

Antti Suonio

# 3D-TULOSETTUJEN MUOTTIEN KÄYTTÖ RUISKUVALUPROSESSOINNISSA

Materiaalitekniikka  
Kandidaatintyö  
09/2020

# TIIVISTELMÄ

Antti Suonio: 3D-tulostettujen muottien käyttö ruiskuvalu prosessoinnissa

Kandidaatintyö

Tampereen yliopisto

Materiaalitekniikka

09/2020

---

Muovin ruiskuvalaminen tuottaa tarkkoja, tasalaatuisia tuotteita ja prosessi on helposti automatisoitavissa, mutta menetelmän aloituskustannukset ovat usein esteenä etenkin pienille sarjoille. Suurin syy korkeaan hintaan on vaativien työkalujen, kuten muottien, valmistus.

Ruiskuvalumuotit ovat perinteisesti metallia, ja niiden koneistus on sekä aikaa vievää, että kallista. Valmistamalla ruiskuvalumuotti 3D-tulostamalla saadaan hinta ja valmistusaika laskettua murto-osaan. Muovimuotin hinta oli tutkituissa tilanteissa keskimäärin alle 10 % vastaavanlaisesta metallisesta ja aikaa säästyi usein viikkoja. Työssä tutkittiin muovimuottien hyötyjä ja haittoja ruiskuvalumuotteina, sekä pohdittiin mahdollisia kehityssuuntia.

FDM menetelmällä 3D-tulostettu ruiskuvalumuotti on toimiva ratkaisu lyhyiden sarjojen valmistukseen sekä koekäyttöön mallintaessa pitkäaikaisempaa muottia. Riippuen muotista ja valettavan materiaalin ominaisuuksista, on mahdollista valmistaa jopa 500 kappaleen eriä yhdellä muotilla. Korkeassa lämpötilassa sulavat muovit kuluttavat muottia nopeammin, jolloin syklien kesto pienenee. Muotin materiaalin käyttölämpötilan olisi hyvä olla korkeampi kuin valettavan materiaalin sulamislämpötila, taatakseen mahdollisimman pitkän käyttöiän. Sykliajat ovat pidemmät kuin metallisessa muotissa johtuen pitkästä jäähdytysajasta muovien lämmönjohtavuuden takia, mutta muotin toimitusajan säästö mitätöi pidentyneen valmistusajan pienillä sarjoilla. Prototyypin valmistus 3D-tulostamalla mahdollistaa muottien edullisen ja nopean testauksen käytännössä. Etenkin prototyypin käytössä muovien haitat, kuten lyhyt elinikä ja kuluminen, eivät ehdi olla ongelma, kunhan valettavan materiaalin ominaisuudet eivät rajoita sen käyttöä muovimuotissa.

Tutkituissa tilanteissa muotit olivat valmistettu perinteisistä FDM-filamenttimateriaaleista, kuten ABS, joten käyttämällä korkean suorituskyvyn muoveja, kuten PEEK, voisi kuvitella muotin käyttöiän ja -mahdollisuuksien kasvavan. Vastaavanlaisesti muovien kehittyessä niiden heikkouksia, kuten huonoa lämmönjohtavuutta, lämmönkestoa ja kulutuskestoa parantamalla voisi valmistaa muotteja, jotka soveltuisivat pidemmille sarjoille. Useamman muovimuotin käyttö keskisuurille sarjoille voisi osoittautua edullisemmaksi kuin yhden metallisen, jos sille ei ole jatkokäyttöä.

3D-tulostus kuuluu materiaalia lisääviin valmistusmenetelmiin, joka ei ole samalla tavalla rajoittunut kuin perinteinen materiaalia poistava työstäminen. Muottiin on mahdollista luoda jäähdytyskanavia, joiden muodot sekä suunnat ovat täysin muokattavissa, jolloin jäähdytystä saadaan tehostettua. Tällä tavoin saadaan lyhennettyä syklien kestoja ja parannettua tuotteiden laatua. Myötäilevä jäähdytys ei kuitenkaan todennäköisesti riitä parantamaan muovimuotin suorituskykyä perinteisesti valmistetun metallisen tasolle, mutta se mahdollistaa teknologian testauksen materiaalia lisäävillä valmistusmenetelmillä valmistetuissa metallimuoteissa.

FDM-menetelmällä tulostetuilla muovimuoteilla on jo nyt huomattavia etuja ruiskuvalu prosessoinnissa, ja materiaalien kehittyessä se voi mahdollistaa ruiskuvalamisen tilanteisiin, joissa se ei olisi ennen ollut kustannustehokasta.

Avainsanat: FDM, 3D-tulostus, ruiskuvalumuotti, muovi, polymeeri

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# ABSTRACT

Antti Suonio: The use of 3D printed moulds in injection moulding.

Bachelors Thesis

Tampere University

Material Sciences

09/2020

---

Injection moulding produces accurate and high quality plastic parts, with easy automation capabilities. The largest downside is the high initial cost, which is largely due to costly and time consuming machining of the injection moulds, which often limits its use for small scale production.

Recent advancements in 3D-printing have made it possible to produce moulds for a fraction of the cost and time, under 10 % in the cases studied. This report aimed to study the benefits and drawbacks of using FDM 3D-printed moulds for injection moulding as well as possible future advancements.

3D-printed moulds have proved to be useful in both mould prototyping as well as for short production runs, but due to the inherent disadvantages of plastic, are not suitable for mass production. In the cases studied in this report, up to 500 cycles could be achieved from a single mould, when using a soft polymer as the injection moulding material. Harder plastics shortened the life-span of the mould.

An important factor in the durability of the mould is the temperature resistance of the 3D-printed material. Optimally, the temperature resistance of the mould material would be significantly higher than the melting temperature of the injected material. This however, makes 3D-printing more challenging and may limit the material selection for injected product.

Cycle times are significantly increased with plastic moulds, but the time lost in production is more than made up for in the time to manufacture the mould, especially for short runs or prototyping. 3D-printed moulds enable a fast and cost-effective way to test injection moulds in practice, without long waiting times.

The cases studied in this report used moulds which were printed from more common filament materials such as ABS, so by using a high performance polymer such as PEEK, it may be possible to increase the durability and possibilities for future 3D-printed injection moulds. Similarly, with future advancements in polymer technology, bringing stronger, more heat conductive and heat resistant materials it is easy to imagine 3D-printed moulds becoming a staple for injection moulding on a larger scale also.

Additive manufacturing allows for the cooling channels within the moulds to be manufactured such that they follow the contour of the product and may vary in their diameter and shape. This allows for more effective cooling which reduces cycle times and improves product quality. Whilst they most likely won't increase the capabilities of plastic moulds to be on par with machined metal molds, it allows for the plastic moulds to be used in cases where their cooling performance may not have been entirely adequate, and serves as a testing ground for additively manufactured metal moulds which would see a significant improvement.

Keywords: FDM, 3D-printing, injection mould, plastic, polymer

# ALKUSANAT

Tämä tekniikan kandidaatintyö on tehty Tampereen yliopiston materiaalitekniikan laitokselle.

Haluan kiittää ohjaajaani Ilari Jönkkäriä avusta löytää kiinnostava aihe työlle, rohkaisevista sanoista ja muusta työhön liittyvästä ohjauksesta.

Kiitos Katriinalle tuesta ja avusta tekstin muokkaamisessa.

Tampereella, 10/2020

## SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
2. RUISKUVALAMINEN .....	3
2.1 Menetelmä .....	3
2.2 Ruiskuvalumuotti.....	4
3. 3D-TULOSTAMINEN .....	7
3.1 3D-tulostin.....	8
3.2 3-D tulostettu ruiskuvalumuotti .....	9
3.3 Valu- sekä muottimateriaalit .....	12
4. JÄÄHDYTYS.....	14
4.1 Jäähdytyskanavat .....	14
5. YHTEENVETO.....	18
LÄHTEET .....	19

## LYHENTEET JA MERKINNÄT

3D-tulostaminen	Three dimensional-tulostaminen
SLS	Selective laser sintering
DMLS	Direct metal laser sintering
FDM	Fused deposition modelling
SLM	Selective laser melting
SLA	Stereolithography
MJP	MultiJet Printing
EBM	Electron beam manufacturing
EDM	Electric discharge machining
CAD	Computer aided design
ABS	Akrylinitriilibutadieenistyreeni
PE	Polyetyleeni
PP	Polypropyleeni
TPE	Thermoplastiset elastomeerit
PA	Polyamidi
POM	Polyoksimetyyleeni
PC-ABS	Polycarbonaatti/akrylinitriilibutadieenistyreeni seos
PETG	polyetyleenitereftalaatti
PEEK	Polyeetterieetteriketoni
PLA	Polylaktidi

# 1. JOHDANTO

Maailman raakaöljykulutuksesta noin 4–6% käytetään erilaisten muovituotteiden valmistukseen, ja hyvin suuri määrä valmistetaan myös polttoainevalmistuksen ylijäämä hiilivedyistä tai biologisista lähteistä. [1][2] Vuonna 2015 valmistettiin 381 miljoonaa tonnia muovituotteita, joka on 200 kertaa enemmän kuin vuonna 1950. [3] Muoviteollisuuden kasvu ei näytä hidastuvan, mutta onneksi kehitystä ilmenee kaikissa sen osa-alueissa.

Muovit ovat erittäin monipuolinen materiaalityyppi, sillä ne ovat kevyitä, helposti muovattavissa ja kestäviä. Lukuisten etujen vuoksi muoveja käytetään nykypäivänä lähes kaikilla aloilla; ruokailuvälineistä avaruustekniikkaan. Johtuen dramaattisen erilaisista käyttökohteista ja tuotteista, muoveja valmistetaan hyvin erilaisilla menetelmillä, joista jokaisella on omat edut ja haittansa. Tärkeimmät menetelmät ovat ruiskuvalu, rotaatiovalu, kalanterointi, ekstruusio, puhallusmuovaus sekä alipainemuovaus.

Ruiskuvalu on nykypäivänä yleisin muoveille käytetty muodonantomenetelmä, ja jopa 80% päivittäin nähtävistä kestopuovituotteista valmistetaan tällä menetelmällä. [4] Ruiskuvalamisella on valmistusmenetelmänä useita etuja, kuten hyvä tarkkuus, helppo automatisoitavuus, nopea tuotantonopeus ja monimuotoisuus, sillä se soveltuu hyvin pienistä hyviin suuriin tuotteisiin, jotka voidaan valmistaa yhdestä tai useammasta materiaalista [5].

Valmistusmenetelmänä ruiskuvalu soveltuu erittäin hyvin moniin sovelluskohteisiin, mutta sen yleisin rajoittava tekijä on menetelmään liittyvät kustannukset. Tyypillisesti ruiskuvalussa käytetyt koneet sekä työkalut (kuten metalliset ruiskuvalumuotit ja suuttimet) ovat kalliita. Kun tuotteita valmistetaan pienissä sarjoissa, metallisen muotin suunnittelu, testaus ja koneistus ei usein ole kannattavaa, ja tämä johtaa ruiskuvalun hylkäämiseen mahdollisena valmistusmenetelmänä.

3D-tulostuksen kehitys, jonka myötä on saatu aikaan parempaa pinnanlaatua, vahvuutta, tarkkuutta sekä paremmilla materiaaleilla, on mahdollistanut 3D-tulostuksen käytön proto- ja testauskäytössä, sekä lopullisten muottien valmistuksessa. [6]

Muottien valmistuskustannukset verrattuna metallisiin muotteihin on vain murto-osan, noin 5–10%. [7] [8]

Koska 3D-tulostus on kehittynyt niin paljon, voi miettiä miksei itse tuotetta 3D-tulosteta, jolloin jäisi pois koko ruiskuvalun ja muotin tulostuksen tarve. Tuotteiden tulostaminen tapahtuu nykyään huomattavasti nopeammin kuin aiemmin, mutta se on silti aikaa vievä prosessi, ja yhden muotin tulostuksen jälkeen pystyy hyvin nopeasti valmistamaan useamman kappaleen ruiskuvalulla. Jos on tarve 100 kappaleelle, voi ruiskuvalamalla säästämään huomattavasti aikaa. Yhden tai kahden kappaleen valmistus suoraan tulostamalla sen sijaan olisi todennäköisesti nopein ja järkevin vaihtoehto, ellei 3D-tulostuksen tarkoituksena ole testata muottia ennen metallisen muotin valmistusta. Tämän lisäksi ruiskuvalamalla valmistetut tuotteet ovat materiaaliominaisuuksiltaan laadukkaampia, sillä niissä esiintyy vähemmän virheitä.

Tässä työssä selvitetään, minkälaiset edut ja haitat 3D-tulostetuilla muovisilla muoteilla on verrattuna perinteisesti valmistettuihin metallisiin muotteihin ruiskuvaluprosessoinnissa. On myös oleellista ymmärtää, mitkä ovat rajoittavat tekijät ja halutut ominaisuudet muoteille, kun valmistetaan tuotteita ruiskuvalulla.

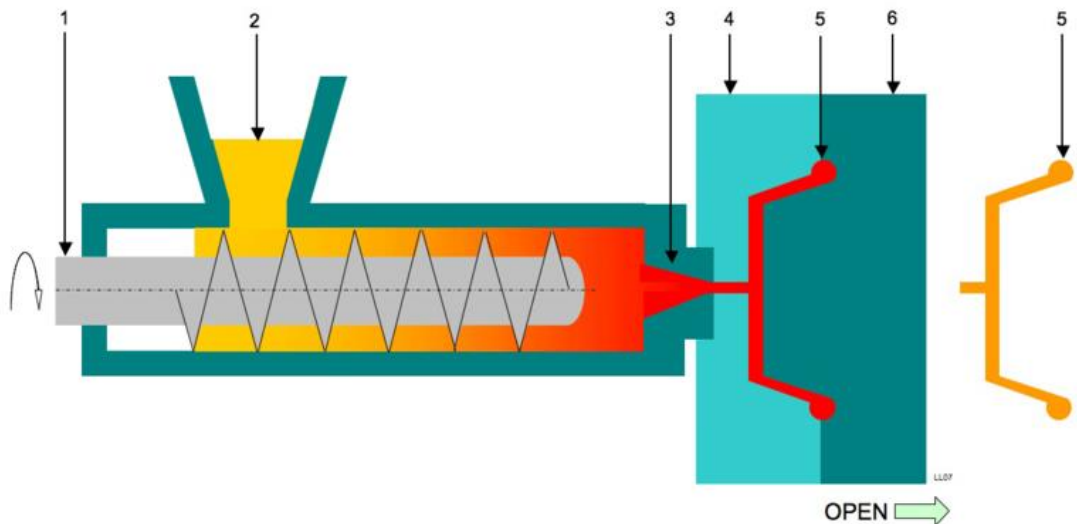


## 2. RUISKUVALAMINEN

Ruiskuvalaminen on oikein optimoituina tehokas ja tarkka valmistusmenetelmä muoveille. Pienet muutokset eri prosessointivaiheissa voivat kuitenkin aiheuttaa huomattavaa hidastusta valmistustahtiin, tai johtaa tuotteen epäonnistumiseen nostamalla valmistuskustannuksia ja laskien tehokkuutta. Tässä työssä keskitytään niihin tuotannon parametreihin, joihin voidaan vaikuttaa ruiskuvalumuotin valinnassa ja valmistuksessa.

### 2.1 Menetelmä

Vaikka ruiskuvaluprosessin optimointi vaatii kokemusta ja asiantuntemusta, on ruiskuvalu pohjimmiltaan yksinkertainen valmistusmenetelmä. Alla olevassa kuvassa 1 näkyy ruiskuvaluprosessin pääkomponentit.



**Kuva 1. Ruiskuvaluprosessin komponentit [9]**

Ruiskuvalamisessa muovipelletit syötetään hopperiin (2) ja sulatetaan ruiskutusyksikössä käyttäen ruuvin (1) ja seinämän välistä kitkaa, sekä vastusten tuottamaa lämpöä. Ruvien pyöriessä muovi liikkuu oikealle kuvassa. Sulamista voi myös edesauttaa käyttäen vastuksia, mutta kitka on sulamisen päätekijä. Kun tarpeeksi

muovia on kulkeutunut ruuvien etupuolelle, ruuvi liikkuu vaakasuunnassa painaen muoviannoksen paineella suuttimen (3) läpi, valukanaviston kautta muottiin. Sulkurengas estää muovisulan virtausta takaisin hopperin suuntaan. Muotin täytön jälkeen käynnistyy jälkipainevaihe, jossa muottiin työnnetään hitaasti korkealla paineella vielä enemmän muovisulaa. Tällä kompensoidaan muotissa olevan muovisulan jäähtymisestä aiheutuvaa tilavuuden pienenemistä, jolloin ehkäistään virheiden, kuten kuplien, onkaloiden tai valujälkien syntymistä. Muotin puoliskot (4 ja 6) muodostavat tuotteen ja niitä kutsutaan yhdessä muottipesäksi. Muottipesä avataan kun tuote (5) on tarpeeksi jähmettynyt. Tuote ulostyönnetään, muotti suljetaan ja sykli toistetaan. Yhdessä muotissa voi myös olla useampi pesä, jolloin saadaan valmistettu useampi tuote kerralla. [10]

Kuvasta poiketen tässä työssä keskitytään muottipesien valmistukseen, joita käytetään insertteinä metallisessa muottirungossa. Ruiskuvaluprosessoinnissa muottiin kohdistuu suuria voimia korkeiden ruiskutuspainoiden takia. Runkoon laitettavien muottipesien käyttö on yleinen käytäntö ruiskuvaluettaessa muottimateriaalista riippumatta. Kehikon tuoma tuki pienentää materiaalitarvetta muotin valmistuksessa, koska muotin vahvuus ei silloin ole riippuvainen sen omasta paksuudesta. Kehikkoa käytettäessä myös muotin sulkupaine kohdistuu muottikehikkoon, eikä muottipesään. Etenkin 3D-tulostetut muotit hyötyvät tästä, sillä ilman kehystä ne täytyisi valmistaa erittäin paksuiksi, jotta ne kestäisivät valmistuksessa käytettyjä paineita.

## 2.2 Ruiskuvalumuotti

Ruiskuvalumuotin tärkeimmät ominaisuudet ovat tarkkuus ja kestävyys. Muotin täytyy kestää ruiskuvalussa käytettyjä suuria sisäisiä paineita, sekä vaadittavaa puristusvoimaa, jolla muotin puoliskot pidetään tiiviinä. Yleisimmät valmistusmateriaalit muoteille ovat alumiini ja teräs. Viimeaikaisen materiaaliedistyksen myötä alumiinin käyttö on kehittynyt muottimateriaalina proto- ja piensarjakäytöstä teräksen tasolle isojen sarjojen valmistukseen, ja tietysti määrin jopa ohikin. Bob Lammon Phoenix Proto Technologies yrityksestä sanoo: "... a successful alternative to steel tooling with huge benefits that will continue to advance and influence the future of the plastics industry". Sekä teräksellä, että alumiinilla pystytään valmistamaan miljoonien kappaleen eriä ruiskuvalulla. [11]

Ruiskuvalumuotteja on kahdenlaisia, kuumakanavamuotteja ja kylmäkanavamuotteja. Kuumakanavamuoteissa polymeerisula pidetään muottiin vievissä kanavissa sulana syklien välissä, kun taas kylmäkanavamuotissa kanavat jähmettyvät tuotteen ohessa ja tuote täytyy irrottaa kanavista ulostyönnön jälkeen. Kanavatyyppin valinnassa on olennaista tuotteen ja tuotannon tarpeet. Kuumakanavamuoteissa voi olla enemmän muottipesiä yhden muotin sisällä kuin kylmäkanava muoteissa, jolloin saadaan valmistettua useampi tuote yhdellä syklillä. Kuumakanavamuottien etuja ovat nopeammat sykliajat, tasaisempilaatuiset tuotteet, vähemmän hukkamateriaalia, sekä pienempi ruiskutuspainevaatus verrattuna kylmäkanavamuotteihin. [12] Kuumakanavamuotit eivät kuitenkaan tyypillisesti sovellu lämmölle herkille materiaaleille, kuten joillekin polymeereille, ja muotin valmistus- sekä ylläpitokustannukset ovat korkeammat. 3D-tulostetuilla muoteilla on olennaista käyttää matalissa lämpötiloissa sulavia materiaaleja, jotta muotti kestäisi mahdollisimman kauan, joten kuumakanavamuotin suunnittelu ja valmistaminen 3D-tulostetusta muovista, etenkin lyhyille sarjoille, ei olisi kustannustehokasta.

Ruiskuvalumuotti valmistetaan tyypillisesti koneistamalla. Muotin raaka-ainetta valitaan ensiksi riittävän kokoinen kappale, joka leikataan muotin kehykseen mahtuvaksi. Tämän jälkeen isoimmat muoteissa esiintyvät muodot työstetään muottiin jyrsimällä, ja hienommat yksityiskohdat saadaan aikaiseksi kipinätyöstöllä (EDM). Viimeisenä vaiheena muotin kaikki pinnat kiillotetaan, jotta tuotteen irrotus tapahtuisi mahdollisimman vaivattomasti ja pinnanlaatu olisi hyvä. Tuotteen irrotuksen kannalta on ruiskuvalumuotteihin myös suunniteltava päästöä, eli muotin pinnan vinoutta. Päästön tarve riippuu ”materiaalista, valumenetelmästä, muottimateriaalista ja muottipesän pinnan tekstuurin syvyydestä”, kirjoittaa Tuula Höök Valuatlaksen oppikirjassa [13]. Päästöä tulisi käyttää tuotteen valmistuksessa niin paljon kuin mahdollista, sillä se edesauttaa tuotteen poistoa muotista. 3D-tulostettuihin muotteihin jää valmistusmenetelmälle ominainen porrasmainen tekstuuri, joka suurentaa päästön tarvetta.

Jotta tuotteen irrotus olisi mahdollisimman helppoa 3D-tulostetusta muotista, jonkinlainen pintakäsittely, kuten kiillotus tai pinnoitus, on tarpeen. Yleisimmät menetelmät pinnanlaadun parantamiseen ovat mekaaninen hionta, kuulapuhallus, liuotinhöyrytys, maalaus, sekä metallipinnoitus. Useampaa menetelmää voidaan myös käyttää yhdistetysti vielä parempaa pinnanlaatua varten. Isoille ja yksinkertaisille muodoille hionta on nopein ja edullisin pintakäsittely. Erittäin pieniin tai hankalasti ulotettaviin yksityiskohtiin hionta tai kuulapuhallus voi olla vaikeaa, jolloin liuotinkäsittely

tai pinnoitus voi soveltua paremmin. Liuotinhöyrystyksessä liuotin sulattaa muovin pintaa tasoittaen kerrokset, ja muodostaen tasaisen kiiltävän tekstuurin.

Muotin suunnittelussa on myös tärkeää huomioida sulan virtaus ja siitä aiheutuvat seuraukset. Sulan liikkussa kanavistossa, etenkin sen tehdessä tiukkoja käännöksiä terävien mutkien ympäri, syntyy leikkausvoimia, jotka kuluttavat muottia, aiheuttavat sulan epätasaista kuumenemista, ja raaka-aineen hajoamista. Muovista tulostetussa muotissa voi ilmentyä kulumista ja siitä aiheutuvaa tuotteen laadun huononemista, joita ei välttämättä esiintyisi metallista muottia käytettäessä.

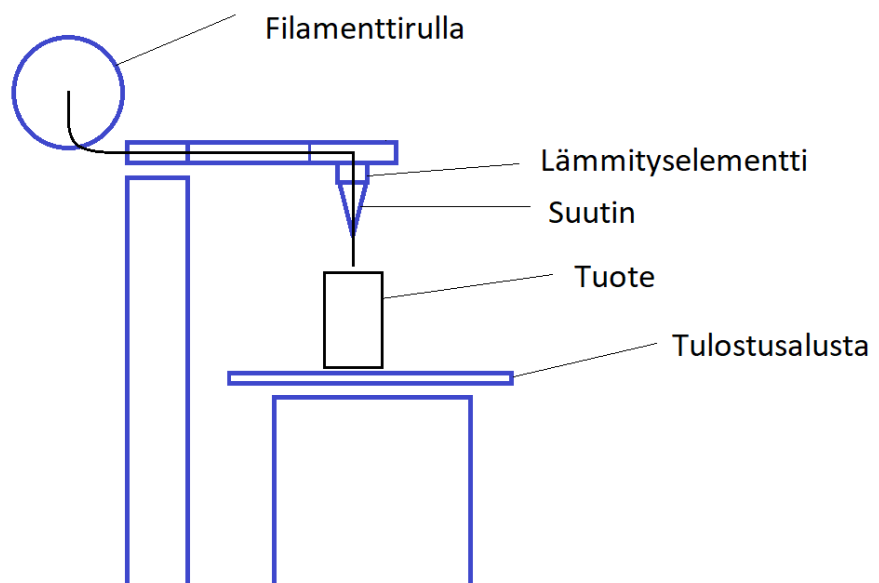
Khurram Altaf et. Al. tutkivat 3D-tulostetun ruiskuvalumuotin käyttöä MIM-valmistuksessa (metal injection molding) verrattuna koneistettuun alumiiniseen muottiin [14]. MIM-valmistuksessa metallijauhe, tässä tapauksessa 316 L teräs, sekoitetaan sideaineeseen, joka ruiskuvaletaan muottiin muodostaen aihion. Tämän jälkeen aihio täytyy vielä sintrata, jotta saadaan halutut ominaisuudet. Tutkimuksessa aihiot poistettiin muotista ennen sintrausta. Kävi ilmi, että on täysin mahdollista ruiskuvalaa metallisia aihioita käyttäen ABS:stä valmistettuja polymeerimuotteja, ja tuottaa tuotteita joiden ominaisuudet vastaavat metallimuottiin valettuja. Muotin kestävyydestä Khurram toteaa, että 3D-tulostettu ABS-muotti soveltuu pienille erille, tai protokäyttöön ennen varsinaisen metallisen muotin valmistusta.

### 3. 3D-TULOSTAMINEN

3D-tulostaminen terminä saa juurensa englanninkielisistä sanoista *three dimensional*, joka tarkoittaa kolmiulotteinen. Tavallisesti tulostuksella ajatellaan kaksiulotteista tulostamista, kuten musteen tulostamista paperille. 3D-tulostuksessa kehitetään esine rakentamalla sen avaruudellinen muoto useina päällekkäisinä ohuina kerroksina.

3D-tulostuksella viitataan nykypäivänä yleensä muovitulostimiin, jotka sulattavat muovilankaa ja pursottavat sulan materiaalin kerros kerrokselta päällekkäin. Tätä kutsutaan nimellä FDM, eli *fused deposition modelling*. Tämän lisäksi on olemassa useita muita 3D-tulostusmenetelmiä, joissa käytetään hyvin erilaisia materiaaleja, joita kaikkia kuvaillaan kollektiivisesti termillä *materiaalia lisäävä valmistus*. Näihin lukeutuu muun muassa SLS, DMLS, SLM, SLA ja MJP. [15] FDM soveltuu parhaiten ruiskuvalumuottien valmistukseen, sillä menetelmä on edullinen ja laajasti käytössä, sekä siinä käytettävät tulostusmateriaalit ovat vahvempia, jolloin muotti kestää eniten syklejä.

Tämä työ keskittyy myös nimenomaan muovin tulostukseen, sillä tavoitteena on tutkia edullisemman, kuin perinteisesti työstetyn metallisen muotin käyttöä ruiskuvalamisessa.



**Kuva 2. FDM-tulostimen rakenteen avainkomponentit**

Tulostimia sekä niiden toimintamenetelmiä on useita erilaisia, vaikka peruseriaate on pitkälti sama. Tulostusalustaa voidaan halutessa lämmittää, tai se voidaan pinnoittaa eri materiaaleilla helpottaakseen tuotteen irrottamista. Suutinta voidaan liikuttaa hihnoilla, ketjuilla, tai rullilla kiskoa pitkin. Komponenttien sijainti ja orientaatio voi valmistajasta riippuen vaihdella.

### 3.1 3D-tulostin

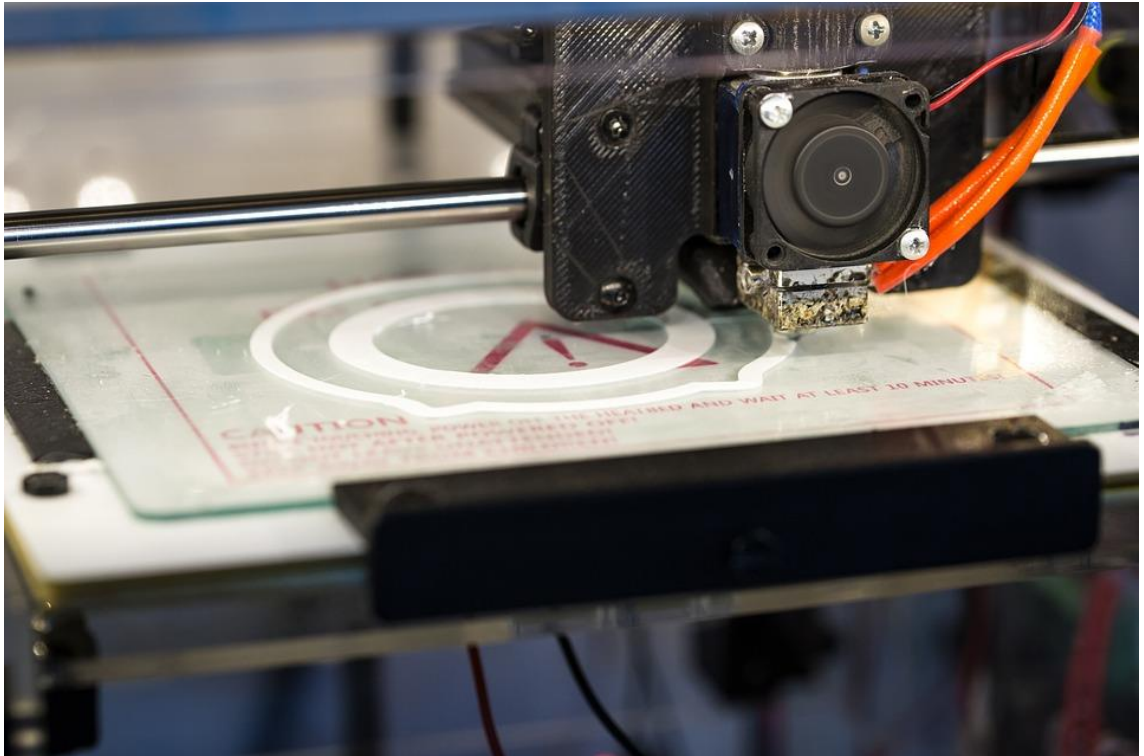
3D-tulostimet koostuvat muutamasta avainkomponentista: tulostusalustasta, kiskoista, lämmityselementistä sekä suuttimesta. Tulostettava muoto suunnitellaan CAD-ohjelmalla, jonka jälkeen se muunnetaan tulostimelle luettavaksi. Tulostin lukee kappaleen muodon sekä tulostusparametrit, jolloin tulostussuutin liikkuu kiskojen avulla asettaen muovisulaa kerroksittain aloittaen tulostusalusta.

Tulostusnopeutta pystyy muuttamaan konfiguroimalla tulostusparametreja, joista yleisimmät näkyvät alla olevasta taulukosta 1.

**Taulukko 1. Tulostusparametreja 3D-tulostimelle**

<b>Tulostusparametrit</b>	<b>Selitys</b>
Ekstruusiolämpötila	Sulan lämpötila ekstruusiohetkellä
Kerrospaksuus	Pursotetun nauhan paksuus
Täyttöprosentti	Pursotuksen tiheys
Suuttimen nopeus	Suuttimen liikkeen nopeus

Muuttamalla yllä olevassa taulukossa näkyviä parametreja, on mahdollista vaikuttaa tulostuksen nopeuteen, joka myös myötävaikuttaa sen laatuun. Esimerkiksi pienentämällä kappaleen kerrospaksuutta, tulostin joutuu pursottamaan enemmän kerroksia rakentaakseen kappaleen lopullisen muodon, mikä puolestaan pidentää tulostusaikaa. Tällöin kerroksien väliin muodostuva porrasmainen pinta ja mahdolliset virheet toisaalta pienenevät, jolloin tulostetun muotin (ja sen avulla mahdollisesti ruiskuvaletun tuotteen) pinnanlaatu paranee. Täten ruiskuvalumuotin päästötarvetta saadaan pienennettyä ja kappale todennäköisesti kestää enemmän syklejä.



**Kuva 3. Pohjakerroksia tulostava 3D-tulostin [16]**

Kuvassa 2 näkyy 3D-tulostin, joka on juuri aloittanut kappaleen tulostuksen. Tulostettava materiaali on aluslevyn päällä näkyvä valkoinen kerros. Kuvassa olevan tulostimen komponentit ovat myös itsessään 3D-tulostettuja, jonka voi havaita tulostimen kyljessä esiintyvistä porrasmaisesta tekstuurista.

### **3.2 3D-tulostettu ruiskuvalumuotti**

3D-tulostamalla voidaan valmistaa muovista muotti, jonka muoto sekä mitat vastaavat metallisen ruiskuvalumuotin arvoja. Tästä huolimatta on selkeitä rajoitteita ja haasteita, joita muovin käyttö muottimateriaalina tuo ilmi.

3D-tulostusta ei yleensä suositella erittäin suurille kappaleille, etenkin tarkkuutta vaativissa käyttökohteissa. 3D-tulostimet ovat tyypillisesti melko pieniä, koska laadukkaan tuotteen tulostus kestää kauan, ja isommille kappaleille toinen valmistustapa on tehokkaampaa. Jo tulostimien fyysisten ulkomittojen takia voi olla mahdotonta tulostaa koko kappale tulostimen sisälle. On kuitenkin mahdollista tulostaa tuote useassa osassa ja liittää osat yhteen. Tämä kuitenkin saattaa aiheuttaa tuotteeseen saumoja, jotka heikentävät sen rakennetta ja aiheuttavat ruiskuvalumuotin tapauksessa valettavalle kappaleelle virheitä.

3D-tulostettua esinettä suunniteltaessa täytyy ottaa myös huomioon muovin kutistuminen sekä tulostuksesta aiheutuva ”elefanttijalka”. Elefanttijalka kuvailee kappaleen pullistumista pohjasta, joka aiheutuu, kun yllä oleva paino litistää alakerroksia silloin kun ne ei ole täysin jäähtyneet. Elefanttijalan pystyy korjaamaan suunnittelemalla kappaleen pohjaan kavennuksen, jolloin lopputulos vastaa haluttua muotoa. [17] Muovit myös lämpölaajenevat huomattavan paljon verrattuna metalleihin. ABS:n lämpölaajeneminen on noin nelinkertainen verrattuna alumiiniin [18], jolloin pienilläkin kappaleilla voi esiintyä merkittävää laajenemista. Koska 3D-tulostuksessa muovi on sulaa kerroksien pursottamisen aikana, lämpötilat ovat korkeat ja jäähdyttäessä muotti muuttaa muotoaan. Monet 3D-tulostimet ovat tämän takia lämmitettyjen kammioiden sisällä, jotta jäähtyminen tapahtuisi tasaisemmin, eikä tuote vääntyisi epätasaisen jäähtymisen takia. Merkittävä lämpölaajeneminen vaikuttaa myös muodon pysyvyyteen, ja ruiskuvaltaessa muovimuotilla useiden syklien jälkeen muotti ei välttämättä vastaa täysin alkuperäistä.

Muovimuotin kestävyys riippuu pitkälti valmistuksen erilaisista tekijöistä, kuten ruiskuvaltavasta materiaalista sekä tuotteen muodosta ja koosta. Ruiskuvaltavasta materiaalin sulamislämpötila on olennainen haaste 3D-tulostetuille muoteille. Korkeissa lämpötiloissa sulavat materiaalit kuluttavat muottia nopeammin, sillä muottiin kohdistuu termistä hajoamista aiheuttaen polymeeriketjujen pilkkoutumista, pienentäen molekyylipainoa ja heikentäen muottia. Liian matala lämpötila sen sijaan aiheuttaa suuremman viskositeetin, jonka johdosta muottiin kohdistuu mekaanista kulumista.

Ruiskuvaltaessa valumateriaalin viskositeetin kontrollointi on tärkeää, jotta saadaan hyvä tasapaino sykliajan, prosessin energiankulutuksen, muotin keston ja mahdollisten virheiden välillä. Käyttämällä korkeaa lämpötilaa saadaan matalampi viskositeetti, jolloin paineen tarve pienenee ja muotin täyttö helpottuu. Matalampi lämpötila ja täten korkeampi viskositeetti sen sijaan nopeuttavat sykliä, sillä jäähtymisaika lyhenee. Pieniä sarjoja valmistaessa syklin nopeudella ei välttämättä ole niin paljon merkitystä, mutta pitkittynyt korkea lämpötila heikentää sekä muottia, että tuotetta. Korkean paineen käyttö pienemmällä lämpötilalla ei välttämättä myöskään soveltuisi muovimuotille, sillä ruiskutettava materiaali ei olisi yhtä notkeaa, jolloin leikkausvoimat olisivat suuremmat ja muotti kuluisi nopeammin.

Viskositeetilla ja lämpötilalla voidaan vaikuttaa muotissa esiintyviin virheisiin, kuten yhtymäsaumoihin, virtauslinjoihin tai imujälkiin. Yhtymäsaumoja ja virtauslinjoja voi esiintyä silloin, kun muotti ei täyty tarpeeksi nopeasti, tai kun sula ehtii jäähtyä liian paljon ennen kuin se kohtaa toisen virtausrintaman. Suurentamalla lämpötilaa ja pienentämällä



viskositeettia, sekä nopeuttamalla muotin täyttöä, on mahdollista ehkäistä virheiden syntyä. Syventymät sen sijaan voi johtua liian suuresta lämpötilasta portissa, joten lämpötilan pienentäminen tässä tapauksessa oli hyödyllistä. [19]

Yritys nimeltä Stratasys, joka valmistaa 3D-tulostimia sekä -tulostettuja kappaleita, teki asiakaskyselyn ruiskuvalulla tuotteita valmistaville asiakkailleen. [20] He tutkivat 3D-tulostettujen muottien kestävyyttä eri ruiskuvalumateriaaleilla, sekä asiakkaidensa käyttökohteita. Stratasys päätteli, että optimiparametrit ruiskuvalumuoteille on valettavan materiaalin sulamislämpötilan ollessa alle 300 °C ja kappaleen koon ollessa alle noin 165 cm<sup>3</sup>. Pieni koko edesauttaa muovimuotilla ruiskuvalamista, sillä kappale jäähtyy nopeammin, jolloin lämpötilat eivät pysy yhtä kauan kohonneina. Tällöin sekä muotti, että tuote eivät termisesti hajoa yhtä paljon. Stratasys ehdotti käytettäväksi materiaaleja, jotka soveltuvat hyvin ruiskuvalettavaksi 3D-tulostettuun muottiin, kuten esimerkiksi PE, PP, ABS, TPE, PA, POM, PC-ABS ja muovikomposiitteja.

Stratasys myös jaotteli asiakkaidensa ruiskuvalumateriaalit joko ”tavallisiksi” tai ”pehmeiksi/elastomeerisiksi” muoveiksi. Käyttäessä tavallisia muoveja, muottien minimi sykliin kesto oli 40, maksimi 100 ja keskimäärin 70. Pehmeitä muoveja valettaessa vastaavat lukemat olivat 100, 500 ja 300. Kyselyssä ei käy ilmi miten haastavia muottien muodot olivat ruiskuvalamisen kannalta, tai mikä lajitteluperuste oli, mutta siitä on silti selkeästi havaittavissa valettavan muovin vaikutus muotin kestoan.

Yksi kyselyyn vastanneista, Arad Group, tarvitsi 25 prototyyppiosaa heidän mittaustarpeistaan, ja vaatimuksena materiaalin piti olla sama kuin lopullisessa tuotteessa. Osat valmistettiin amorfisesta nailonista, jonka ruiskutuslämpötila oli 260 °C, koko 38 cm<sup>3</sup> ja jäähdytysaika 140 s. Muotin valmistusaika oli kaksi päivää ja maksoi 2000 \$, kun vastaavasti metallimuotin valmistukseen olisi kulunut 42 päivää ja se olisi maksanut 10,000 \$. Ruiskuvaletut prototyyppikappaleet läpäisivät heidän asettamansa vedenpitävyys- ja pölyntiiviysvaatimukset, ja olivat kaikin puolin onnistuneet. Kyselyyn oli osallistunut useampi muu yritys vastaavanlaisilla säästöillä. [20]

Muotin muoto täytyy suunnitella tarkasti, jotta mahdolliset virheet voidaan minimoida. Muovimuotti asettaa kuitenkin enemmän rajoitteita muotin muodon suhteen sen pehmeiden takia. Suurella nopeudella virtaava polymeerisula kuluttaa muovimuottia nopeammin kuin metallista, jolloin terävien kulmien ja mutkien välttäminen on tärkeämpää muovisissa.

### 3.3 Valu- sekä muottimateriaalit

Käytettäessä muovimuottia ruiskuvalamiseen, materiaalivalinta on entistäkin kriittisempää sekä muotin, että tuotteen kannalta. Materiaalien täytyy olla yhteensopivia siten, ettei valettavan materiaalin valuominaisuudet ylitä muotin sallimia rajoja. Muottimateriaalin käyttölämpötilan olisi hyvä olla huomattavasti suurempi kuin valettavan materiaalin. Tällöin muotti kestäisi mahdollisimman kauan, eikä heikkenisi valuprosessin aikana.

Tyypillisimpiin FDM-materiaaleihin kuuluu ABS, PETG, PLA sekä PA. Vastaavasti yleisimmät ruiskuvalumateriaalit ovat ABS, PMMA, PE, PP, PS ja TPU. Sulan lämpötila säädellään käytännössä valumateriaalin mukaan. Optimaalisessa tilanteessa lämpötila on juuri valettavan materiaalin sulamislämpötilan yläpuolella. Liian korkea lämpötila pienentää materiaalin moolimassaa, jolloin iskunkestävyys pienenee, ja energiankulutus sekä sykliajat kasvavat. [21] Jotta materiaalia pystyy ruiskuvalamaan 3D-tulostetulla muotilla, on muotin lämmönsieto oltava riittävä. Tähän voidaan käyttää erilaisia mittapuita, mutta oleelliset ovat lämmön vääristymislämpötila, sulamislämpötila, sekä hetkellinen lämmönkestävyys.

Lämmön vääristymislämpötila on lämpötila, jossa kappale epämuodostuu tietyn jännityksen alaisena. Ruiskuvalaessa epämuodostuminen voisi tarkoittaa esimerkiksi muotin yksityiskohtien lytistymistä muotin täytön aikana. Vaikka muottimateriaali ei sulaisi prosessin aikana, se voi silti pehmetä liikaa, jolloin se ei olisi käyttökelpoinen. Hetkellisellä lämmönkestolla tarkoitetaan materiaalin kykyä sietää lämpöä lyhyen aikaa, muutamista minuuteista muutamaan tuntiin. Jatkuvalle tai pitkäaikaiselle lämmönkestolle tarkoitetaan materiaalin kykyä sietää lämpöä tuhansien tuntien jälkeen, joten se ei ole niin oleellinen muovimuottien kannalta ruiskuvalussa.

FDM-tulostimiin on kehitetty suuttimia, jotka saavuttavat korkeampia lämpötiloja, joilla pystyy tulostamaan korkean lämpötilan muoveja, kuten PEEK. PEEK omaa muoviksi erittäin korkean jatkuvan käytön lämpötilan, jopa 260 °C, joka on yli 80 °C enemmän kuin ABS. [22] Käyttämällä vastaavanlaisia korkean suorituskyvyn muoveja voisi olettaa, että muotin syklien määrän kesto nousisi.

Muottimateriaalin lämmönjohtavuus on kriittinen jäähdytyksen kannalta, jotta tuotteesta saadaan johdettua lämpöenergia jäähdytyskanavien kautta pois. Muoveilla on metalleihin verrattuna tyypillisesti pienempi lämmönjohtavuus. ABS-muovi johtaa lämpöä noin 0,25 W/(m\*K) kun taas alumiinilla arvo on noin 200 W/(m\*K). Vaikka ABS olisi riittävän kestävä isojenkin sarjojen valmistukseen, se olisi liian hidas tuotteiden

jäähdytyksessä, jotta se olisi kustannustehokas pitkällä aikavälillä. Muovien lämmönjohtavuutta saa kuitenkin parannettua käyttäen erilaisia seostusmateriaaleja. Grafiitti, hiilikuitu sekä erilaiset keraamit voivat parantaa muovien lämmönjohtavuutta, sekä kulumiskestävyyttä. Seostamalla on mahdollista luoda muovi, jonka lämmönjohtavuus on noin 100-kertainen verrattuna seostamattomaan. [23]

## 4. JÄÄHDYTYS

Yksi ruiskuvalamisen kriittisimmistä parametreista ja suurin pullonkaula on tuotteen jäähdytys, kun muotti on täytetty. Jäähdytys voi kestää jopa 80% koko syklin pituudesta, joten on tärkeää, että se suunnitellaan ja optimoidaan tehokkaasti. [24] Kappaleen täytyy olla tasaisesti ja riittävän jäähtynyt ennen kuin muotti voidaan avata ja kappale poistaa. Huonosti suunniteltu jäähdytys voi johtaa tuotteen geometrisiin muutoksiin, kuten kutistumiseen ja vääntyilymiseen, sekä sisäisiin jännityksiin ja huonoon pinnanlaatuun. Tämän lisäksi prosessoinnin kustannukset nousevat, kun jätteen määrä lisääntyy ja syklin kesto pitenee.

Muovien polymeeriketjut hajoavat, jos ne kuumennetaan liian korkeisiin lämpötiloihin, tai niiden ollessa käsittelylämpötilassaan liian kauan. Tämä vaikuttaa sekä tuotteen ulkonäköön, että mekaanisiin ominaisuuksiin. Oikeaoppinen ja riittävä jäähdytys, jossa muovi ei ole sulaa liian kauan muotissa, ei ainoastaan nopeuta tuotantoa, vaan voi olla ratkaiseva tekijä jonkin materiaalin käyttökelpoisuudesta tietyn muodon valmistuksessa.

### 4.1 Jäähdytyskanavat

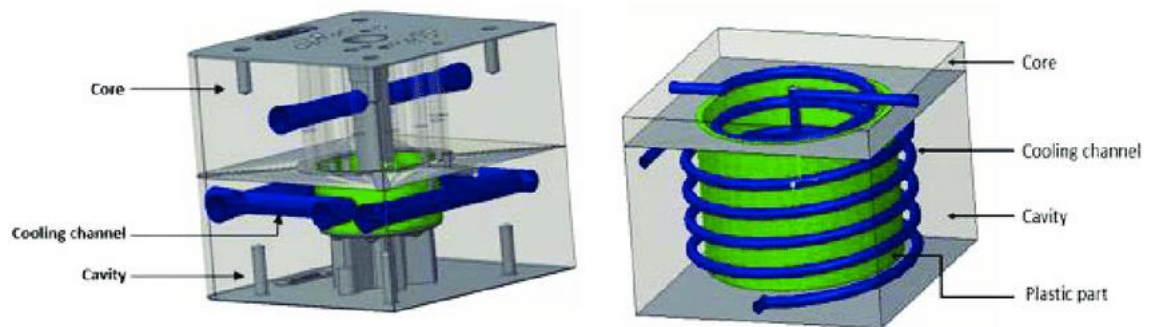
Tyypillisesti ruiskuvalussa kappale jäähdytetään käyttäen jäähdytyskanavia, joissa virtaa jäähdytysneste, yleensä kylmä vesi. Perinteisesti valmistetussa metallisessa muotissa jäähdytyskanavat ovat porattuja suoria reikiä, joita on vaikea saada aivan optimaaliseksi metallin työstämisen, sekä kanavien muodon rajoitusten takia. Usein on myös haastavaa saada reiät porattua laskelmoituun paikkaan, sillä muita muotin komponentteja, kuten ulostyöntötappeja, voi tulla tielle.

Jäähdytyskanavista voi tehdä monimutkaisempia ja muottia paremmin myötäileviä valmistamalla muotti useasta osasta, jotka juotetaan yhteen, tai käyttäen erilaisia upotuksia tai putkia. Monimutkainen jäähdytysjärjestelmä nostaa kuitenkin muotin valmistuksen kustannuksia, mikä ei ole välttämättä kustannustehokasta pienemmille sarjoille, vaikka jäähdytys nopeutuisikin. Useammasta osasta valmistetut muotit usein kärsivät myös lyhyestä käyttöiästä, sillä juotokset saattavat hajota. [25]

Suorakaiteen muotoisiin kappaleisiin on yleensä yksinkertaista sijoittaa jäähdytyskanavat lähelle muotin tärkeimpiä osia, jolloin ne myös toimivat tehokkaasti.

Kappaleen ollessa monimutkainen on vaikeaa porata suoraa reikää siten, että sillä päästään tarpeeksi lähelle kaikkia jäähdytettäviä muotin osia. Tämä voi johtaa epätasaiseen jäähdytykseen aiheuttaen jännityksiä, jotka heikentävät pinnanlaatua ja valmiin kappaleen mekaanisia ominaisuuksia. Jäähdytyksessä on myös aina odotettava, että jokainen osa tuotteesta saadaan irrotettua ehjänä, joten yhden kriittisen osan jäähtymistä saattaa joutua odottamaan, vaikka muu kappale olisi jo jäähtynyt riittävästi.

”Conformal cooling” eli myötäilevä jäähdytys kuvaa jäähdytyskanavia, jotka myötäilevät tuotteen pintoja. 3D-tulostaminen ja muut kerrostamiseen perustuvat valmistusmenetelmät, muoveilla sekä metalleilla, ovat tällä hetkellä ainoat tavat valmistaa täysin myötäileviä jäähdytyskanavia. Menetelmää on lähes mahdotonta hyödyntää perinteisellä muotin jälkityöstämisellä. Tuotetta myötäilevät jäähdytyskanavat eivät ole rajoittuneita myöskään niiden aloitusijainnin puolesta, kuten suorissa poratuissa jäähdytyskanavissa, vaan ne voidaan ohjata haluttuun paikkaan erilaisten mutkien kautta. Materiaalia lisäävillä valmistusmenetelmillä on myös mahdollista säätää kanavien halkaisijaa eri kohdissa kanavaa. Tällä tavoin voidaan helposti säätää jäähdytyksen tehoa muotin eri kohdissa, esimerkiksi kasvattamalla kanavan halkaisijaa vastaamaan jäähdytystarvetta kappaleen paksummissa osissa. [25] Jäähdytyskanavan ja muotin väliin täytyy kuitenkin jättää riittävästi väliä, jotta muotin seinämät eivät rikkoudu ruiskuvaluprosessin aikana.



**Kuva 4. Perinteinen jäähdytyskanavisto (vasemmalla) verrattuna myötäilevään jäähdytykseen (oikealla). [26]**

Kuvassa 4 vasemmalla on esitettyä yksinkertainen jäähdytyskonfiguraatio lieriön muotoiselle kappaleelle. Kanavisto koostuu suorista poratuista rei'istä, joiden jäähdytysteho on suurempi kanavien keskellä kuin päissä, sillä keskiosa on lähempänä kappaletta. Käyttämällä myötäilevää jäähdytystä saadaan kappale jäähdytettyä nopeammin ja tasaisemmin, kuten kuvassa 4 oikealla on osoitettu.

Mahes S. Shinde sanoo artikkelissaan, että myötäilevät jäähdytyskanavat mitä todennäköisimmin tulevat olemaan muoviteollisuudessa standardikäytäntöä, kunhan valmistuskustannukset ja -mahdollisuudet paranevat metallin materiaalia lisäävien tuotantomenetelmien kehittyessä. [27] Yhteenvetona Shinde myös totesi, että myötäilevä jäähdytys parantaa tuotteiden laatua, sekä valmistuksen tehokkuutta nopeutuneen tasaisen jäähdytyksen ansiosta. Suunnittelemalla jäähdytyskanavat muottiin etukäteen myös säästää aikaa, sillä niitä ei tarvitse koneistaa muotin jo valmistuttua muuten.

Nykyisten muovimuottien huonon lämmönjohtavuuden, sekä pienien valmistuserien vuoksi ne eivät hyödy myötäilevistä jäähdytyskanavista yhtä paljon kuin metalliset muotit. Koska muovimuottien sarjat ovat pienet, isoja ajan säästöjä ei todennäköisesti tulla saavuttamaan. Tästä huolimatta myötäilevät jäähdytyskanavat voivat mahdollistaa ruiskuvalamisen kappaleelle, jota ei välttämättä olisi pystynyt valmistamaan muovimuotilla heikon jäähtymisen vuoksi. Tällöin olisi mahdollista hyödyntää muita muovimuottien etuja, kuten protomuottien valmistukseen. Perinteisellä työstöllä ei saisi valmistettua protomuotteja, jotka vastaavat materiaalia lisäävällä menetelmällä valmistettua muottia, jossa hyödynnetään myötäilevää jäähdytystä. Myötäilevä jäähdytys mahdollistaa parhaimman mahdollisen lopputuloksen kappaleelle, jossa yritetään saavuttaa paras pinnanlaatu kustannustehokkaasti käyttäen 3D-tulostettua muottia.

Plastics today -artikkelissa esitettiin yhden muovituotteen valmistajan saadut edut DMLS -valmistetusta (direct metal laser sintering) metallisesta muotista, jossa käytettiin myötäilevää jäähdytystä. [25] Muotin valmistuskustannukset olivat kuudesosa työstetystä muotista, sekä kappaleiden valmistusaika pieneni 90 sekunnista 40 sekuntiin, parantaen tuotteen laatua, kustannustehokkuutta ja pienentäen hukkamateriaalia. Plastics today toteaa lisäksi, että DMLS-valmistetut muotit ovat kestävyydeltäkin yhtä vahvoja, kuin perinteisesti valmistetut, ja joitakin muotteja on käytetty valmistamaan yli 10 miljoonaa tuotetta. Etuja on havaittavissa pienissä, keskisuurissa että erittäin suurissa tuotantomäärissä. Pienerien valmistajat hyötyvät pienemmästä muotin hinnasta, keskisuuret pienentyneestä tuotantoajasta, ja suurilla erillä valmistajat hyötyvät sekä lyhentyneestä tuotantoajasta, että huomattavista materiaalisäästöistä pienentyneestä hävikistä.

Lämmönjohtavuus ei aina ole rajoittava tekijä jäähdytyksen kannalta. Vaikka muottimateriaali johtaisi lämpöä hyvin, jos lämpöä ei saa siirrettyä muotin pinnalta riittävän tehokkaasti pois jäähdytysnesteeseen avulla, lämmönsiirto rajoittaa tuotteen jäähtymistä. Sen lisäksi, että myötäilevällä jäähdytyksellä saisi jäähdytyskanavat

sijoitettua optimaalisesti muottiin, niiden muotoa sekä pinnankuviointia saisi muutettua poratusta sileästä reiästä enemmän jäähdytyssoilimäiseksi. Tällöin lämmönsiirto muotin seinämiltä jäähdytysnesteeseen kasvaisi entisestään. Muovimuotin jäähdytysominaisuudet ovat paljon paremmat 3D-tulostettuna myötäilevän jäähdytyksen ansiosta, kuin jos se olisi koneistettu kiinteästä muovipalasta. Muovimuotin lämmönjohtavuutta ei tämän takia voi verrata suoraan koneistettuun metallimuottiin.

Jotta muovimuotteja voisi käyttää suuremmissa sarjoissa tehokkaasti, tulee muotin jäähdytys saada riittävälle tasolle. Se voitaisiin saavuttaa käyttämällä sekä lämmönjohtavuudeltaan paranneltuja seostettuja muoveja, että myötäileviä jäähdytyskanavia.

## 5. YHTEENVETO

FDM-menetelmällä 3D-tulostetut ruiskuvalumuotit ovat jo nyt tehokkaita työkaluja ruiskuvaluprosessoinnissa niiden kustannus- sekä ajansäästöetujen takia, verrattuna koneistettuun metallimuottiin. Materiaalia lisäävänä valmistusmenetelmänä FDM mahdollistaa myös uusien innovaatioiden hyödyntämisen, sekä testaamisen ruiskuvalumuotteja valmistaessa.

Perinteiset muotit voivat helposti kestää yli miljoona valmistus sykliä, kun taas tämänhetkiset tulostetut muotit harvoin kestävät yli tuhat. Siitä huolimatta 3D-tulostetuista muoteista voi hyötyä riippumatta tuotteen valmistusmäärästä. Pienet erät voi ruiskuvalaa kokonaisuudessaan tulostetuilla muoteilla, jolloin tuotteet hyötyvät ruiskuvalamisen korkeasta valmistuslaadusta, eikä kustannukset myöskään poissulje sitä menetelmänä. Suuria eriä valmistaessa muotin parametrien, kuten jäähdytyksen, optimointi on erittäin tärkeää, jotta syklin kesto saataisiin minimoitua ja kustannustehokkuutta kohennettua. Vaikka ruiskuvaluprosessia usein simuloidaan tietokoneohjelmilla, prototyypimuottien käyttö voi silti tuoda ilmi uutta informaatiota muotin käytöstä. 3D-tulostetun muotin valmistaminen kestää vain murto-osan metallimuotin koneistamisesta, jolloin tuotanto viivästyy vähemmän ja on mahdollista testata useita muotteja lyhyessä ajassa.

Materiaalia lisäävät valmistusmenetelmät eivät ole yhtä rajoittuneita muodonantomahdollisuuksiltaan kuin materiaalia poistavat, kuten sorvaaminen. 3D-tulostettuihin muotteihin voi valmistaa kääntyileviä ja muotoaan muuttavia jäähdytyskanavia, jotka myötäilevät muottia tehostaen jäähdytystä, lyhentäen syklin kestoja ja parantaen tuotteen laatua. Myötäilevät jäähdytyskanavat lisäävät tällöin muovimuottien käyttömahdollisuuksia, sekä toimivat prototyypimuotteina metallista tulostetuille muoteille, jotka hyötyvät samasta teknologiasta.

Muovimuoteilla on paljon parantamisen varaa, sillä polymeerejä kehitetään jatkuvasti kestävimiksi ja paremmin lämpöä sietäviksi. Myös FDM-menetelmä kehittyy tuottaen laadukkaampia osia. Tulostetut ruiskuvalumuotit ovat myös suhteellisen uusi innovaatio, joten menetelmän vanhetessa ja kehittyessä voisi kuvitella muovimuottien käytön laajenevan merkittäväksi tekijäksi muottien valinnassa.



# LÄHTEET

- [1] Muovit ovat monipuolinen materiaalityyppi, MUOVITEOLLISUUS RY, <https://www.plastics.fi/fin/muovitieto/muovit/>, luettu 26.08.2020
- [2] Matti Luhtala, Mistä muovit valmistetaan ja miten biomuovit siihen liittyy, Plasthouse, 26.03.2018, <https://plasthouse.fi/mista-muovit-valmistetaan-ja-miten-biomuovit-siihen-liittyy/#:~:text=Muvituotteiden%20valmistus%20alkaa%20muovin%20raaka, valmistettiin%20m uoveja%20vuonna%202016%20n>.
- [3] Hannah Ritchie, FAQs on Plastics, Our World in Data, 02.09.2018, <https://ourworldindata.org/faq-on-plastics#how-much-plastic-and-waste-do-we-produce>
- [4] The Top 7 Methods For Forming Plastics, Star Rapid, <https://www.starrapid.com/blog/the-top-7-ways-of-forming-plastics/>, luettu 26.08.2020
- [5] Application Overview: Injection Molding, YASKAWA, <https://web.archive.org/web/20060412020436/http://www.yaskawa.com/site/Industries.nsf/applicationDoc/appinjmold.html>, luettu 26.08.2020
- [6] Ben Redwood, 3D printing low-run injection molds, 3D HUBS, <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/3d-printing-low-run-injection-molds/#:~:text=3D%20Printed%20Mold%20Configurations,-3D%20printed%20injection&text=Mold%20inserts%20in%20aluminium%20frames,of%20the%20injection%20molding%20nozzle>, luettu 26.08.2020
- [7] Yuanyuan Chen, 3D Printed Injection Mold: All You Need to Know, ALL3DP, 21.03.2020, <https://all3dp.com/2/3d-printed-injection-mold/>
- [8] Henrik Larsen, 3D-tulostus laskee ruiskuvalumuottien valmistuskustannuksia 95 prosenttia, PLM GROUP, <https://plmgrou.fi/3d-tulostus-laskee-ruiskuvalumuottien-valmistuskustannuksia-95-prosenttia/>, luettu 26.08.2020
- [9] Laurens van Lieshout, Injection moulding. Visualization of the Injection moulding process., 13.03.2007, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Injection\\_moulding\\_process.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Injection_moulding_process.png)
- [10] Ulf Bruder, käänös Erik Lähteenmäki, muovien työstö: ruiskuvalu, Brucon Ab, Polymerik Oy, MUOVIYHDISTYS, 18.07.2016, <https://www.muoviyhdistys.fi/2016/07/18/osa-9-muovien-tyosto-ruiskuvalu/>
- [11] Bob Lammon, Let's Be Clear About Aluminum, MoldMaking TECHNOLOGY, 11.01.2013, <https://www.moldmakingtechnology.com/articles/lets-be-clear-about-aluminum>
- [12] Seija Meskanen, Tuula Höök, Valumenetelmät, Valuatlas, 03.09.2015, s. 19–22, [https://www.valuatlas.fi/sites/default/files/docs/perusopas\\_03.pdf](https://www.valuatlas.fi/sites/default/files/docs/perusopas_03.pdf)
- [13] Tuula Höök, Muotin perusrakenne, Valuatlas, 11.03.2014, s. 6–11, [https://www.valuatlas.fi/sites/default/files/docs/mould\\_structure\\_FI.pdf](https://www.valuatlas.fi/sites/default/files/docs/mould_structure_FI.pdf)
- [14] Khurram Altaf et. Al., Performance Analysis of Enhanced 3D Printed Polymer Molds for Metal Injection Molding Process, Metals, 08.06.2018, <https://www.mdpi.com/2075-4701/8/6/433>
- [15] Cameron Coward, 3D Printing, Place of publication not identified Alpha a member of Penguinn Group USA Inc, 2015
- [16] Lppicture, pixabay, 18.06.2017, <https://pixabay.com/photos/printer-3d-print-3d-printing-white-2416269/>

[17] 3D-mallien suunnittelu 3D-tulostusta varten, hutasu, 13.02.2017, <https://www.hutasu.net/3d-tulostus/3d-mallien-suunnittelu-tulostusta-varten/>

[18] Coefficients of Linear Thermal Expansion., Engineering ToolBox, 2003, [https://www.engineeringtoolbox.com/linear-expansion-coefficients-d\\_95.html](https://www.engineeringtoolbox.com/linear-expansion-coefficients-d_95.html)

[19] Garret Mackenzie, Finagling the Flow: Making Viscosity Work For You In Molding, ptonline, 30.11.2016, <https://www.ptonline.com/blog/post/finagling-the-flow-making-viscosity-work-for-you-in-molding>

[20] Gil Robinson, 3D Printed Injection Molds, Stratasys, <https://stratasys.hubs.vidyad.com/categories/webinars?register=1>, luettu 26.08.2020

[21] Michael Sepe, The Importance of Melt & Mold Temperature, Plastics Technology, 28.11.2011, <https://www.ptonline.com/articles/the-importance-of-melt-mold-temperature>

[22] Polyetheretherketone (PEEK): A Complete Guide on High-Heat Engineering Plastic, Omnexus, <https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/polyetheretherketone-peek-thermoplastic>, luettu 26.08.2020

[23] Thermally conducting compounds. More than just one option: TECACOMP TC, Ensinger, <https://www.ensingerplastics.com/en/compounds/thermally-conductive>, luettu 26.08.2020

[24] Injection Mold Cooling Design, InjectionMoldingPlastic.com, <http://www.injectionmoldingplastic.com/injection-mold-cooling-design.html>, luettu 26.08.2020

[25] Siegfried Mayer, Augustin Niavas, Conformal cooling: Why use it now?, Plastics Today, 08.12.2009, <https://www.plasticstoday.com/injection-molding/conformal-cooling-why-use-it-now>

[26] Jahan et. Al., Thermo-mechanical Design Optimization of Conformal Cooling Channels using Design of Experiments Approach, Procedia Manufacturing, 2017, [https://www.researchgate.net/figure/Simplified-view-of-traditional-moldleft-and-3D-printed-conformal-cooling-mold-right\\_fig2\\_318297845](https://www.researchgate.net/figure/Simplified-view-of-traditional-moldleft-and-3D-printed-conformal-cooling-mold-right_fig2_318297845),

Lisenssi: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

[27] Mahesh S Shinde, Kishor M Ashtankar, Additive manufacturing–assisted conformal cooling channels in mold manufacturing processes, Advances in mechanical engineering 9.5, 12.05.2017, <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1687814017699764>