitteisto julkistettiin vuonna 1981 Japanin Nagoyassa. Charles Hull keksi samankaltaisen prosessin 1984, ja patentoi sen myöhemmin vuonna 1987 nimellä stereolitografia (SLA). [10.]

Ensimmäisen FDM-tekniikkaan perustuvan 3D-tulostimen valmisti Stratasys vuonna 1991. Vuotta myöhemmin markkinoille tuli myös ensimmäinen SLA-tekniikkaan perustuva tulostin 3D Systemsiltä ja SLS-tekniikkaan perustuva tulostin DTM:ltä. 3D Systems osti DTM:n vuonna 2001. Stratasys ja 3D Systems ovat nykyään markkinoita johtavia 3D-tulostamiseen perustuvia yrityksiä. [10.]

Vuonna 1999 tiedemiehet onnistuivat ensimmäistä kertaa kasvattamaan uusia soluja potilaan omista soluista. Se toteutettiin tulostamalla soluille runko, joka päällystettiin potilaan omista soluista kasvatetuilla uusilla soluilla. Potilaan immuunijärjestelmä ei hylkää näitä implantteja, koska ne on rakennettu potilaan omista soluista. Seuraavat kymmenen vuotta olivat edistyksellisiä lääketieteelle, sillä tuona aikana saatiin tulostettua toimiva munuainen pienoismallina, monimutkaisia osia sisältävä jalkaproteesi, ja ensimmäiset verisuonet pelkästään ihmissoluista tulostettuina. [10.]

Nykyaikana eri materiaaleilla tulostaminen on mahdollista, joten suunnittelijat eivät enää ole pakotettuja tulostamaan ainostaan muovista. Esimerkiksi sormuksia saa tulostettua suoraan kullasta tai hopeasta, joten omannäköisen sormuksen tulostaminen on mahdollista. KOR Ecologic on valmistanut 3D-tulostamalla ensimmäisen auton, jolla päästään erittäin pieneen polttoaineenkulutukseen. [10.]

3D-tulostuksen on spekuloitu aiheuttavan seuraavan teollisen vallankumouksen. Tekniikalla on tulostettu jo rakennuksia. Kun 3D-tulostimet tulevat nopeammiksi, helppokäyttöisemmiksi ja useiden materiaalien tulostus on mahdollista, tekniikka yleistyy. [1.]

2.2 3D-mallinnus

Computer Aided Design (CAD), eli tietokoneavusteinen suunnittelu, tarkoittaa tietokoneen ja siihen liitettyjen järjestelmien käyttämistä mallin luomiseen, muokkaamiseen, analysointiin tai optimointiin. Tietokonejärjestelmään kuuluu laitteisto (tietokone, näytöt, näppäimistöt) ja ohjelmisto (tietokoneohjelmat, mallinnusohjelmat). CAD-ohjelmia käytetään kasvattamaan suunnittelijan tuottavuutta, parantamaan suunnittelun laatua, selkeyttämään kommunikointia dokumentoinnissa ja luomaan tietokanta valmistukselle. [17, s. 3.]

3D-mallinnusohjelmia on paljon eri valmistajilta, mutta kaikilla on sama tarkoitus: 3D-mallien luominen, muokkaaminen, analysointi ja optimointi. 3D-mallinnusta hyödyntävät mm. arkkitehdit, insinöörit, taiteilijat ja suunnittelijat, luomaan tarkkoja piirustuksia tai teknisiä kuvituksia. CAD-ohjelmistoja käytetään 2D-piirustusten tai 3D-mallien luomiseen. 3D-mallinnusohjelmassa luodaan malli, joka syötetään 3D-tulostimelle STL-formaatissa. [17, s. 4.]

STL (Stereolithography), kehitettiin alunperin pikavalmistuslaitteistoihin siirrettävän datan esitystavaksi. STL-formaatti on yksinkertainen geometriatiedon esitystapa. Mallin geometria muutetaan kolmioiksi. Geometrian nurkkapisteet, niitä yhdistävät käyrät ja pinnan normaalit tallennetaan ja nämä tiedot esitetään seitsemällä rivillä tekstiä. STL on varma ja luotettava tiedonsiirtoformaatti sen yksinkertaisuuden ja yksiselitteisyyden takia. [14, s. 259.]

STL-tiedostomuodon suurimpana ongelmana pidetään kolmioinnista aiheutuvaa epätarkkuutta. Kun geometriaa kolmioidaan, kaarevista pinnoista joudutaan tekemään approksimaatio, sillä pintakolmiot ovat aina tasopintoja. Tämä aiheuttaa sen, että pintakolmiot eivät noudata aivan tarkasti pinnan kaarevuutta. [14, s. 259.]

3D-mallinnuksessa on tärkeää ottaa huomioon kappaleen lopullinen valmistustapa. 3D-tulostamisella saadaan melkein minkälainen kappale tahansa tulostettua, mutta muilla valmistusmenetelmillä on omat rajoituksensa. Esimerkiksi ruiskuvalutuotteissa on otettava huomioon seinämien paksuudet, sillä liian suuret aineenvaihtelut saavat aikaan imuja, jotka näkyvät kuvassa 2. Lisäksi ruiskuvalutuotteiden mallintamisessa on otettava huomioon kappaleen oikeanlainen suunnittelu, jotta kappale irtaoo muotista.



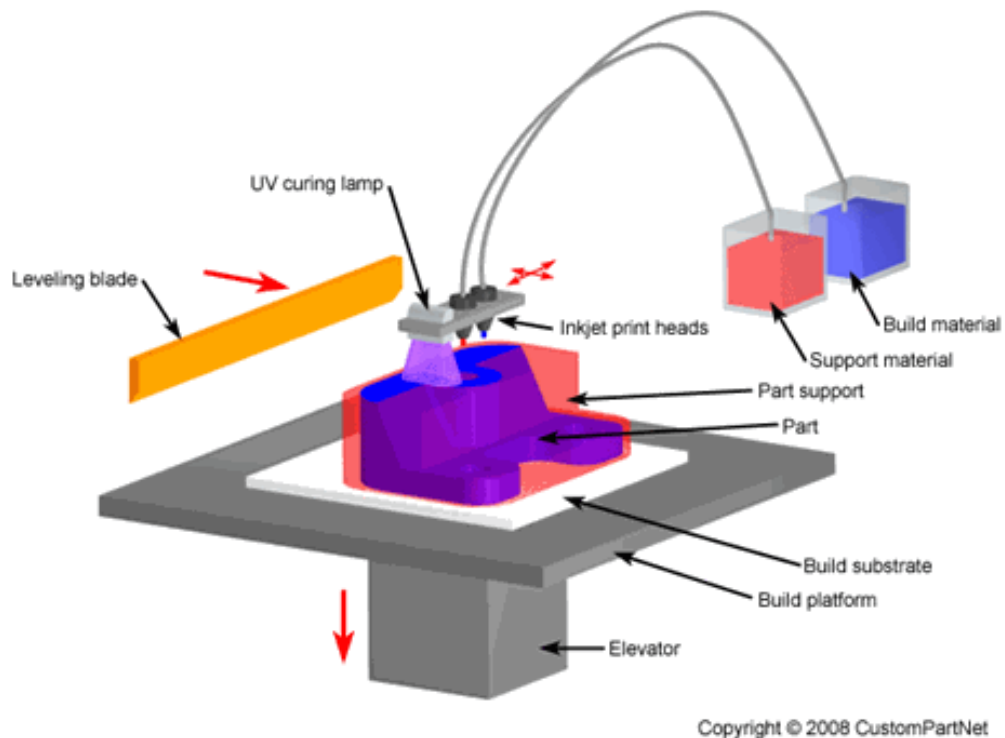
Kuva 2. Ruiskuvalukappaleeseen syntyneet imut.

2.3 3D-tulostusmenetelmät

Kappaleita voidaan valmistaa 3D-tulostamalla monella eri tavalla. Kappaleen kerroksittainen rakentaminen on kaikille tulostusmenetelmille yhteistä. Kappale muodostuu tulostusalustalle ja tulostettavaan kappaleeseen on lisättävä tukimateriaalia kohtiin, joissa kappale muuten rakentuisi tyhjän päälle. Tukimateriaali varmistaa, että kappale pysyy koossa tulostuksen ajan. Tukimateriaali sitten poistetaan jälkeinpäin mekaanisesti tai syövyttämällä. Joissakin menetelmissä tukimateriaalia ei tarvita.

2.3.1 Polyjet

Polyjet-tulostimet ovat viimeisin lisäys 3D-tulostimiin. Israelilaisen yrityksen, Objet Geometriesin vuonna 2000 kehittämä tulostustekniikka hyödyntää kahta 3D-tulostimien tekniikkaa. Polyjet-tulostimissa on kaksitoiminen tulostuspää, joka suihkuttaa nestettä ohuin kerroksin tulostustasolle, ja samaan aikaan kovettaa nesteen ultraviolettivalolla. Kuvassa 3 on esitelty Polyjet-tulostimen toimintaperiaate ja rakenne. [16, s. 70.]



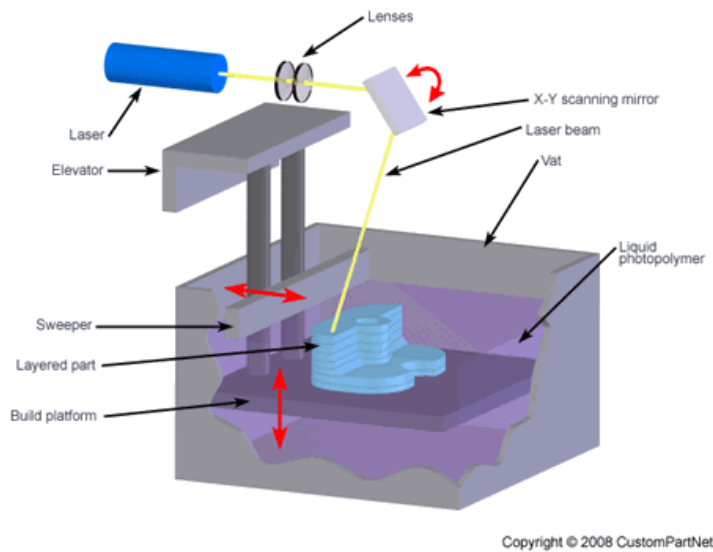
Kuva 3. Polyjet-tulostusprosessi [12].

Polyjet-tulostamistekniikalla pisaroiden suihkuttaminen on nopeaa ja erittäin tarkkaa, joten sillä päästään 16 μm :n kerrostarkkuuteen. Polyjet-tulostimen tarkkuus tekee siitä ideaalisen teolliseen tai lääketieteelliseen käyttöön, jossa korkea resoluutio on tärkeää. Polyjet-tulostimissa voidaan käyttää useaa tulostuspäätä, joten erilaisten materiaalien tulostus samalla tulostuskerralla on mahdollista. [16, s. 70.]

Polyjet-tulostimien huono puoli on, että materiaalina toimii vain UV-kovetteinen muovi, photopolymeeri. Materiaali on kallis, ja se on suhteellisen haurasta ja särkyvää. Tämä rajoittaa sen käyttökohteita. [16, s. 70.]

2.3.2 Stereolithography (SLA)

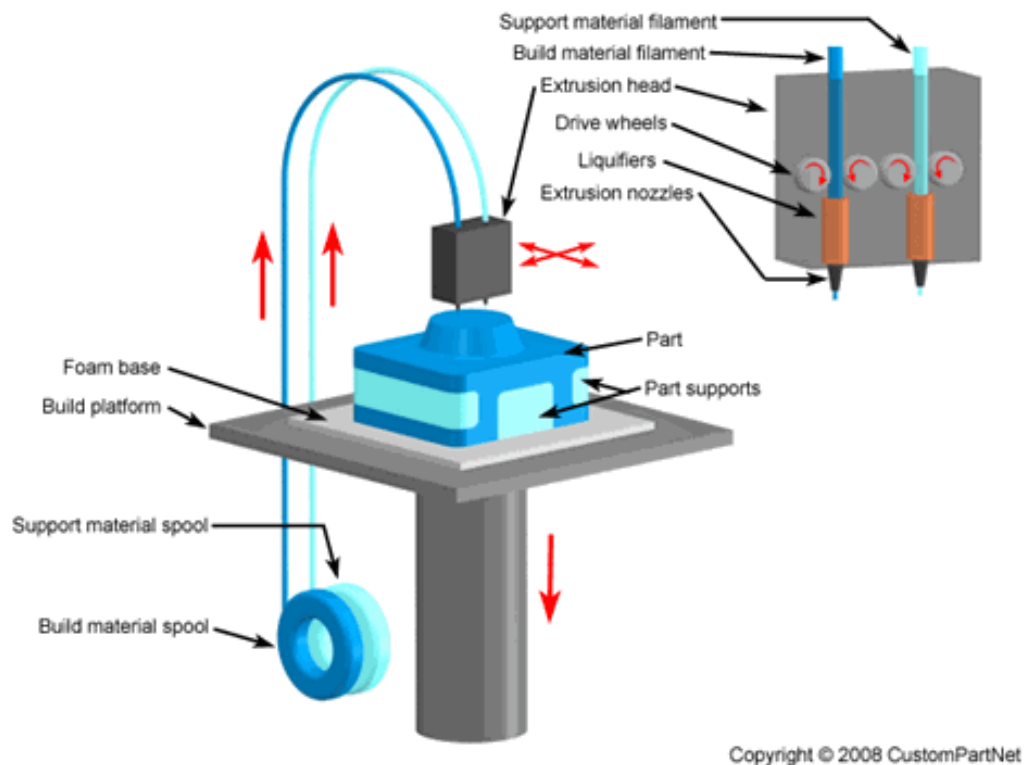
SLA-tulostustekniikan toimintaperiaate on polymeeriliuoksen kovettaminen kerroksittain UV-laserilla. SLA-prosessi aloitetaan upottamalla tulostustaso aivan polymeeriliuoksen pinnan alapuolelle. Tasoituslevy tasoittaa kerroksen haluttuun kerrospaksuuteen. Ensimmäinen kerros kovetetaan UV-laserilla 3D-mallin mukaiseen muotoon. Tasoa lasketaan liokseen valitun kerrospaksuuden verran. Kuvassa 4 on esitelty SLA-tulostimen toimintaperiaate ja rakenne. SLA-tulostustekniikka on yleisimmin käytetty tulostustekniikka. [25.]



Kuva 4. SLA-tulostusprosessi [25].

2.3.3 Fused Deposition Modeling (FDM)

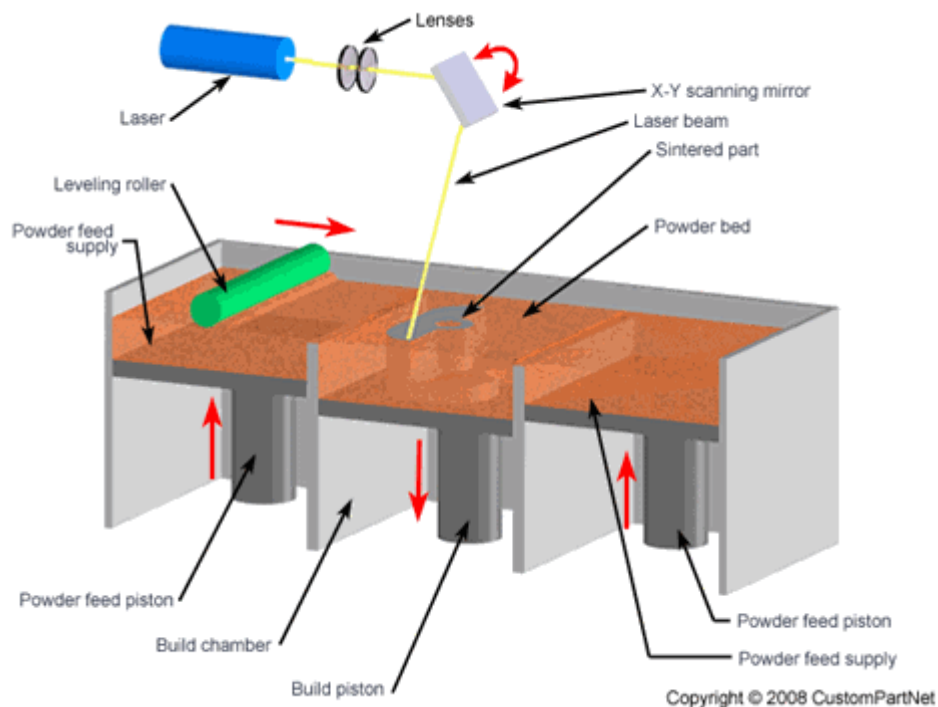
FDM-tulostus perustuu muovin tai vahan pursottamiseen suuttimen läpi. Raaka-aine syötetään nauhana tai rakeina suuttimeen, jossa se lämmitetään sulamispisteen yli. Sulanut raaka-aine pursotetaan suuttimen läpi tulostustasolle, jossa se jäähtyessään yhdistyy alla olevaan kerrokseen ja näin muodostaa 3D-kappaleen. FDM-tulostimen toimintaperiaate ja rakenne on esitelty kuvassa 5. [8.]



Kuva 5. FDM-tulostusprosessi [8].

2.3.4 Selective Laser Sintering (SLS)

SLS-tulostustekniikka on hyvin samanlainen kuin SLA-tulostustekniikka, mutta siinä käytetään polymeeriliuoksen sijasta jotakin jauhetta (polymeeri- tai metallijauhetta). Laser-säde sulattaa jauhemaisen raaka-aineen muodostaen yhden kerroksen kappaletta. Taso laskee sen jälkeen kerrospaksuuden verran alaspäin. SLS-tekniikassa ei tarvita minkäänlaista lisättyä tukimateriaalia, sillä ylimääräinen jauhe toimii tukimateriaalina jokaiselle kerrokselle. SLS-tulostimen toimintaperiaate ja rakenne on esitelty kuvassa 6. [24.]



Kuva 6. SLS-tulostusprosessi [24].

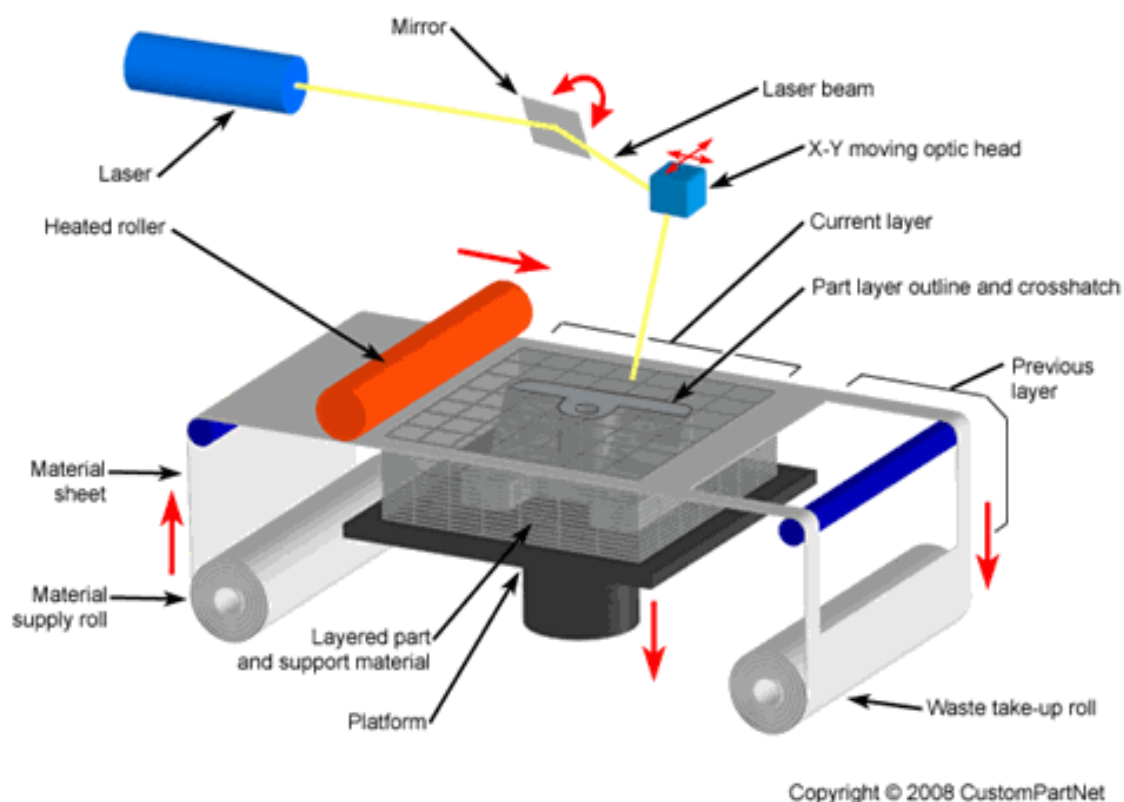
2.3.5 Direct Metal Laser Sintering (DMLS)

DMLS-tulostustekniikka kehitettiin vuonna 1994, ensimmäisenä kaupallisena tapana tulostaa metallia yksittäisessä prosessissa. DMLS-tekniikka käyttää metallijauhetta, jossa ei ole sitovia tai joustavia aineita. Laser-säde sulattaa jauheen, ja lopputuotteen ominaisuudet ovat vastaavat kuin oikeassa materiaalissa. Tulostusmateriaaleina toimivat nykyään metalliseokset, ruostumaton teräs, työkaluteräs, alumiini, pronssi, koboltti-kromi ja titaani. [7.]

Kun polymeerisidosaine jätetään pois, vältetään ylimääräisiltä työvaiheilta ja saadaan 95 % tiheydeltään oleva metalliosa, verrattaen vain 70 %:n tiheyteen SLS-tekniikalla. Etuna DMLS-tekniikassa verrattuna SLS-tekniikkaan on, että DMLS-tekniikalla saadaan parempi tarkkuus ja pienempi kerrospaksuus, sillä jauheen hiukkaskoko on pienempi DMLS-tekniikassa. [7.]

2.3.6 Laminated Object Manufacturing (LOM)

LOM-tulostustekniikan toimintaperiaate on yksinkertainen. Materiaali ohjataan työtasolle, jossa laser leikkaa muodon kerrokselle ja lämmitetty rulla yhdistää uuden kerroksen edelliseen kerrokseen. Taso laskee aineen vahvuuden verran alaspäin ja prosessi toistuu. Materiaali kulkee yhtenäisenä uuden materiaalin rullasta, ja jättemateriaali kerätään rullalle koneen vastakkaiselle puolelle. Kuvassa 7 on esitelty LOM-tulostimen toimintaperiaate ja rakenne. Materiaalien puolesta LOM-tulostustekniikka on erittäin laaja. Materiaaleina toimivat paperi, PVC, komposiitit, metallit ja keramiikka. [15.]



Kuva 7. LOM-tulostusprosessi [15].

2.3.7 Continuous Liquid Interface Production (CLIP)

CLIP-tulostustekniikka eroaa muista tulostusmenetelmistä sen toimintaperiaatteen takia. Tulostettava kappale toistetaan tulostustasolle jatkuvana ja UV-valo kovettaa sen portaattomasti. Kappaleihin ei tule kerroksien rajoja, vaan kappaleen pinta on aivan tasainen. CLIP-tekniikalla saadaan tulostettua kappaleita noin 100 kertaa nopeammin kuin muilla menetelmillä [3].

2.4 Tulostamisessa käytettävät materiaalit

Materiaalivalikoima on laajentunut huomattavasti 3D-tulostuksen alkuajoista. Materiaaleja on paljon erilaisia, ja niitä tarjotaan jauheena, lankana, pelletteinä, granulaatteina ja hartsina. Tulostusmateriaaleja on myös suunniteltu erityissovelluksiin ja -aloihin, kuten hammastekniikassa, jossa materiaalit soveltuvat paremmin hammasalalle asetettuihin vaatimuksiin kuin tavalliset tulostusmateriaalit. [27.]

2.4.1 Muovit

Nylon

Polyamidia (PA) eli tutummin nylonia käytetään 3D-tulostuksessa paljon, sintrausprosessissa jauheena, tai FDM-prosessissa nauhana. Se on ominaisuuksiltaan kestävä ja joustava muovi, joka soveltuu hyvin 3D-tulostukseen. Polyamidi on normaalisti valkoinen muovi, mutta sitä voidaan värjätä halutun väriseksi ennen tulostusta, tai tulostuksen jälkeen. [27.]

Akryyliniiriilibutadieenistyreeni eli ABS

Akryyliniiriilibutadieenistyreeni, eli ABS, on myös paljon käytetty 3D-tulostuksessa. Harrastetason koneissa käytetään usein ABS-muovia sen kestävyys takia. Sitä saa kaikenvärisenä. Sitä on markkinoilla helposti saatavilla, joten se soveltuu harrastekäyttöön. [27.]

Polylaktidi eli PLA

PLA on biohajoava muovi, ja se on kasvattanut suosiotaan viime aikoina ekologisuutensa takia. PLA ei ole niin kestävä muovi kuin ABS ja PA, mutta sitä saa myös läpinäkyvänä, joten se on hyödyllinen valinta joihinkin sovelluksiin. [27.]

Metallit

Myös metalleja voidaan tulostaa 3D-tulostimella. Alumiini ja koboltin johdannaiset ovat yleisimmin käytettyjä teollisessa 3D-tulostamisessa. Ruostumaton teräs on yksi kestävimmistä materiaaleista, ja sen takia sitä käytetään usein. Ruostumaton teräs on jauheena, ja se saadaan kiinteäksi esimerkiksi sintraamalla DMLS-prosessissa. Ruostumaton teräs on yleensä hopeanväristä, mutta siitä saadaan myös kullanvärinen pinnoittamalla. [27.]

2.4.2 Puupohjainen polymeeri

Wood polymer composite (WPC) sisältää 40 % kierrätettyä puuainesta ja 60 % polymeerisidosaineita, jotka mahdollistavat pursottamisen suuttimen läpi FDM-tekniikassa. WPC-tulosteet näyttävät aivan puulta, ja ne ovat työstettävissä samalla tavalla kuin puukappaleetkin. WPC-kappaleeseen saadaan tummempia kohtia muokkaamalla suuttimen lämpötilaa, ja kappaleet muistuttavat enemmän oikeaa puuta. [28.]

2.4.3 Keramiikat

Keramiikka on ensimmäinen 3D-tulostusmateriaali, joka on turvallinen ruoka-alustaksi, eli siitä voi tehdä esimerkiksi lautasia tai kuppeja. Keramiikat ovat kovimpia materiaaleja maailmassa. Ne kestävät kuumia lämpötiloja ja jotkin kestävät kitkaa, raapimista ja muita mekaanisia rasituksia, jotka yleensä kuluttaisivat metallia ja muovia. Monimutkaisia muotoja on ollut kuitenkin vaikea tehdä. 3D-tulostimella vaikeatkin muodot onnistuvat. 3d-tulostetut keraamiset osat vaativat lasituksen kappaleen pintaan samoin kuin keramiikka, jota ei ole tulostettu. [22.]

3 Valaisimien valmistus

Valaisimien valmistus alkaa tuotekehityksessä konseptoinnilla, eli uuden tuotteen ideoinnilla. Konseptin perusta saadaan useimmiten asiakkaan materiaalista, joka yleensä sisältää valaisimen ulkopintoja tai muotoja. Mekaniikkasuunnittelu, optiikkasuunnittelu ja elektroniikkasuunnittelu tehdään näiden pintojen ympärille.

Valaisimia on paljon erilaisia, mutta niissä on kaikissa samat perusosat, joista valaisin koostuu. Valaisimessa tarvitsee olla jonkinlainen moduuli tai valonlähde ja liitäntälaitte, esimerkiksi virtalähde, ja nämä yhdessä muodostavat valaistusjärjestelmän. Jos valonlähteen valokeilaa halutaan suunnata johonkin suuntaan, tarvitaan optiikkaa. Esimerkiksi heijastajan tai linssin avulla voidaan rajata valokeilaa haluttuun suuntaan. Valaisin tarvitsee jonkinlaisen rungon, jotta se saadaan kiinnitettyä esimerkiksi kattoon, ja se pitää osat paikallaan. Runkoja tai valaisimen muita osia voidaan valmistaa erilaisista materiaaleista, esimerkiksi muovista ja metallista.

Jotkin muovi- ja metalliosat valaisimissa ovat sellaisia, joita tehdas pystyy itse valmistamaan taloudellisesti kannattavasti. Joitain osia, kuten ruuveja, on kannattavampaa tilata alihankintana. Seuraavana on esitelty erilaisia muovi- ja metalliosien valmistusmenetelmiä.

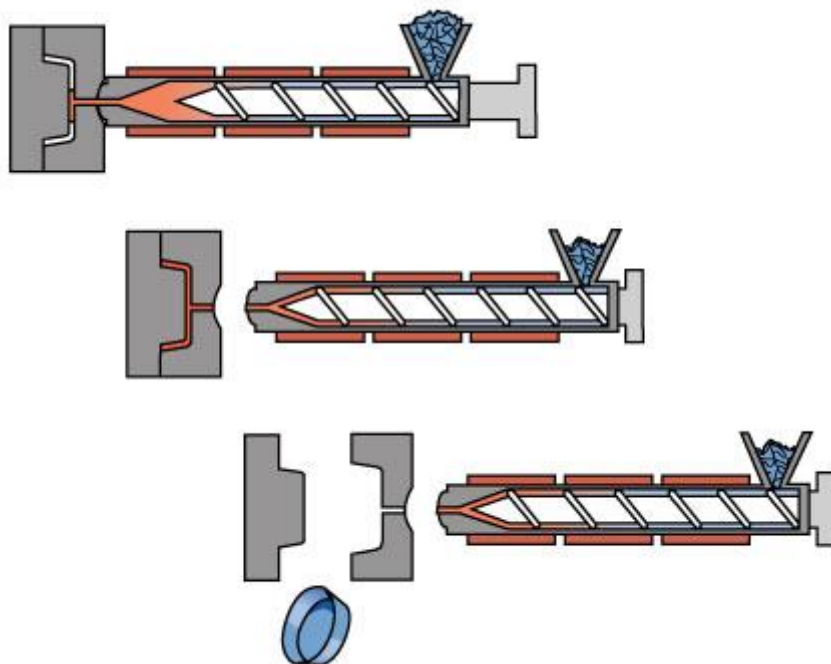
3.1 Muoviosien valmistus

Muoviosia voidaan valmistaa ruiskuvalulla, ekstruusiomenetelmällä, rotaatiovalulla, puhallusmuovauksella ja lämpömuovauksella. HLF:llä valmistetaan muoviosat itse ruiskuvalutekniikalla. Ruiskuvalu sopii monimutkaisten kappaleiden tekemiseen, ja näin valaisimien osien muotoihin parhaiten. HLF:llä on käytössä omat ruiskuvalukoneet, joilla voidaan valaa näitä osia.

Ruiskuvalumenetelmä on tarkoitettu ensisijaisesti polymeerimateriaalien prosessointiin. Ruiskuvalamalla saadaan kappaleita, jotka ovat käyttövalmiita suoraan muotista tullessaan. Ruiskuvalu sopii kappaleiden massatuotantoon alhaisen kappalehinnan

takia. Ruiskuvalumenetelmä valitaan tuotantomenetelmäksi siinä tapauksessa, kun halutaan muotovalukappale, joka ei sovellu ekstruusiomenetelmään, rotaatiovaluun, puhallusmuovaukseen tai lämpömuovaukseen. [23.]

Ruiskuvalukoneeseen syötetään muovigranulaattia, joka sulatetaan paineen, kitkan ja lämmön avulla. Ruuvi vetäytyy taakse ja työntää sulan muovin muottiin. Kappale jäähdytetään ja muotti aukeaa. Kappale poistetaan muotista ulostyöntäjien avulla tai ruiskuvalukoneeseen liitetyn robotin avulla. [20.] Ruiskuvalutekniikan toimintaperiaate on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Ruiskuvalukoneen toimintaperiaate [31].

Ekstruusio eli suulakepuristus on valmistusprosessi, jossa muovigranulaatti plastisoidaan paineen, kitkan ja lämmön avulla. Sulanut muovi puristetaan sitten extruuderin ruuvin avulla suulakkeen läpi. Suulakkeessa on erilaisia muotoja, kuten putken muoto tai erilaisien profiilien muotoja. [29.]

Rotaatiovalussa käytettävä kone pyörittää muottia kahden akselin ympäri. Muotti on ohutseinäinen metallimuotti, jotta lämpö siirtyy tehokkaasti muotin läpi. Muoviraaka-aine laitetaan muottiin, ja se suljetaan. Kone siirtää muotin uuniin, jossa muoviraaka-aine sulaa ja takertuu muotin seinämiin. Muotti otetaan ulos uunista ja jäähdytetään,

minkä jälkeen se avataan. Rotaatiovalulla saadaan tehtyä isoja muovikappaleita, esimerkiksi ajoneuvojen polttoainesäiliöitä, palloja ja purjelautoja. [30.]

Puhallusmuovaus on tarkoitettu onttojen kestopuovituotteiden valmistukseen. Sitä käytetään pullojen, kanistereiden ja säiliöiden valmistukseen. Puhallusmuovausmenetelmässä putkimainen tai kuppimainen aihio suljetaan muotin sisälle lämmitettynä ja sen sisälle puhalletaan ilmaa, minkä seurauksena se laajenee muottiontelon seinämien muotoiseksi. [4.]

Lämpömuovauksessa lämmitetään kestopuovista tehtyä levyaihiota. Yleisimmin käytetty lämpömuovausmenetelmä on tyhjiömuovaus, jossa levy lämmitetään vastuksilla tai infrapunakuumentimilla ja imetään alipaineella haluttuun muotoon. Kappalemäärät ovat suhteellisen pieniä, muutamasta kappaleesta satoihin kappaleisiin. [4.]

3.2 Metalliosien valmistus

HLF tilaa alihankkijoilta metalliosia, joita ovat esimerkiksi jäähdityselementit. Ne valmistetaan matalapainevaluna silumiinista (AlSi10Mg). Silumiini on metalliseos, joka sisältää alumiinia, piitä ja magnesiumia. Metalliseoksessa oleva pii tekee seoksen juoksevammaksi kuin puhdas alumiini. Pii pienentää myös kappaleen kutistumia. [5.]

Matalapainevalu on kokillivalun sovellus. Matalapainevalussa oleva kaasun ylipaine nostaa sulan metallin putkea pitkin uunin yläpuolella tai sivulla olevaan muottiin. Ylipaine poistetaan, kun kappale on jähmettynyt, ja ylimääräinen metalli valuu takaisin syöttöaltaaseen. Valumenetelmää käytetään metalliseoksille, kupariseoksille, valuraudoille ja teräkselle. Valurauta on yleisin muottimateriaali, mutta rautametallien valamiseen käytetään grafiittimuotteja, koska niiden kestävyys on parempi. [18.]

4 3D-tulostuksen mahdollisuudet

3D-tulostamalla voidaan helposti ja nopeasti valmistaa yksilöityjä osia, minkä vuoksi 3D-tulostus soveltuu valmistusmenetelmänä hyvin tuotekehitykseen ja tuotteen ideointiin. 3D-tulostustekniikkaa hyödynnetään tuotekehityksessä erilaisissa

prototyypeissä. Mekaaniset muutokset voidaan testata etukäteen, ennen kuin tehdään muutos ruiskuvalumuottiin. Muottimuutokset ovat usein kalliita ja niiden tekeminen kestää viikkoja.

3D-tulostamiselta vaaditaan vielä kehitystä, että se saadaan massatuotantoon kannattavaksi. Nykyään tulostimien nopeudet eivät riitä kilpailemaan ruiskuvalun kanssa ja kappaleen hinta tulee liian kalliiksi. Tekniikoiden kehittyessä kuitenkin lähestytään koko ajan sitä, että 3D-tulostus tulisi vartenotettavaksi vaihtoehdoksi osien valmistamiseen massatuotannossa.

Varaosien valmistamisessa 3D-tulostamisella on suuri etu. Varaosien varastoinnin tarve poistuu, kun siirrytään niin kutsuttuihin On-Demand-toimituksiin. Osat valmistetaan silloin, kun varaosatilaus saapuu. Yrityksillä on tällä hetkellä hyllyissä suuri määrä varaosia, joita tarvitaan harvoin tai niiden tarve ilmenee vasta vuosien päästä. Varaosien varastointi on yrityksille kallista ja ei-kannattavaa. [13, s. 64.]

Suuret autonvalmistajat ovat myös aktiivisesti mukana 3D-tulostettujen varaosien hyödyntämisessä. Esimerkiksi Mercedes Benzin kuorma-autoihin saa syyskuusta 2016 alkaen alkuperäisiä muovisia SLS-tulostustekniikalla valmistettuja varaosia. Rolls Royce, BMW ja Daihatsu ovat kehittämässä vastaavia ratkaisuja. [13, s. 64.]

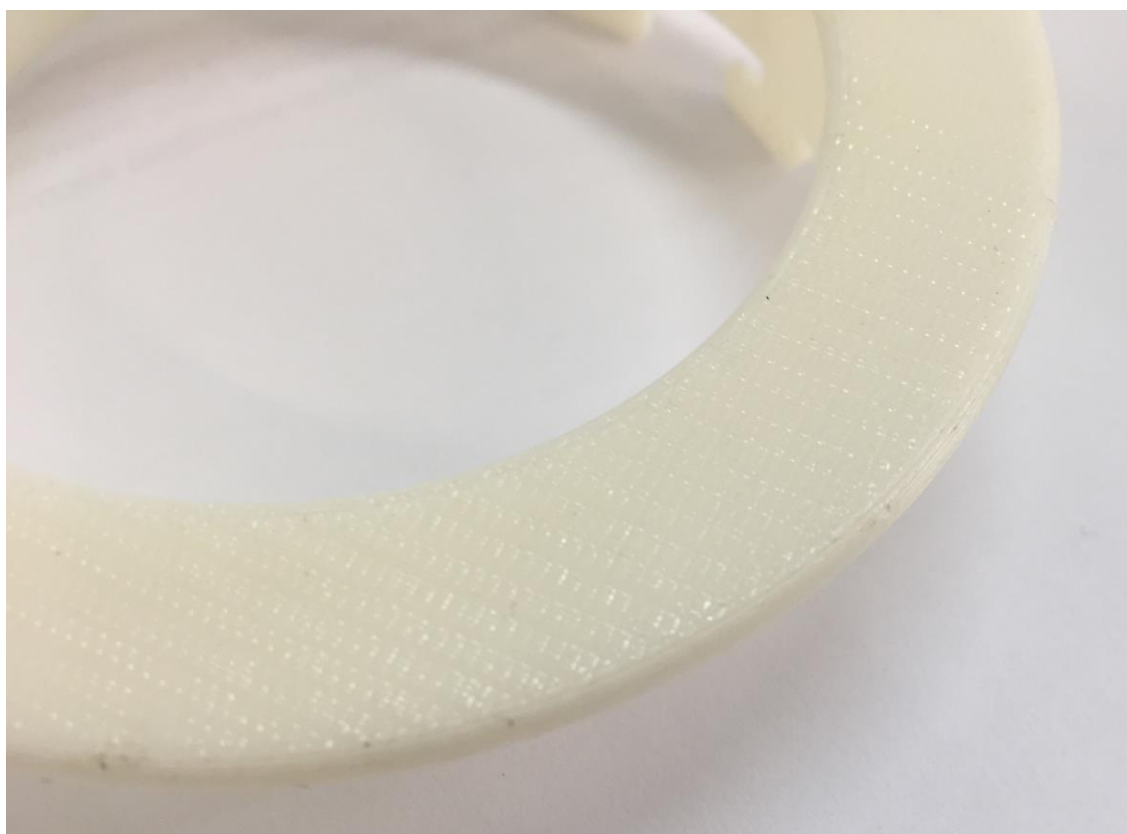
Takuu- ja ylläpitolupausten takia varaosien toimitus on kuitenkin yrityksille välttämätöntä. Varaosia on oltava saatavilla tietyn aikaa, jotta varaosia voidaan toimittaa asiakkaille vanhan osan rikkoutuessa. Varaosien varastoinnin ongelmista voitaisiin päästä eroon digitalisoitumisen avulla, eli sillä että varaosat ovat digitaalisessa muodossa. Vanhojen varaosien valmistamisessa ongelmana on se, että vanhoista osista ei aina ole saatavilla valmistukseen tarvittavia piirustuksia tai 3D-malleja. Silloin tarvitaan 3D-skanneria, jotta osat saadaan digitaaliseen muotoon. [13, s. 64.]

5 3D-tulostus valaisinvalmistuksessa

Tämän insinööritöön tarkoituksena on pohtia 3D-tulostustekniikan hyötyjä tuotekehityksen tukena valaisintehtaalla. Lisäksi tavoitteena on tarkastella valaisimien osien valmistusta 3D-tulostustekniikkaa hyödyntäen.

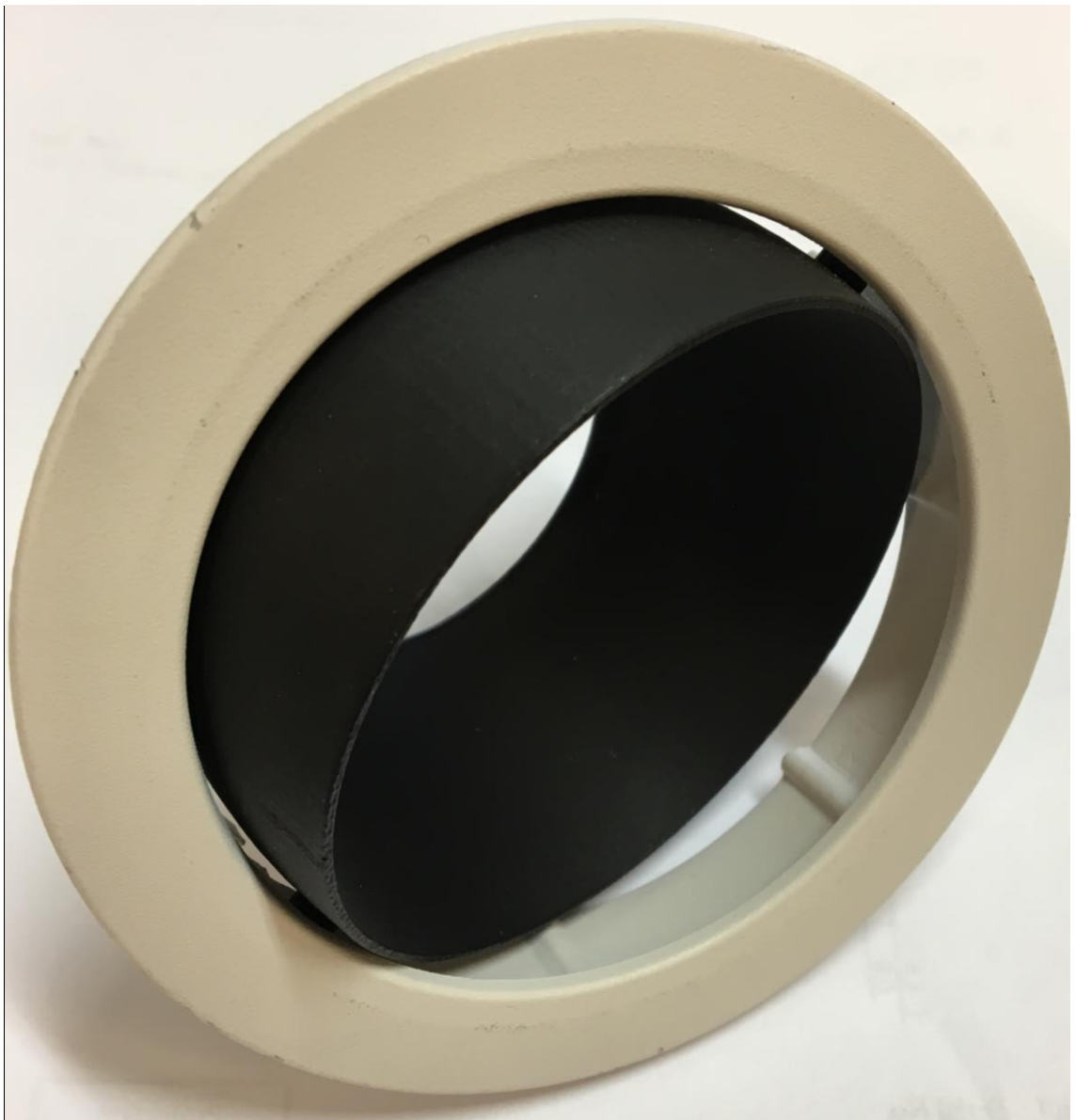
Konseptoinnin tukena 3D-tulostusta voidaan käyttää esimerkiksi, kun tehdään konseptimalleja asiakkaille. Näiden mallien tarkoitus on näyttää asiakkaalle suunnitellun valaisimen ulkonäkö. Konkreettinen malli on mielekkäämpi asiakkaalle kuin pelkkä virtuaalinen 3D-malli. Konseptimalleihin, jotka menevät asiakkaalle, ei ole välttämättä tehty vielä yhtään työkalua, esimerkiksi muottia. Konseptimalleissa usein käytetään jo olemassa olevia osia, joita muokataan konseptin mukaiseksi. Erilaisia osia voidaan tulostaa liitettäväksi näihin muokattuihin osiin.

Valaisimien muoviosia on mahdollista valmistaa 3D-tulostimella. Näkyvät osat vaativat jonkinlaisen pintakäsittelyn, sillä 3D-tulostimesta jäävät usein tulostamiskerrosten pykälät näkyviin. Jos kappaletta ei käsitellä millään, niin pinta jää karhean näköiseksi (kuva 9). Kappaleen asemointi 3D-tulostimeen vaikuttaa jonkin verran pinnanlaatuun, sillä tukimateriaalia vasten oleva pinta jää karheammaksi sen ristikkorakenteen takia. Asemoimalla kappale oikein saadaan kappaleeseen pinta, josta erottaa vain yksittäiset kerrokset.



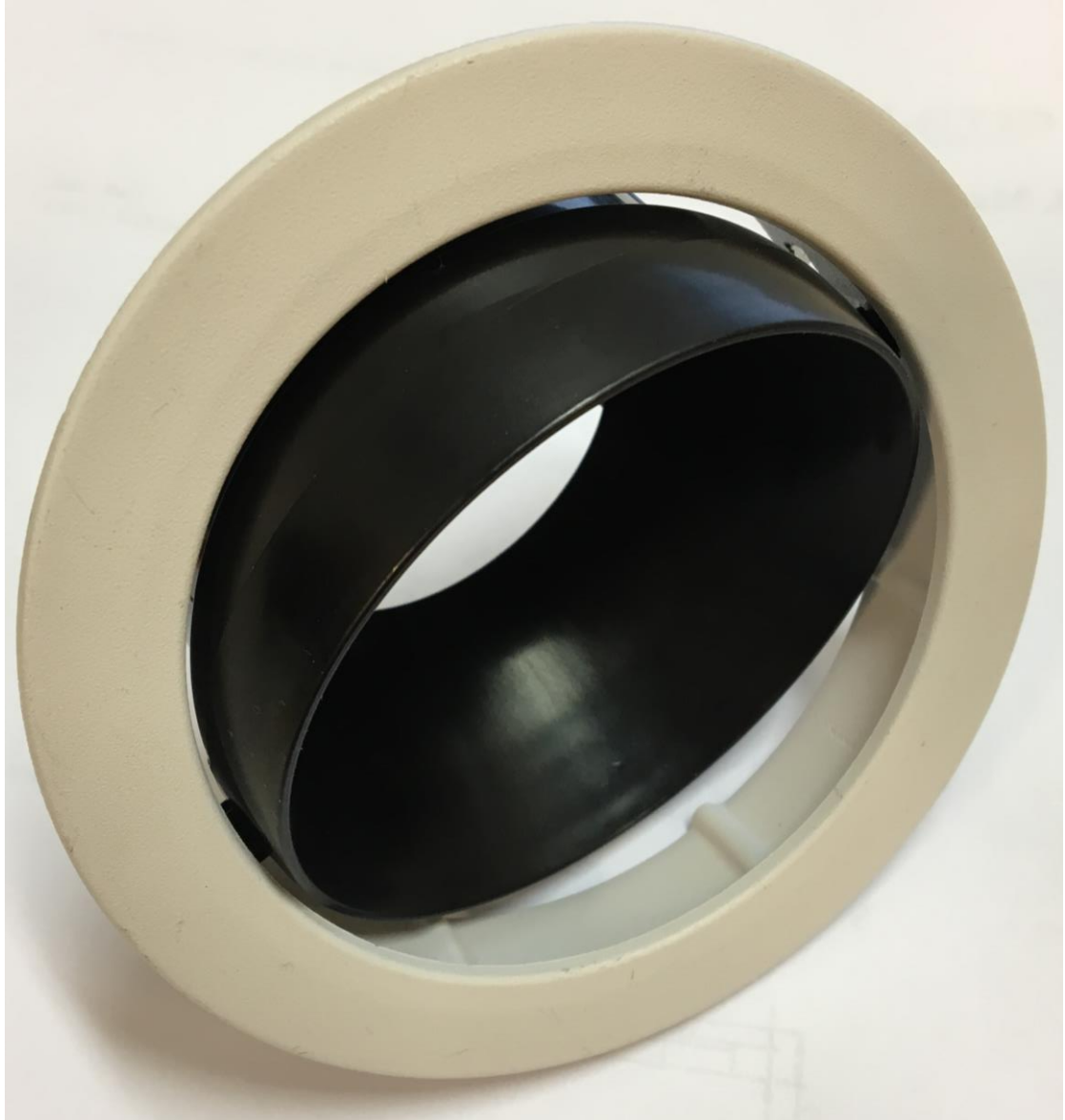
Kuva 9. HLF:llä 3D-tulostetun ABS-osan karhea pinta.

HLF:llä on oma 3D-tulostin, joka hyödyntää FDM-tekniikkaa. Osien tulostaminen on parantanut tuotekehityksen toimintaa, sillä lopullisen tuotteen mekaniikan toimivuuden testaaminen on erittäin hyödyllistä osien suunnittelussa. Kappaleita voidaan tulostaa suunnittelun eri vaiheissa ja kokeilla miten muutokset vaikuttavat lopullisessa tuotteessa. Kuvassa 10 oleva osa on tulostettu FDM-menetelmällä, ja sen jälkeen maalattu mustaksi. Kyseinen osa on tulostettu mekaniikan toimivuuden kokeilemiseksi.



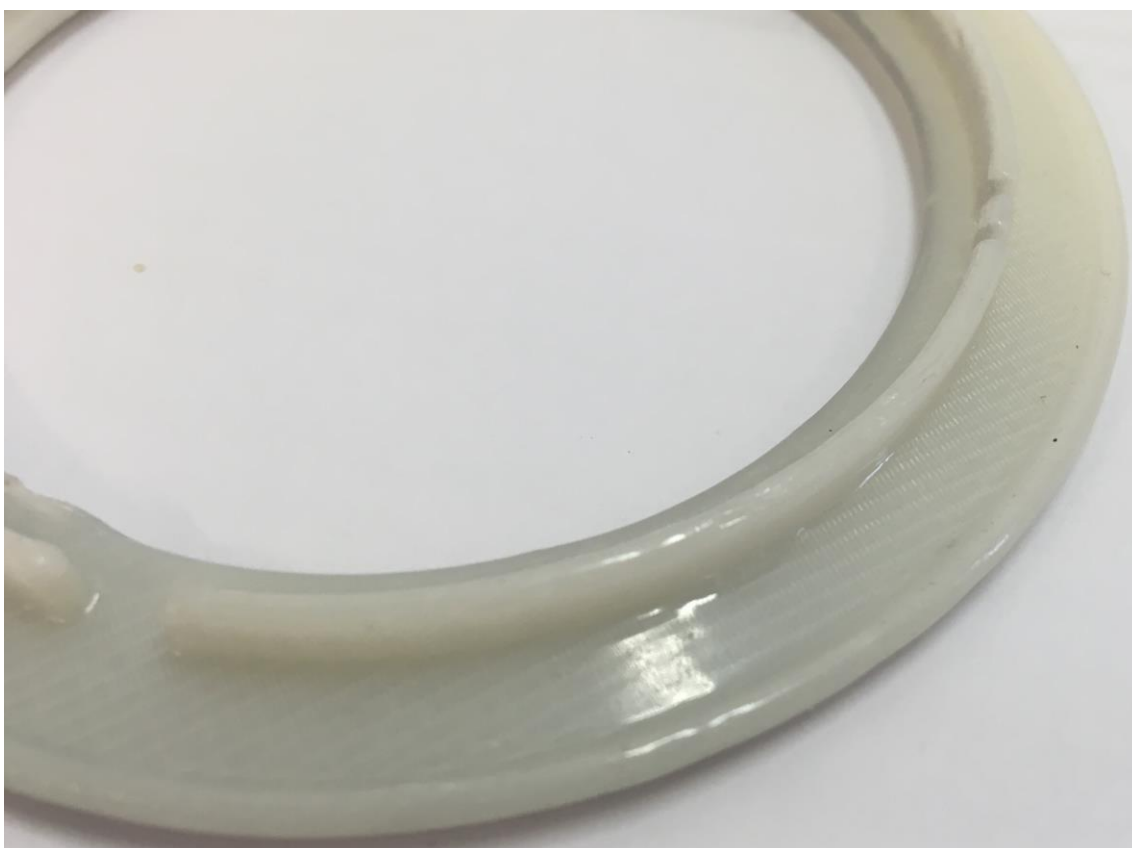
Kuva 10. ABS-muovista tulostettu osa, joka on maalattu mustaksi.

Kuvan 10 tulostetusta osasta saatiin testattua sen asennettavuus metallikehykseen ja kallistuvan kehyksen kitkan määrä. Kallistuksen on oltava melko jäykkä, jotta lamppuun liitetty kaapeli ei väännä sitä väärään asentoon. Kuvassa 11 näkyy lopullinen ruiskuvalettu tuote, johon on tilattu muotti HLF:n ruiskuvalukoneelle.



Kuva 11. Lopullinen ruiskuvalettu osa.

ABS-osia, joita saadaan tulostettua esimerkiksi FDM-menetelmällä, voidaan käsitellä asetonilla. Asetoni sulattaa ABS-muovia, joten oikeanlaisella käsittelyllä saadaan pinnasta aivan kiiltävä, kuten ruiskuvalutuotteessa. Kuvassa 12 on ABS-muovista tulostettu osa, ja tämä oli ripustettuna säiliössä, jonka pohjalla oli asetonia. Asetonisäiliö oli vesihauteessa, jotta asetonin höyrystys tehostui. Asetonin höyrystäminen on hellävarainen tapa siloittaa kappale verrattuna siihen, että kappale upotetaan asetoniin. Kappaleen upottamisesta asetoniin seuraa, että kappale syöpyy epätasaisesti.



Kuva 12. ABS-osa asetonikäsitteilyn jälkeen.

Vaaleasta ABS-muovista tulostettu kappale tarvitsee pintaan vielä maalin, sillä kappaleen kerrokset näkyvät sileän pinnan läpi. Mustasta ABS-muovista tulostettu kappale ei välttämättä tarvitse maalia, koska musta kappale tasoittuu jo valmiiksi viimeistellyn näköiseksi.

Asetonikäsiteltyjä osia voitaisiin ulkonäön perusteella käyttää valaisimien näkyvissä osissa. Prosessin voisi mahdollisesti soveltaa myös massatuotantoon, sillä jos asetoni on kiehumispisteessään, niin käsittelemiseen tarvittava aika lyhenee.

Vuonna 2015 markkinoille tuli 3D-tulostin, nimeltä Dragonfly 2020, jolla voi tulostaa piirilevyjä. Piirilevyjen tulostamiseen kone käyttää nanomusteita, jotka johtavat sähköä. Nanomusteita ei ole luokiteltu ympäristölle haitallisiksi, joten piirilevyn valmistukseen käytettävät ympäristölle haitalliset kemikaalit jäävät pois. Tulostimella voi tehdä yksikerroksisia tai monikerroksisia piirilevyjä. [21.]

Piirilevyjä tilattaessa HLF joutuu turvautumaan alihankkijoihin, ja prototyyppivaiheen piirilevyjen tekeminen kestää turhan kauan. 3D-tulostimella saataisiin nopeasti tehtyä prototyyppisiin yksilölliset piirilevyt nopealla aikataululla. Piirilevyjä voidaan käyttää prototyyppivaiheessa esimerkiksi lämpötilamittauksiin ja valoarvojen mittaamiseen.

Yksi tapa millä 3D-tulostamista voitaisiin hyödyntää, on 3D-tulostustekniikan käyttäminen ruiskuvalumuoteissa. Ruiskuvalumuotit tehdään koneistamalla teräksestä, ja yhdestä muotista saadaan vain yhdenlaisia kappaleita. Teoriassa olisi mahdollista valmistaa niin kutsuttu moduulirakenne, jossa olisi metallista 3D-tulostettu insertti. Tätä vaihtamalla saataisiin yhdestä muotista erilaisia kappaleita vain vaihtamalla insertti.

6 Yhteenveto

Insinööriyössä tarkasteltiin 3D-tulostustekniikan soveltumista valaisimien osien valmistamiseen. 3D-tulostus ei vielä sovi massatuotantoon pitkien jaksonaikojen takia, mutta prototyyppien tekemisessä tekniikka on erittäin hyödyllinen. Osien kustomointi voi tuoda lisää mahdollisuuksia pienille yrityksille, mutta HLF:llä tilauserien kokoon nähden on järkevämpää valmistaa osia ruiskuvalamalla. Tulevaisuudessa 3D-tulostus saattaa olla kannattava vaihtoehto ruiskuvalun sijaan.

Pienien sarjojen tekemisessä 3D-tulostimella on etu perinteisiin valmistusmenetelmiin verrattuna. Kallita muotteja ei tarvitse tilata ruiskuvalukoneisiin, joten yksittäisen kappaleen hinta on pienempi. 3D-tulostusmenetelmillä samaan aikaan tulostettavien kappaleiden määrä vaikuttaa tulostusaikaan, sillä tulostuspää joutuu käymään kaikkien niiden kappaleiden muodot läpi, jotka ovat tulostusalueella.

Lupaavimpana tulostustekniikkana nopeaan tulostukseen on CLIP-teknologia. Tulostimeen lähetettyjen kappaleiden määrällä ei olisi enää vaikutusta tulostusaikaan. Pienten erien tulostaminen voi siis olla mahdollista kokonaan ilman ruiskuvaluyksikköä. CLIP-teknologian tulostimet ovat vielä kalliita, ja niitä on markkinoilla vain muutamalta eri valmistajalta.

3D-tulostamisen kehittyessä saadaan tulostimia, jotka soveltuvat massatuotantoon. Nopeimmat tulostimet pystyvät tällä hetkellä tulostamaan noin 16 kg ABS-materiaalia tunnissa, mutta nämä tulostimet ovat yksittäisten yritysten valmistamia ja yleensä aika suurikokoisia [26].

ABS-muovista FDM-teknologialla 3D-tulostettujen kappaleiden pinta ei sovellu tällä hetkellä käsittelemättömänä valaisimen näkyviin osiin. Kappale tarvitsee viimeistelyyn esimerkiksi asetonikäsitteilyn. Lisää tutkimustulosta olisi hyvä saada ABS-muovin asetonikäsitteilystä ja siitä, kuinka paljon 3D-tulostetun kappaleen toleranssit kärsivät käsitteilyssä. Tuotantoon voisi kehittää asetonikäsitteilylaitteiston, jossa on optimoitu käsitteilyaika ja -lämpötila.

Lisätutkimuksia samasta aiheesta on hyvä tehdä jo muutaman vuoden kuluttua, sillä 3D-tulostimet ja -tekniikat kehittyvät jatkuvasti. 3D-tulostamisen mahdollisuuksia tulee jatkuvasti lisää. Tämä voi tuoda paljon säästöjä valaisintehtaan tuotekehityksessä ja joskus myös tuotannossa. Myös 3D-tulostustekniikan hyödyntämisestä ruiskuvalumuoteissa olisi hyvä saada jatkotutkimuksia.

Lähteet

- 1 3D Printing. Verkkodokumentti. ExplainingTheFuture.<<http://explainingthefuture.com/3dprinting.html>>. Luettu 24.10.2016.
- 2 3D Printing History. Verkkodokumentti. AV Plastics. <<http://www.avplastics.co.uk/3d-printing-history>>. Luettu 24.10.2016.
- 3 3D Printing Just Got 100 Times Faster. Verkkodokumentti. The Atlantic. <<http://www.theatlantic.com/technology/archive/2015/03/3d-printing-just-got-100-times-faster/388051>>. Luettu 31.10.2016.
- 4 Aaltonen, Kalevi & Aromäki, Mauri & Ihalainen, Erkki & Sihvonen, Pentti. 1985. Valmistustekniikka. Helsinki: Hakapaino Oy.
- 5 Aluminum-Silicon Alloys. Verkkodokumentti. Total Materia. <<http://www.totalmateria.com/Article80.htm>>. Luettu 31.10.2016.
- 6 Blanner, Joseph E. 1892. Verkkodokumentti. Google Patents. <<http://www.google.de/patents/US473901>>. Luettu 31.10.2016.
- 7 Direct Metal Laser Sintering. Verkkodokumentti. CustomPartNet. <<http://www.custompartnet.com/wu/direct-metal-laser-sintering>>. Luettu 31.10.2016.
- 8 Fused Deposition Modeling (FDM). Verkkodokumentti. CustomPartNet. <<http://www.custompartnet.com/wu/fused-deposition-modeling>>. Luettu 31.10.2016.
- 9 Hella Lighting Finland Oy. Verkkodokumentti. Hella Lighting Finland Oy. <<http://www.hella.com/hella-fi/Hella-Lighting-Finland-OY-61.html>>. Luettu 31.10.2016.
- 10 History of 3D Printing: It's Older Than You Are (That Is, If You're Under 30).edff Verkkodokumentti. 3D Printing.<<https://redshift.autodesk.com/history-of-3d-printing/>>. Luettu 24.10.2016.
- 11 Hoskins, Stephen. 2013. 3D Printing for Artists, Designers and Makers. London: Bloomsbury Publishing Plc.
- 12 Jetted Photopolymer. Verkkodokumentti. CustomPartNet. <<http://www.custompartnet.com/wu/jetted-photopolymer> >. Luettu 31.10.2016.

- 13 Ketola, Pekka. 2016. Hajosiko monosi? Mitkä ovat seuraavat askeleesi? Eurometalli, 8.2.2016, s. 64.
- 14 Laakko, Timo. 1998. Tuotteen 3D-CAD-suunnittelu. Porvoo: WSOY.
- 15 Laminated Object Manufacturing (LOM). Verkkodokumentti. CustomPartNet. <<http://www.custompartnet.com/wu/laminated-object-manufacturing>>. Luettu 31.10.2016.
- 16 Lipson, Hod & Kurman, Melba. 2012. Fabricated: The New World of 3D Printing. Indianapolis: John Wiley & Sons, Inc.
- 17 Mallikarjuna Rao, K. & Sarcar, M.M.M. & Lalit Narayan, K. 2008. Computer Aided Design and Manufacturing. New Delhi: Prentice-Hall of India Private Limited.
- 18 Meskanen, Seija & Höök, Tuula. 2009. Kestomuottivalun suunnittelu. Verkkodokumentti. <http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/vtp_menet_matalapaine.pdf>. Luettu 31.10.2016.
- 19 Mims, Christopher. 2015. 3D Printing will explode in 2014, thanks to the expiration of key patents. Verkkodokumentti. Quartz. <<http://qz.com/106483/3d-printing-will-explode-in-2014-thanks-to-the-expiration-of-key-patents/>>. Luettu 24.10.2016.
- 20 Mink, Walter. 1964. Ruiskupuristustekniikan pääpiirteet. Helsinki: Otava.
- 21 Nano Dimension unveils new Dragonfly 2020 nano-ink PCB 3D printer. Verkkodokumentti. www.3ders.com. <<http://www.3ders.org/articles/20150420-nano-dimension-unveils-new-dragonfly-2020-nano-ink-pcb-3d-printer.html>>. Luettu 31.10.2016.
- 22 New 3D Printing Technique Makes Ceramic Parts. Verkkodokumentti. Technology Review. <<https://www.technologyreview.com/s/601245/new-3-d-printing-technique-makes-ceramic-parts/>>. Luettu 31.10.2016.
- 23 Nykänen, Sanna & Höök, Tuula. 2009. Kestomuottivalun suunnittelu. Verkkodokumentti. <<http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/kestomuottivalutekniikka/index.html>>. Päivitetty 18.3.2015. Luettu 31.10.2016.
- 24 Selective Laser Sintering. Verkkodokumentti. CustomPartNet. <<http://www.custompartnet.com/wu/selective-laser-sintering>>. Luettu 31.10.2016.
- 25 Stereolithography. Verkkodokumentti. CustomPartNet. <<http://www.custompartnet.com/wu/stereolithography>>. Luettu 31.10.2016.

- 26 The 10 Fastest 3D Printers in the World. Verkkodokumentti. All3DP.
<<https://all3dp.com/fastest-3d-printer/>>. Luettu 31.10.2016.
- 27 The Free Beginner's Guide. Verkkodokumentti. 3DPrintingIndustry.
<<http://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide/materials/>>. Luettu 31.10.2016.
- 28 Understanding WPC 3D Printing Filament. Verkkodokumentti. 3DP Nexus.
<<http://www.3dpnexus.com/wpc-3d-printing-filament-explained/>>. Luettu 31.10.2016.
- 29 Vienamo, Teppo. Ekstruusio eli suulakepuristus. Verkkodokumentti. Virtuaaliyliopisto. <http://taik.fi/virtu/materiaalit/muoviteknologia/menetelmat/06-00_extruu.html>. Luettu 31.10.2016.
- 30 Vienamo, Teppo. Rotaatiovalu. Verkkodokumentti. Virtuaaliyliopisto. <http://taik.fi/virtu/materiaalit/muoviteknologia/menetelmat/03-00_rotaat.html>. Luettu 31.10.2016.
- 31 Vienamo, Teppo. Ruiskuvalu. Verkkodokumentti. Virtuaaliyliopisto. <http://taik.fi/virtu/materiaalit/muoviteknologia/menetelmat/01-00_ruisku.html>. Luettu 31.10.2016.
- 32 What is 3D Printing? Verkkodokumentti. 3D Printing.<<http://3dprinting.com/what-is-3d-printing/>> Luettu 24.10.2016.

