

3D TULOSETETUN
MUOVISEN INSERTIN
KÄYTTÄMINEN
RUISKUVALUMUOTISSA

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan-ala
Materiaalitekniikka
Muovitekniikka
Opinnäytetyö
Syksy 2017
Henri Leskinen

Lahden ammattikorkeakoulu
Materiaalitekniikka

LESKINEN, HENRI:

3D- tulostetun muovisen insertin
käyttäminen ruiskuvalumuotissa

Muovitekniikan opinnäytetyö, 25 sivua, 6 liitesivua

Syksy 2017

TIIVISTELMÄ

Ruiskuvalukoneilla valmistetaan muoviteollisuudessa pitkiä kappalesarjoja kestumuoveista. Kappalesarjoista yritetään tehdä mahdollisimman pitkiä, sillä ruiskuvalukoneissa käytettyjen muottien hinta on valmistuskustannuksista johtuen korkea. Tästä syystä lyhyet kappalesarjat joudutaan tekemään muilla menetelmillä tai hyvin korkeilla yksittäisen kappaleen valmistuskustannuksilla.

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää 3d- tulostetun muovisen insertin käyttömahdollisuuksia ruiskuvalukoneella valmistettujen kappaleiden muoteissa. Pienillä kappale-erillä halvempien muottiratkaisujen löytäminen olisi muoviteollisuudessa erittäin hyödyllistä esimerkiksi prototyyppinä suunniteltaessa.

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Material engineering

LESKINEN, HENRI:

Use of 3d printed plastic insert in
injection moulding

Bachelor's Thesis in Plastics engineering

25 pages, 6 pages of
appendices

Autumn 2017

ABSTRACT

Injection moulding is the most used process in plastic industry when making long series of plastic parts from thermoplastics. The costs of creating the molds for injection moulding machines are very high and therefore the series of parts created using the mold tend to be very long. Creating shorter chains of parts becomes extremely high due to the costs of creating these molds which is why we set out to explore cheaper and faster options.

The goal of my thesis was to find out the possibilities of using a 3d printed plastic insert inside the molds of injection moulding machines. Use of 3d printed inserts would deflate the costs per injection moulded part and the creation of prototypes from the final plastic raw materials would be much faster.

would make it possible for plastic industry to create working prototypes of the final plastic raw material, something which is not possible with all the 3d printing materials.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	RUISKUVALU	2
2.1	Yleistä ruiskuvalusta	2
2.2	Ruiskuvalukone	2
2.2.1	Ruiskutusyksikkö	3
2.2.2	Sulkuyksikkö	3
2.2.3	Käyttö- ja ohjausyksikkö	4
2.3	Muotti	4
3	3D-TULOSTUS	8
3.1	Yleistä	8
3.2	Tekniikat	8
3.2.1	SLA – Stereolitografia	9
3.2.2	DLP – Digital Light Process	10
3.2.3	LS - Lasersintraus	11
3.2.4	FDM – Ekstruusio	12
3.2.5	Material Jetting	12
3.3	Kappaleen mallintaminen	13
3.3.1	Mallinnus piirtämällä	13
3.3.2	Mallinnus skannaamalla	14
4	RUISKUVALUN JA 3D TULOSTAMISEN YHDISTÄMINEN	15
4.1	Käyttökohde	15
4.2	Käytetyt 3d tulostus menetelmät ja tulostus raaka-aineet	16
4.3	Tuotannon säästöt	17
4.4	Muotin teossa huomioitavaa	17
4.4.1	Muotin suunnittelu	18
4.4.2	Ruiskuvaluprosessi	18
5	KOKEELLINEN TYÖ	20
5.1	Kappaleen suunnittelu	20
5.1.1	Käytettävät laitteet ja materiaalit	20
5.1.2	Kappaleen suunnittelu	22
6	YHTEENVETO	25

LÄHTEET

26

LIITTEET

28

SANASTO JA LYHENTEET

RP	Rapid Prototyping eli nopea prototyypin mallinnus
SLA	Stereolithography. Stereolitografia
FDM	Fused Deposition Modelling
DLP	Digital Light Process
LS	Lasersintraus
CAD	computer aided drafting
CNC	computerized numerical control - tietokoneistettu numeerinen ohjaus
ABS	Akrylinitriilibutadienistyreeni
PLA	Polylaktidi
HI-PS	High impact polystyrene. Iskunkestävä polystyreeni
PVA	Polyvinyylialkoholi
PE	Polyeteeni
PP	Polypropeeni
PS	Polystyreeni
POM	Polyasetaali

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä perehdyn perinteisen ruiskuvalutuotannon ja uudemman 3d tulostustekniikan hyväksikäyttämiseen uusia ruiskuvalukappaleita suunnitellessa. Käyn ensin läpi ruiskuvalukoneen ja sen käyttöperiaatteen osineen. Sen jälkeen tutustumme 3d-tulostustekniikoihin ja siihen miten tulostettavat kappaleet mallinetaan tulostusvalmiiksi.

Perusteet läpi käytyä perehdyn tekniikoiden yhdistämiseen ja siihen mitä etuja on mahdollista saavuttaa 3d tulostamalla insertti ja käyttämällä sitä ruiskuvalukoneen muottissa. Käyn myös läpi asioita joita tulee ottaa huomioon 3d tulostetun muovisen insertin kanssa, sekä mitä muovi materiaaleja on mahdollista käyttää.

Lopuksi sovellan opinnäytetyön aikana opittua aineistoa ja suunnittelen kappaleen ja muotin, jotka on mahdollista valmistaa edellä mainittuja tekniikoita käyttäen.

2 RUISKUVALU

2.1 Yleistä ruiskuvalusta

Ruiskuvalukoneita on nykyään tarjolla hyvin montaa eri merkkiä ja mallia. Ruiskuvalukoneen tehtävä pelkistettynä on avata ja sulkea muottia siten, että sula muovi menee muottiin sisälle kun muotti on kiinni ja kiinteä kappale tulee ulos muotin avautuessa. Avautumisen ja sulkeutumisen välissä koneen pitää pystyä puristamaan muotin puolikkaat toisiaan vasten riittävällä voimalla, jotta sula muovi ei pursua muotista ulos ruiskutuspaineen johdosta. Samaan aikaan koneen pitää pystyä plastisoimaan uusi annos sulaa muovia muotin uutta täyttöä varten. (Järvelä ym. 2000, 92)

Ruiskuvalukoneet luokitellaan yleensä ruuvin halkaisijan, sulkuvoiman tai ruiskutuspaineen mukaan. Sulkuvoima pyrkii vastustamaan ruiskutuspaineen aiheuttamaa, muotin sisälle syntyvää massan painetta. Yleisesti käytettyjä arvoja sulkuvoimalle ovat 200-100000kN, ruiskutuspainelle 120-250Mpa ja ruuvin halkaisijalle 18-120mm. (Järvelä ym. 2000, 93)

2.2 Ruiskuvalukone

Ruiskuvalukoneet muodostuvat kolmesta kokonaisuudesta, joita ovat ruiskutusyksikkö, sulkuyksikkö sekä käyttö- ja ohjausyksikkö. (Höök & Nykänen. 2015, 6)

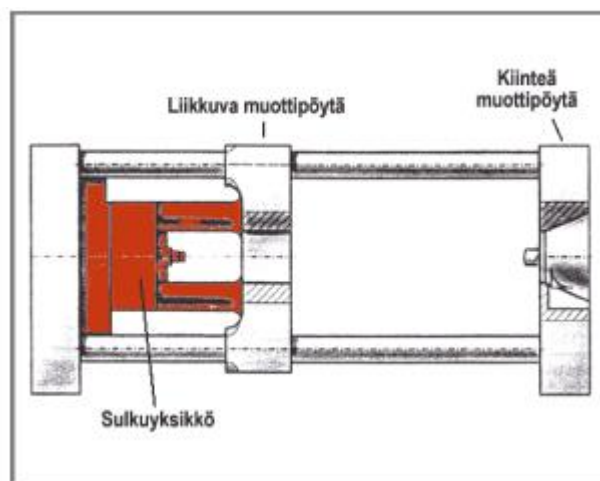
2.2.1 Ruiskutusyksikkö



Kuva 1. Ruiskutusyksikön osat
(<http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/ruiskuvaluprosessi.pdf>, 2017)

Ruiskutusyksikkö on vastuussa koneeseen syötettyjen muoviaineisten plastisoinnista, eli sulattamisesta kitkan ja lämmön avulla, ennen suuttimelle menoa. Syöttöyksikköön annostellut ainesosat menevät ruuville, jota pyörittää hydraulikkaa tai sähköä käyttävä koneisto. Ruuvi on lämmitetty, joten ainesosat alkavat plastisoitua. Kun muovi on plastisoitunut ja kulkenut ruuvin matkan sylinterissä saapuu se ruuvin päässä olevalle sulkuventtiilille. Venttiilin tehtävä on estää muovia palaamasta ruuville ruiskutuksen aikana. Venttiililtä muovimassa saapuu suuttimelle, josta massa virtaa muottiin. Suutin liikkuu muottiin kiinni ja näin muotti täyttyy muovilla. (Järvelä ym. 2000, 101-107)

2.2.2 Sulkuyksikkö



Kuva 2. Sulkuyksikkö. (Höök & Nykänen. 2015, 7)

Sulkuyksikön tehtävänä on yksinkertaisesti avata muotti kappaleen ulostyöntöä varten ja sulkea muotti ennen seuraavan massan ruiskutusta. Sulkuyksikkö rakentuu kolmesta levystä. Etulevy on kiinni ruikuvalukoneen

rungossa kiinteästi. Tähän levyyn kiinnitetään muotin etulevy. Takalevy on sulkuyksikön toinen ankkurina toimiva levy. Etu- ja takalevy ovat kiinni toisissaan neljän samansuuntaisen johteen toimesta. Kolmas levy, johon kiinnitetään muotin toinen puolisko, liikkuu näiden levyjen välissä vapaasti. Muotin liikkuvassa puolessa on ulostyöntömekanismi, jota ohjaa takalevyssä kiinni oleva ulostyöntösylinteri. (Höök & Nykänen. 2015, 8)

2.2.3 Käyttö- ja ohjausyksikkö

Nykyään valtaosa ruiskuvalukoneista on tietokoneohjattuja, jolloin koneen ohjaus tapahtuu ohjausyksikön kautta. Yleisimmät ohjausyksiköllä tehtävät toiminnot sisältävät muun muassa lämpötilojen ohjausta, kierukkaruuvien pyörimisnopeuden säädön, muotissa oleva jälkipaineen säätö ja pöydän liikkeiden ohjauksen. Ohjausyksikkö toimii koneen käyttöjärjestelmänä ja koneen käyttäjä tekee kaikki tarvittavat säädöt sen kautta. (Höök & Nykänen 2015, 8)

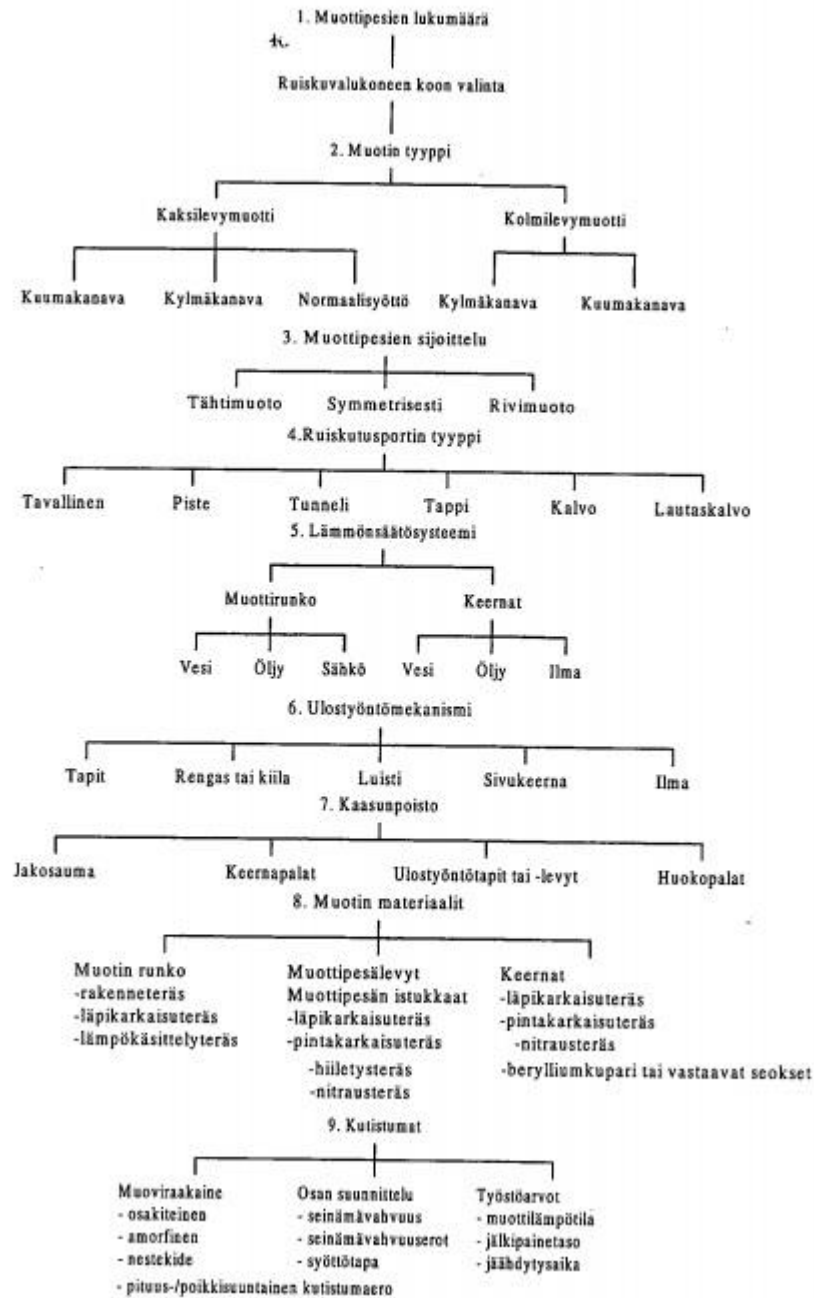
2.3 Muotti

Muotti koostuu yleisimmin kahdesta puolikkaasta, jotka muodostavat muottipesän, minne muovi valuu syöttökanavaa pitkin. Pesän ympärillä toimii lämmönsäätöjärjestelmä, jotta muovin ominaisuuksia pystytään säätämään tarkemmin. Valmiille tuotteelle on myös ulostyöntömekanismit. (Järvelä ym. 2000, 114)

Ruiskuvalukoneen muotti on koneessa oleva vaihdettava osa, joka antaa valetulle kappaleelle sen muodon. Muotti toimii paineastiana, johon sula muovimassa valuu ja se on mitoitettava kestäämään paine, jonka sula muovimateriaali siihen kohdistaa valutapahtuman aikana. Korkeimmillaan paineet saattavat nousta jopa 2000 bar asti. (Höök & Nykänen 2015, 8)

Ruiskuvalukoneen muotti on yksi tärkeimmistä osista valmista tuotetta silmällä pitäen. Muottia suunniteltaessa tulee ottaa huomioon useita asioita, jotka nostavat vääjäämättä muotin hintaa. Muotissa käytettävä teräs riippuu siitä, millaista muovia muotin sisällä käytetään. Toiset muovit ovat kuluttavampia kuin toiset ja näin ollen muotilta vaaditaan kovempaa kulutuksen kestoa. Muoviraaka-aineet käyttäytyvät sulina myös hieman erilailla toisiinsa verrattuna ja voi olla että muotilta tarvitaankin kovempaa paineen kestoa. Vaikeat geometriat lisäävät myös helposti muotin hintaa. Nykyään muottien suunnittelussa pystytään käyttämään suunnitteluohjelmia apuna, mutta viimeistely tapahtuu silti lähinnä käsityönä. (Järvelä ym. 2000, 113)

Ruiskuvalutuotteen suunnittelu, vaatimukset, valmistusmäärät ja jaksoaika



Kuva 3. Muotin suunnittelussa huomioon otettavia vaihtoehtoja. (Järvelä ym. 2000, 116)

Muottien kovasta valmistushinnasta johtuen muotilla on tehtävä suuria kappalesarjoja kerralla. Tästä syystä uusien tuotteiden prototyyppien ja pienien kappalesarjojen valmistaminen ei ole ruiskuvalukoneella kustannustehokasta toimintaa. Onkin mietittävä keinoja saada muotin valmistuskustannuksia matalammiksi. Yksi tällainen keino olisi valmistaa

ennalta määrätyn kokoiseen muottipesään insertti halvemalla keinolla, kuten 3d-tulostamalla.

3 3D-TULOSTUS

3.1 Yleistä

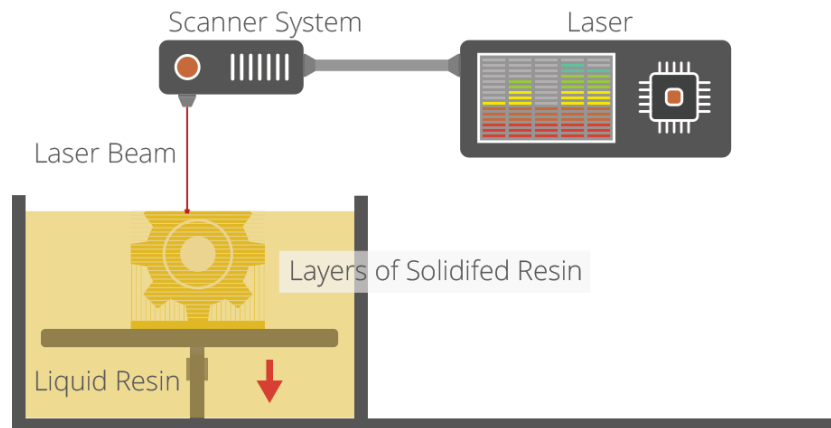
3D-Tulostaminen luokitellaan tekniikkana lisäävään valmistukseen (Additive Manufacture). Ensimmäiset 3D-tulostustekniikat tulivat selvästi näkyville 1980-luvun lopussa, jolloin niitä kutsuttiin Rapid Prototyping eli RP-tekniikoiksi (suom. Nopea prototyypin luonti). Laite leikkasi paperista kappaletta vastaavaan pinta-alan ja liimasi sen edellisen palan päälle, kunnes haluttu malli oli valmis. Koneita käytettiin aluksi nopeampina ja kustannustehokkaampina keinoina luoda teollisuuden tuotannonkehitykselle prototyyppijä. Ensimmäinen patentti myönnettiin 1986 Charles Hullille hänen keksittyään SLA-tekniikan (Stereolithography apparatus). Hull oli mukana perustamassa 3D Systems Corporation-yritystä, joka on alalla maailman tuottavin.

Läpi 90-luvun ja 2000 luvun alun aikana markkinoille ilmestyi joukko uusia tekniikoita, jotka kaikki olivat edelleen pääsääntöisesti keskittyneitä teollisuuden tarpeisiin. Näistä merkittävin on Stratasysin patentoima Fused Deposition Modelling eli FDM, joka on nykyään edullisin ja yleisin tekniikka. (3dprintingindustry)
Myöhemmin koneiden kehittyessä alettiin huomioida myös tavallisten kuluttajien tarpeita.

3.2 Tekniikat

Markkinoilla on lukuisia erilaisia koneita ja tekniikoita, jotka tarjoavat käyttäjälleen juuri sellaista laatua ja tarkkuutta kuin tarvitaan. Laitteiden hinnat vaihtelevat myös sen mukaan, mitä koneelta halutaan. Kalliimmat laitteet tekevät laadukkaampia ja yksityiskohtaisempia kappaleita kuin halvimmat kuluttajille tarjolla olevat. Kaikissa ideana kuitenkin tulostaa 3d-mallinnettu kuva kappaleeksi.

3.2.1 SLA – Stereolitografia



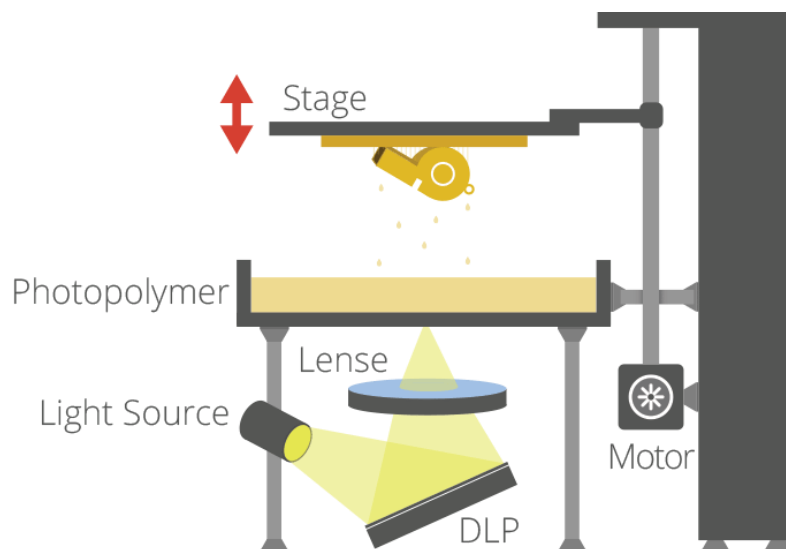
Kuva 4. Stereolitografian toiminta. (3dprintingindustry)

Stereolitografia (SLA) on yleisesti tunnettu ensimmäisenä kaupallistettuna 3D-prosessina. Prosessissa astia täytetään nestemäisellä valolle aralla polymeerin hartsilla, joka reagoiessaan laseriin kiinteytyy ja kovettuu. Astian sisällä on liikkuva alusta. Kun X- ja Y-akselin suuntaisesti liikkuva laser kovettaa valmiin kerroksen hartsia alusta laskeutuu alaspäin ja uusi kerros hartsia kovetetaan. Prosessi jatkuu samalla kaavalla, kunnes kappale on valmis ja nostettavissa astiasta.

SL tekniikan luonteesta johtuen valmiit kappaleet ovat vielä usein pestävä ja jälkikäsiteltävä. Jälkikäsitelyynä kappale altistetaan uunimaisessa koneessa intensiiviselle valolle, jolloin varmistetaan käytetyn hartsin kovettuminen. (3dprintingindustry)

SL tekniikalla tehdyt kappaleet ovat tarkkuudeltaan yksiä parhaimmista, mitä 3D-tulostuksella saa. Pinnan ja muotojen tarkkuus ovat loistavia, mutta jälkikäsitelyyn menevä aika, sekä materiaalien haurastuminen ajan kuluessa ovat prosessille rajoittavia tekijöitä. Myös kappaleiden muotojen kanssa on oltava tarkka, sillä ylitse tulevia osia joutuu tukemaan ulkoisilla virityksillä. (3dprintingindustry)

3.2.2 DLP – Digital Light Process

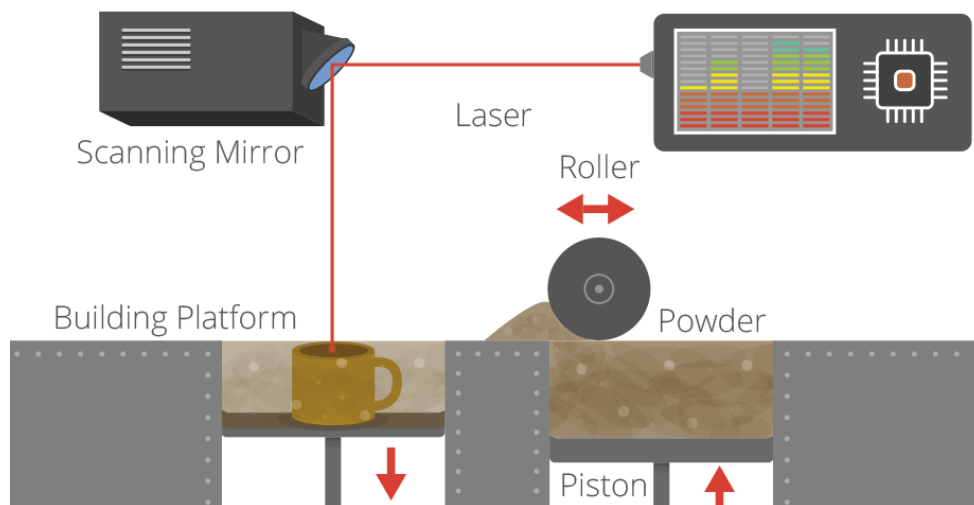


Kuva 5. Digital Light Processing. (3dprintingindustry)

DLP on lähestulkoon sama prosessi kuin stereolitografia. Nestemäisestä fotopolymeerihartsista muodostetaan tasolle kappale valon avulla. Tässä tapauksessa valo tulee tavanomaisemmasta lähteestä, kuten lampusta. Lähteestä tulevat valon säteet kerätään haluttuun polttopisteeseen mikropöilien ja linssien avulla. Näin saadaan valotettua kerralla koko taso, jolloin prosessi on myös yleisesti ottaen stereolitografiaa nopeampi. SL:ään verrattuna kappale valmistuu väärinpäin, sillä taso liikkuu ylöspäin ja kappale valmistuu tason pohjaan.

DLP:illä kappaleiden muodot ja tarkkuus ovat samaa luokkaa SL:n kanssa, kuten ovat myös rajoitukset jälkikäsitteilyn ja kappaleiden geometrioiden suhteen. Etuna SL:ään on kuitenkin vähäisempi käytetyn hartsin määrä. (3dprintingindustry)

3.2.3 LS - Lasersintraus



Kuva 6. Lasersintraus 1. (3dprintingindustry)

Lasersintraus on nimensä mukaan laserilla toimiva 3D-tulostusprosessi. Liikkuva laser jäljittää sille syötetyn kappaleen muotoja hartsisen tason yli. Laserin osuessa hartsiin se jähmettyy ja sintraantuu kiinni viereisiin hartsi partikkeleihin muodostaen kovan kappaleen. Kerroksen valmistuttua taso liikkuu alaspäin ja rulla työntää lisää hartsijauhetta muodostuneen palan päälle. Tämän jälkeen laser sulattaa uuden tason hartsiä valmiin tason päälle ja niin edelleen kunnes kappale on valmis.

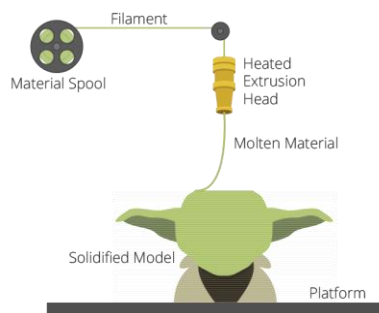
(3dprintingindustry)

Lokero jossa kappale valmistuu on täysin umpinainen, sillä lämpötilan on oltava käytetyn hartsin kannalta hyvin lähellä sen sulamispistettä. Lämpötilan ei saa muuttua ulkoisista vaikutuksista. Kun kappale on valmis, poistetaan koneesta koko lokero, missä kappaletta on valmistettu. Ylimääräinen hartsi puuteri poistetaan, jolloin jäljelle jää vain valmis kappale. (3dprintingindustry)

Lasersintrauksella on mahdollista valmistaa kappaleita, jonka muodot estävät sen valmistuksen muilla 3D-tulostustekniikoilla. Puuteripeti mahdollistaa erilaisten ulokkeiden valmistuksen, sillä se tukee muilla tekniikoilla ns. tyhjän päälle rakentuvia osia. Tekniikan haittana voidaan

taas pitää korkeasta käyttölämpötilasta johtuvaa pitkähköä jäähtymisaikaa. Myös valmiiden kappalaiden huokoisuus on ollut ongelma, josta ollaan pikkuhiljaa pääsemässä eroon. (3dprintingindustry)

3.2.4 FDM – Ekstruusio



Kuva 7. FDM – Ekstruusio. (3dprintingindustry)

FDM tulee sanoista Fused Deposition Modelling ja se on yleisin kuluttajille suunnattu 3D-tulostuslaite. Prosessissa kestopuovista valmistettua nauhaa syötetään lämmitetylle suuttimelle, joka liikkuu tason yllä ja tursottaa pehmeää muovia haluttuun muotoon siten että uusi kerros jähmettyy kiinni edelliseen kerrokseen. (3dprintingindustry)

FDM laitteita löytyy niin teollisuuteen kuin aloitteleville 3D-tulostajille. Teollisuuden koneissa on kiinni myös toinen suutin josta tulee usein vesiliukoista tukirakennetta geometrioilla jotka selvästi edellisen kerroksen yli tai muuten tyhjän päälle. Esimerkiksi kuvassa 7 olevan vihreän hahmon korvat tarvitsevat mahdollisesti tuentaa. Teollisuuden koneilla on mahdollista tehdä hyvinkin tarkkoja ja kestäviä kappaleita, kun taas kuluttajille suunnatut halvat mallit ovat lähinnä harrasteluun. (3dprintingindustry)

Tekniikan negatiivisia puolia ovat pitkät valmistusajat, sekä ongelmat tasojen toisiinsa kiinnittymisessä. (3dprintingindustry)

3.2.5 Material Jetting

Material Jetting -tekniikassa UV-kovetteista materiaalia suihkutetaan suuttimesta nestemäisenä tai sulana massana tasolle kerros kerrokselta

useista suuttimista. Material jetting –tekniikassa suuttimista tulee useaa eri ainetta, mikä mahdollistaa useamman materiaalin käytön kappaleessa. Joka kerroksen jälkeen materiaali kovetetaan UV-valolla. Lopulta tasoista muodostuu halutunlainen kappale. Tekniikka on suhteellisen nopea valmistustapa ja jälki, sekä viimeistely ovat erittäin tarkkoja. (3dprintingindustry)

3.3 Kappaleen mallintaminen

Vuosien ajan tietokoneella 3d- kappaleiden suunnittelu rajoittui lähinnä computer- aided drafting (CAD) ohjelmistoihin, jotka vaativat käyttäjiltään huipputasoisia tietokoneita ja erittäin kalliita lisenssejä kyseisiin ohjelmiin, minkä takia CAD ohjelmat olivat hyvin pitkään tavallisten käyttäjien ulottumattomissa. 3D- tulostuksen suosion kasvaessa myös suunniteltavat kappaleet alkoivat muuttua. Kappaleissa alkoi näkyä 3d- tulostuksen mahdollistamat monimutkaiset sisäiset rakenteet. Vanhat CAD ohjelmat eivät pystyneet mallintamaan kappaleita, joita oli mahdollista tulostaa lisäämällä kerroksia edellisen kerroksen päälle. Tämän johdosta uusia käyttötarkoitukseen parempia ja edullisempia työkaluja rupesi ilmestymään markkinoille. Kappaleita on mahdollista mallintaa piirto-ohjelmien lisäksi myös erilaisilla kuvausmenetelmillä. (Horne 2014, 85)

Nykyään erilaisia valmiita malleja on myös saatavilla useista eri nettiyhteisöistä. Osassa yhteisöistä kappaleen suunnittelijalle maksetaan tehdystä työstä ja osassa mallit ovat ilmaisessa jaossa. Esimerkkinä all3dp.com on sivusto, josta löytää kattavasti kyseisiä yhteisöjä.

3.3.1 Mallinnus piirtämällä

Jokainen 3d tulostettu kappale pohjautuu tiedostoon kappaleesta. Tiedostossa on 3d -mallinnusohjelmalla suunniteltu kuva kyseisestä kappaleesta. Nykypäivän CAD ohjelmat ovat erittäin tehokkaita työkaluja tähän tehtävään. 3D tulostuksen valtavasta suosiosta johtuen suurin osa suosituista mallinnusohjelmista eivät ole enää hintavien lisenssien takana

vaan harrastajien käyttöön toteutettuja ilmaisia ohjelmia. (Hausman & Horne 2014, 85).

Mallin piirtämiseen ohjelmalla ei tarvita muuta kuin ajatus siitä millainen kappaleen pitäisi olla ja valitun ohjelman osaamista. Kun haluttu kappale on mallinnettu ohjelmalla syötetään se sen jälkeen 3d tulostimelle, joka tekee työtä käskettyä. (Hausman & Horne 2014, 87)

3.3.2 Mallinnus skannaamalla

Optinen skannaus on suosiotaan kasvattava tapa saada mallinnettuja fyysisiä objekteja digitaalisessa muodossa. Skannaamisen etuja ohjelmalla käsin mallintamiseen on vaikkapa luonnossa esiintyvien tarkkojen geometrioiden taltioiminen. Esimerkkeinä voidaan mainita ihmisen muotoja tai eläimen anatomiaa, kasvien muotoja, kivien malleja ja suurempia maaston muotoja. Myös esineet, joista ei ole valmiiksi olemassa olevaa mallia, kuten arkeologiset esineet ja muuten vain rikkoutuneet esineet on myös helppo mallintaa. (Lipson & Kurman 2010, 96)

Optisessa skannauksessa laite lukee skannatun kohteen eräänlaisena pisteverkkona. Jokaisella pisteellä on x, y ja z koordinaatti laitteeseen nähden. Kun laitteen tiedot annetaan 3d mallinnusohjelmalle ohjelma lukee tiedot ja yhdistää kaikki koordinaatiston pisteet suureksi verkoksi. Puuttuvien pisteiden välille ohjelma osaa laskea sopivan geometrian ja täyttää aukot. Näin saadaan tarkka kuva skannatusta kohteesta. Ohjelmilla on myös mahdollista muuttaa mallinnetun kappaleen muotoja. Skannaamisen ehdoton etu on skannatusta kohteen tarkkuus. Toisaalta jos mallinnettava kappale on vielä ajatuksen tasolla on skannaaminen mahdotonta. (Lipson & Kurman 2010, 96)

4 RUISKUVALUN JA 3D TULOSTAMISEN YHDISTÄMINEN

Kuten jo aikaisemmin todettiin 3d tulostetun insertin käyttö ruiskuvalumuotin sisällä tuo muotin valmistuskustannuksia alas roimasti. Vaikeidein geometrioiden koneistaminen teräksestä tai alumiinista CNC-koneilla valmiiksi ruiskuvalumuotiksi vie rahan lisäksi myös paljon aikaa. Muovinen insertti on huomattavasti nopeampi sekä kustannustehokkaampi tapa.

4.1 Käyttökohde

Muovista tulostetut insertit eivät tietenkään ole fysikaalisilta ominaisuuksiltaan lähelläkään terästä lämmön ja paineen keston osalta. Toisaalta halvat valmistuskustannukset ovat omiaan tekemään menetelmästä houkuttelevan ruiskuvalutuotannoissa.

Jokainen uusi ruiskuvalettava esine lähtee liikkeelle suunnittelusta ja prototyypin luomisesta. Yleensä prototyypit voidaan jo itsessään tehdä 3d tulostamalla, mutta menetelmässä ei yleensä saada valmistettua prototyyppiä halutusta loppu raaka-aineesta, koska 3d tulostimet eivät pysty ajamaan aineita. Tämän takia on välttämätöntä käyttää ruiskuvalukonetta, jotta saadaan selville miten raaka-aine käyttäytyy lopullisessa tuotteessa. (Grundewald S. J.)

Usein ensimmäiset vedot eivät ole sitä mitä halutaan ja vaikka ruiskuvalukoneessa on useita säädettäviä parametreja ei lopputulos siitäkään huolimatta ole sitä mitä halutaan. Näin ollen joudutaan jo valmistettua teräksistä tai alumiinista muottia muokkaamaan, mikä on jälleen kallista ja hidasta. (Zonder & Sella, 1)

Jos muotti taas valmistetaan muovista käyttämällä olemassa olevaa 3d tulostustekniikkaa päästään halvemmalla ja vähemmällä ajalla. Jos muotti vaatii suunnittelua ei tarvitse kuin tehdä tarvittavat muutokset alkuperäiseen muottitiedostoon ja tulostaa uusi. Näin saadaan prototyyppi ajettua lopullisesta raaka-aineesta ilman suuria kustannuksia.

4.2 Käytetyt 3d tulostus menetelmät ja tulostus raaka-aineet

Internetistä löytyy parhaiten tietoa Stratasysin käyttämästä tekniikasta, jossa material jetting -tekniikalla toimivia tulostimia on käytetty inserttien tulostamiseen. Material Jetting -tekniikalla valmistetuilla inserteillä on erittäin tarkka ja hyvin viimeistely jälki. Tämä edesauttaa insertin valmistusnopeutta, sillä suuriin jälkiviimeistelyihin ei ole tarvetta. Stratasysin laitteen tulostusasetuksista löytyy myös asetus kiiltävälle pinnan viimeistelylle, mikä on omiaan kaikille pinnoille, joille ruiskutetaan sulaa muovimassaa.

Material Jetting tekniikalla valmistetuissa inserteissä käytetään raaka-aineena Stratasysin digitaalista akryylinitriilibutadieenistyreeniä (ABS). Materiaali vastaa tavallista ABS:ää, mutta se yhdistää korkean lämmönkeston ja kovuuden. (Polyjet best practice: Digital ABS)

Kirjallisuudesta löytyy hyvin vähän tietoa muista käytetyistä 3d tulostusmenetelmistä inserttien kanssa, mutta ei ole syytä epäillä etteikö perusajatus toimisi muillakin menetelmillä, vaikkakaan tulostettava jälki ei olisikaan yhtä hyvää kuin stratasysin tekniikalla.

4.3 Tuotannon säästöt

3D tulostettujen inserttien vaikutus tuotannon kustannuksiin on helposti havainnollistettavissa Stratasysin tekemillä asiakaskyselyillä (Liitteet 1-6). Säästöt rahassa mitattuna ovat jokaisella asiakalla 75% tai enemmän ja ajalliset säästöt vielä huomattavammat verrattuna perinteisten teräksisten ruiskuvalumuottien käyttöön. Jos muotti valmistetaan alumiinista eli niinsanotusta pehmeästä aineesta säästöt eivät ole enää niin suuria, mutta kuitenkin huomattavia, kuten kuvasta 4 voidaan nähdä.

	Aluminum		Digital ABS		
	Cost	Lead Time	Cost	Lead Time	Components
 Fan rotor made of POM	\$1,670	7 days	\$960	1 day	<ul style="list-style-type: none"> Objet500 Connex 810gr RGD535 1408gr RGD515 100gr support
 Set of six (6) ice cream spoons made from PP	\$1,400	30 days	\$785	7 hours	<ul style="list-style-type: none"> Objet260 Connex 400gr RGD535 480gr RGD515 100gr support
 Digital ABS mold for producing threaded cap	\$1,900	4 days	\$530	13 hours	<ul style="list-style-type: none"> Objet350 Connex 500gr RGD535 876gr RGD515 100gr support

Kuva 8. Alumiinimuotin kustannukset verrattuna digitaalisesta ABS:stä valmistetun muotin kustannuksiin. (Zonder & Sella, 6)

4.4 Muotin teossa huomioitavaa

Vaikka inserttejä käyttämällä päästään loistaviin tuloksiin lopputuotteen kestävydessä ja muodoissa, ei valuprosessi kuitenkaan ole identtinen teräsmuottiin verrattuna käytetyn muovi raaka-aineen ominaisuuksien johdosta. Perusajatukseltaan muotti toimii samalla periaatteella kuin perinteiset teräsmuotit.

4.4.1 Muotin suunnittelu

Muottia suunnitellessa tulee muotin päästökulma tehdä niin suureksi kuin valmistettava kappale antaa myöden. Kappale tulee muotista ulos helpommin ja vähentää inserttiin kohdistuvaa rasitusta ulostyönnössä. (Zonder & Sella, 6)

Syöttökanavan koon tulisi myös olla suurempi kuin perinteisellä teräsmuotilla leikkausjännitysten vähentämiseksi. Kanavan tulee myös olla sijoitettuna siten, että sula massa ei törmää pieniin tai ohuisiin muotin piirteisiin. (Zonder & Sella, 6)

Tulostetun muotin tulostusjäljet tulee orientoida samaan suuntaan kuin muottiin tuleva sula massa liikkuu. Poistomekanismia varten suunnitellut reiät kannattaa tehdä 0.2-0.3 millimetriä pienemmiksi kuin muotin ulostyöntökarat ja viimeistellä tulostuksen jälkeen oikean kokoisiksi. (Bashor 2015, 32)

4.4.2 Ruiskuvaluprosessi

Ensimmäistä valua tehtäessä inserttiä käyttäen ruiskutusaika saa olla selvästi pidempi kuin normaalisti. Muovisen muotin seinämät eivät jähmetä sulaa muovimassaa samalla tavalla kuin teräsmuotti. Ruiskutettavan muovin määrää kannattaa käyttää aluksi pientä massamäärää ja kasvattaa sitä kunnes muotti saadaan täytettyä. (Zonder & Sella, 7)

Jälkipidossa on syytä käyttää 50-80% normaalista ruiskutuspainesta ja säätää jälkipidon aika sopivaksi, jottei kutistumia ilmene. (Zonder & Sella, 7)

Material Jetting tekniikalla valmistetuilla muovisilla inserteillä on matala lämmönjohtavuus, joten ruiskuvalujen välissä täytyy olla pidempi jäähdytysaika. Pienillä ja alle yhden millimetrin seinämäpaksuuden omaavilla kappaleilla kannattaa aloittaa 30 sekunnista ja kokeilemalla selvittää paras aika. Suuremmilla kappaleilla on syytä lähteä 90 sekunnista liikkeelle. Muotin käyttöiän maksimoimiseksi jokaisen ruiskutus

syklin jälkeen insertin pinta kannattaa jäähdyttää paineilmalla tai integroimalla muottiin nestejäähdytys. (Zonder & Sella, 7-8)

5 KOKEELLINEN TYÖ

Päätimme soveltaa kaikkea oppimaamme tietoa inserttien tulostamisesta ja suunnitella oman kappaleen 3d-tulostamalla insertin ja sen jälkeen valamalla ruiskuvalukoneella kyseisen kappaleen. Työ alkoi kappaleen suunnittelulla ja tällä kertaa valmiiksi tuotteeksi valikoitui tavallinen lasipullon kruunukorkin avaaja.

5.1 Kappaleen suunnittelu

Suunnittelu alkoi tehtävän kappaleen ideoinnilla. Kappaleeksi valikoitui tavallinen lasipullon kruunukorkin avaaja. Kun kappale oli tiedossa alkoi materiaalien valinta, sillä materiaalit vaikuttavat ruiskuvalutöissä siihen, millainen muotista tulee. Materiaalien valintaan vaikutti suuresti käytössä olevat laitteet.

5.1.1 Käytettävät laitteet ja materiaalit

Suunnittelin insertin tulostettavaksi RepRap BCN3D+ koneella, joka on FDM-ekstruusiotekniikalla toimiva 3d tulostin. FDM -tekniikan hyviä puolia ovat harrastajakäyttöön soveltuva laitteen hinta ja käyttökustannukset. Huonoja puolia ovat epätarkka tulostusjälki ja rajalliset tulostusmateriaalit, sekä tarve kappaleen jälkityöstölle.

On tärkeää käyttää insertin raaka-aineena mahdollisimman kovan lämmönkeston omaavaa muovia ja ruiskuvalettavana aineena muovia, jonka ruiskutuslämpötilan ei tarvitse olla hirveän korkea

RepRap BCN3D+ 3d tulostimen käyttöohjeesta selvisi, että käytettävänä tulostusmateriaaleina toimivat polylaktidi (PLA), akrylinitriilibutadieenistyreeni (ABS), Nylon, iskunkestävä polystyreeni (HI-PS), polyvinyylialkoholi (PVA), Laybrick, Laywood ja Filaflex filamenttilangat.

Näistä vaihtoehdoista on mahdollista sulkea pois Laybrick, Laywood, Filaflex, sekä PLA niiden matalien lämmönkestojen takia. Edellä

mainittujen lankojen tulostuslämpötilat jäävät alle 220 celsiusasteen. PVA ja HI-PS ovat muilla raaka-aineilla tulostettaessa tukirakenteissa käytettyjä materiaaleja, jotka on tarkoitus liuottaa irti tulostuksen jälkeen, joten ne eivät ole käytettävissä. (Matterhackers)

Jäljelle jäävät ABS ja Nylon langat, joista kummatkin ovat kestumuoveja ja jotka ovat molemmat suosittuja lankoja käyttökohteissa, joissa vaaditaan hyvää kestävyyttä ja tarkkaa lopputulosta. Nylon lanka oikeissa olosuhteissa tulostettuna tarjoaa paremman kovuuden ja elastisuuden kuin ABS. Langan kulumisenkesto on myös erittäin hyvää. Nylon langan tulostus tosin vaatii valtavaa hienosäätöä, sekä kokemusta sen käytöstä, mikä tekee onnistuneen tulostuksen saamisesta vaikeaa. Se on myös hygroskooppinen aine, eli nylon imee kosteutta ilmasta, mikä tarkoittaa sitä, että sen säilytyksen kanssa on oltava huolellinen. Myös tulostettaessa on tärkeää että lanka pystytään pitämään kuivana ja lämpimänä. Tulostuslämpötila nylonilla on 220 ja 260 celsiusasteen välillä. (Armani 2017)

ABS 3d tulostusmateriaalina on kerännyt suurta suosiota lukuisissa erilaisissa tekniikan töissä. ABS:n jälkityöstöominaisuudet ovat hyvät. Siihen on mahdollista porata suuremmat kappaleen ulostyöntö karat, sekä sen pintaa on mahdollista kiillottaa parempaa kestävyyttä ajatellen. ABS on ominaisuuksiltaan hieman oikein tulostettua nylonia heikompaa, mutta sen tulostus ei vaadi yhtä tarkkaa osaamista tai tulostusasetusten säätämistä. Tulostusmateriaalin kanssa työskentely ei myöskään ole yhtä tarkkaa kuin nylonilla hygroskooppisten ominaisuuksien takia. ABS:n tulostuslämpötila on noin 250 °C. (Armani 2017)

Stratasysin ohjeiden mukaan inserttiin tulostettavan kestumuovimateriaalin ruiskutuslämpötilan ei tulisi ylittää digitaalisen ABS:n kanssa 300° celsiusasteen lämpötilaa. Tällaisia ruiskuvalettavia muoveja ovat esimerkiksi: Polyeteeni (PE), polypropeeni (PP), polystyreeni (PS), akryliniitriilibutadieenistyreeni (ABS), termoplastiset elastomeerit (TPE), polyamidi (PA), polyasetaali (POM) sekä polykarbonaatin ja ABS:n sekoitus PC-ABS. (Bashor, 11)

Kokeellisessa työssäni ei ollut käytössä material jetting –tekniikalla toimivaa 3d tulostinta eikä täten myöskään digitaalista ABS:ää tulostusmateriaalina. Valikoin ruiskuvaluun materiaaliksi polypropeenin, sillä se on yksi eniten käytetyistä valtamuoveista, se toimii ruiskuvaluprosessissa erittäin hyvin sekä sitä on mahdollista työstää lämpötilassa, joka jää insertin työstölämpötilaa matalammaksi. Ruiskuvaluparametrit havainnollistettavissa taulukossa 1.

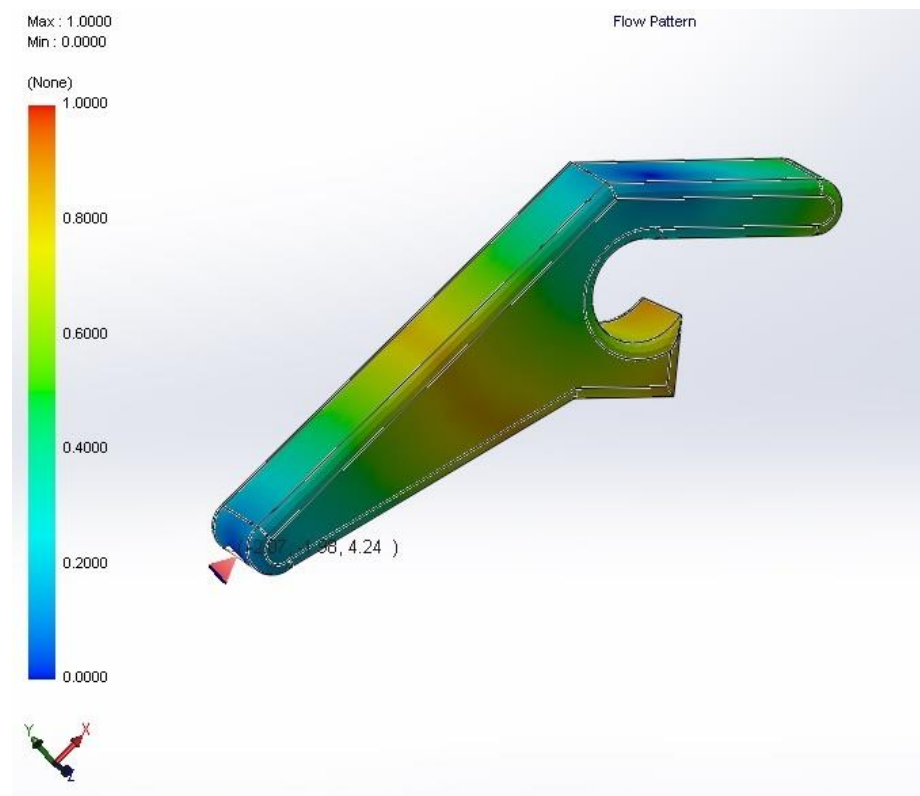
Taulukko 1. Polypropeenin ruiskuvaluparametrejä. (Koleva, 5)

Ominaisuus	PP
Prosessointilämpötila (°C)	202 – 252
Takasynterän lämpötila (°C)	220
Keskisynterän lämpötila (°C)	220
Etusynterän lämpötila (°C)	220
Suuttimen lämpötila (°C)	220
Muottilämpötila (°C)	35 – 49
Kuivauslämpötila (°C)	82

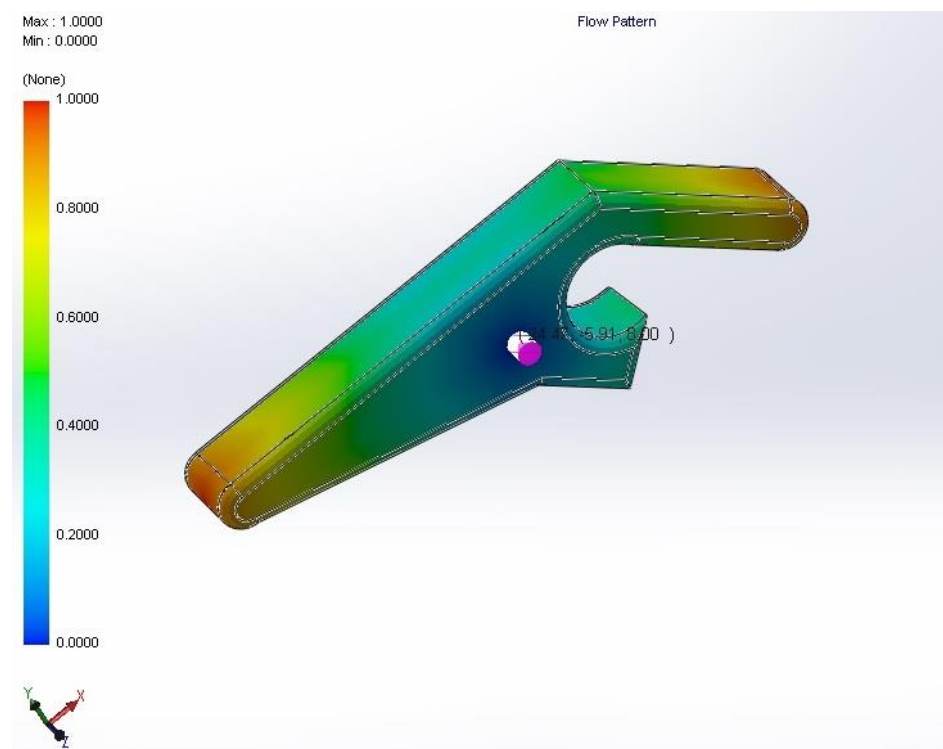
5.1.2 Kappaleen suunnittelu

Materiaalien valitsemisen jälkeen oli aika mallintaa kappale Solidworks ohjelmalla. Suunnitelin kappaleen ja katsoin miten kappale käyttäytyy kun polypropeenin ruiskutus pistettä vaihtaa. Kuvissa 9. ja 10. on esitettyinä pullonavaajan muoto, sekä kaksi eri valupistettä ja niiden vaikutukset muovin valuominaisuuksiin. Mitä enemmän kappaleessa on punaiseen menevää väriä, sitä todennäköisempää on, että valun aikana tai sen jälkeen kyseisissä paikoissa ilmenee ongelmia vääristyminä tai sisäisinä

jännityksinä.

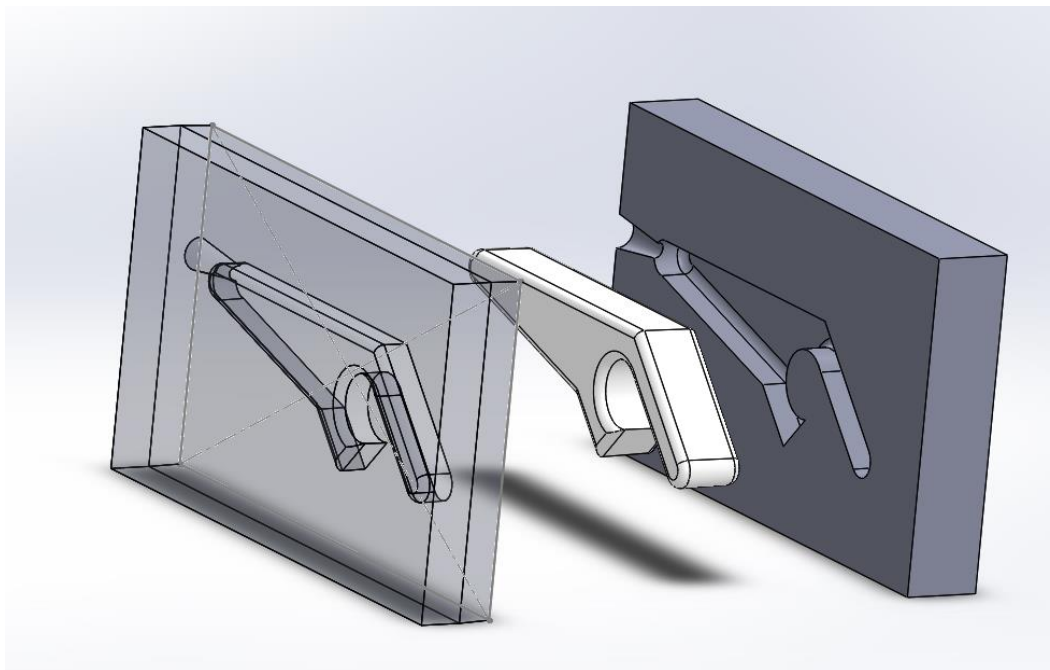


Kuva 9. Pullonavaajan 3d mallinnettu kuva. Valu kappaleen päästä.



Kuva 10. Pullonavaajan 3d mallinnettu kuva. Valu kappaleen sivusta.

Kun olin saanu kappaleen muodon kuntoon tein sille SolidWorksillä muottipesän, joka toimii inserttinä. Kuvassa 11. näkyy kappaleen molemmin puolin olevat insertit, sekä valukanavaa. Valukanava valikoitui kappaleen päätyyn, sillä näin saadaan sulan massan virta samansuuntaiseksi tulostusjäljen kanssa. Päästökulma kappaleella on 2 astetta, mikä on polypropeenin suurin sallittu päästökulma. Aikatauluteknisistä syistä emme pystyneet järjestämään ruiskuvalumuottia, johon olisimme saaneet soviteltua insertin ja tästä syystä mallinnoksesta puuttuvat reijit ulostyöntökaroille.



Kuva 11. Suunniteltu insertti.

6 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli selvittää mahdollisuudet jatkuvasti yleistyvän ja kehittyvän 3d tulostamisen, sekä vanhemman ja hitaammin kehittyvän ruiskuvalamisen yhdistäminen muottisuunnittelussa, jotta muoviteollisuuden tuotantokustannuksia saataisiin piennennettyä.

Tiedonkeruussa kävi selväksi, että kalliimmilla ja tarkemmilla 3d -tulostimilla insertin tulostaminen onnistuu ja sen käyttö ruiskuvalutuotannossa on mahdollista ja kannattavaa, kunhan kappalesarjat olivat riittävän pieniä. Tästä heräsi kysymys siitä onko sama mahdollista myös harrastajatason 3d -tulostimilla, vaikka kappalesarjat olisivatkin paljon pienempiä kuin digitaalisella ABS:llä ja material jetting -tekniikalla.

Valitettavasti emme pystyneet toteuttamaan ruiskuvalua FDM -tulostetulla insertillä, mutta toteutimme kuitenkin kaikki vaadittavat askeleet kappaleen suunnittelussa pois lukien ruiskuvalukoneella tehtävät ruiskutusasetusten optimoinnit. Tätä työtä tehdessä on mieleen noussut useita asioita, joilla saattaisi olla vaikutusta insertin käyttöikään, kuten erilaiset pinnoitusmenetelmät. 3D -tulostaminen kehittyy jatkuvasti ja myös metalleista on mahdollista tulostaa 3d kappaleita. Onko ruiskuvalumuottien tulevaisuus siirtymässä pysyvästi CNC -koneilta 3d -tulostimille, vai onko tulostimien rooli vain prototyyppien mallintamisessa.

Opinnäytetyötä tehdessäni opin suunnattomasti 3d -tulostamisesta ja siitä mihin kaikkeen erilaiset tulostimet pystyvät. Tulostettujen inserttien käytöstä löytyi tietolähteitä 2010 vuodesta eteenpäin, joten on varmaa että tekniikat tulevat vielä kehittymään. Aihealue on erittäin mielenkiintoinen ja tulevaisuuden käyttökohteet erittäin laajoja.

LÄHTEET

PAINETUT LÄHTEET

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

Hausman, K. & Horne, R. 2014. 3D printing for dummies. 1. p. Wiley.

Lipson, H. & Kurman, M. 2010. The New World of 3d Printing. 1. p. John Wiley & Sons, Incorporated.

ELEKTRONISET LÄHTEET

Höök, T., Nykänen, S. 2015. Ruiskuvaluprosessi [viitattu 12.10.2017] Tampereen teknillinen korkeakoulu. Saatavissa: <http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/ruiskuvaluprosessi.pdf>

Grundewald S. J. 2016. The Injection Molding Industry turns to 3D Printing to Accelerate Product Development Cycles [viitattu 7.12.2017] 3Dprint.com. Saatavissa: <https://3dprint.com/134497/injection-molding-3d-printing/>

Zonder, L. & Sella, N. Precision Prototyping the Role of 3D Printed Molds in the Injection Molding Industry [viitattu 7.12.2017] Stratasys. Saatavissa: http://usglobalimages.stratasys.com/Main/Files/White%20Papers/SSYS-WP-InjectionMolding-9-23-13.pdf?v=635170950792353943#_ga=2.209594192.374090721.1512579649-1288226554.1512579649

Polyjet Best Practise: Digital ABS. [viitattu 11.12.2017] Stratasys. Saatavissa http://usglobalimages.stratasys.com/Main/Files/Best%20Practices_BP/BP_PJ_DigitalABS.pdf?v=635817315234043539

Bashor, M. 3D Printed Injection Molds. [Viitattu 8.12.2017] Stratasys.

Saatavissa:

<https://www.moldmakingtechnology.com/cdn/cms/1%20stratasys.pdf>

3D Printer Filament Guide. [Viitattu 12.12.2017] Matterhackers.

Saatavissa: <https://www.matterhackers.com/3d-printer-filament-compare>

Armani, M. 2017. What's the Difference Between PLA, ABS, and Nylon?

[Viitattu 12.12.2017] MachineDesign. Saatavissa:

<http://www.machinedesign.com/consideration/what-s-difference-between-pla-abs-and-nylon>

Koleva, M. Polypropeeni (PP). [Viitattu 13.12.2017] Tampereen teknillinen

yliopisto. Saatavissa

http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/plastics_PP_FI.pdf

LIITTEET

LIITE 1.

Worrell



3D Printer:
Objet500 Connex

Industry:
Medical device design house

Need:
Speeding time to market in medical device
product development for their customers

LIITE 2.

Worrell: MedTG

Time (Days)

Traditional Tooling

56

3D Printed Tooling

2

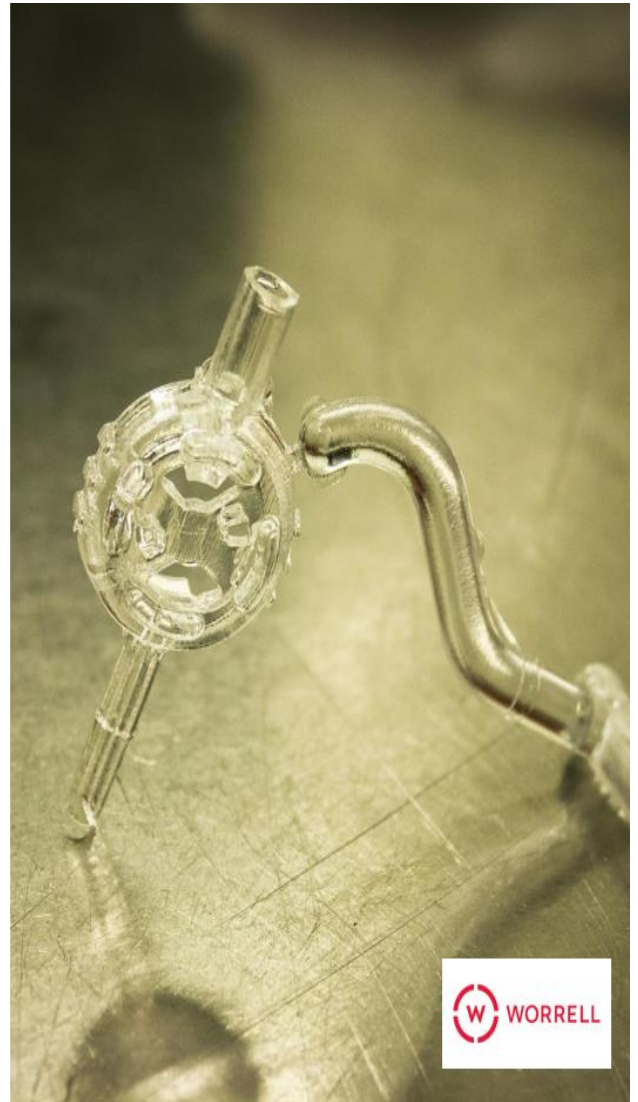
Cost (USD)

Traditional Tooling

11,000

3D Printed Tooling

2,600



LIITE 3.

Worrell: OBMedical

Time (Days)

Traditional Tooling



3D Printed Tooling

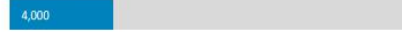


Cost (USD)

Traditional Tooling



3D Printed Tooling



LIITE 4.

Unilever



Cost Savings

Unilever was able to produce prototypes at 20% of the usual cost.



Time Savings

Unilever can deliver iterations 50 percent faster than traditional model making methods.



LIITE 5.

Seuffer



Printer: Objet30Pro, Objet500 Connex

Industry: Automotive

Need:

- Prototypes from final material
- Functional tests for snap fits
- Electrical components over-molding

LIITE 6.

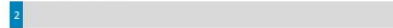
Seuffer

Time (Days)

Traditional Tooling



3D Printed Tooling



Cost (Euros)

Traditional Tooling



3D Printed Tooling

