

Jesse Kela

**VAIHTOEHTOISTEN MUOTINVALMISTUSMENETELMIEN
KARTOITUS**

VAIHTOEHTOISTEN MUOTINVALMISTUSMENETELMIEN KARTOITUS

Jesse Kela
Opinnäytetyö
Kevät 2018
Kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma, tuotantotekniikka

Tekijä: Jesse Kela
Opinnäytetyön nimi: Vaihtoehtoisten muotinvalmistusmenetelmien kartoitus
Työn ohjaaja: Esa Kontio
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2018
Sivumäärä: 36 + 0 liitettä

Tässä insinööriyössä selvitettiin työn toimeksiantajalle aiempaa edullisempi valmistusmenetelmä pienten volyymien polyuretaanimattojen korkeapainereaktioruiskuvalun puristusmuotteille. Opinnäytetyössä kartoitettiin mahdolliset muotinvalmistusmenetelmät ja valittiin niistä soveltuvimmat ja kustannustehokkaimmat menetelmät. Uudella valmistusmenetelmällä tehdyn muotin tuli täyttää seuraavat vaatimukset: kesto 10 000 muotin puristuskertaa, hintataso vähintään 50 % nykyistä edullisempi, toimitusaika vähintään 50 % nykyisten muottien toimitusaikaa lyhyempi, helppo huollettavuus mukaan lukien eri pinnoitukset ja muotin paino nykyisiä muotteja pienempi.

Aluksi työssä käytiin läpi reaktioruiskuvalun toimintaperiaate sekä teoriassa että tehtaalla käytännössä. Seuraavaksi tutkittiin suurien volyymien sarjatuotantomuotin mallia, materiaalia, lämmitystä, irrotusainetta ja toimivuutta käytännössä. Tutkiminen auttoi ymmärtämään, kuinka muotti toimii, minkälaisia rasituksia se joutuu kestämaan ja minkälaiset ominaisuudet ovat muotissa tärkeitä. Sen jälkeen tutkittiin mahdolliset muottimateriaalit kuin myös kaikki mahdolliset valmistusmenetelmät, joihin kuuluivat ainetta muovavat, poistavat sekä lisäävät tekniikat. Ensiksi työssä karsittiin epäkäytännöllisimmät muotin valmistusmateriaalit kalleus- ja lujuusteknisistä syistä. Jäljelle jääneille materiaaleille tutkittiin mahdollisimman edullinen ja nopea valmistusmenetelmä. Valmistusmenetelmä päätettiin toteuttaa mahdollisimman nopealla ja varmalla alihankkijalla.

Parhaaksi muotinvalmistusmenetelmäksi valikoitui ainetta lisäävä valmistustekniikka, joka käyttää materiaalinaan kvartsihiekkää. Muotti valmistettiin kotimaisella toimittajalla alihankintana. Toimittaja pystyi tekemään tuotteelle muotin, joka toimitettiin opinnäytetyön aikana tehtaalle. Muotin runko-osia ei kuitenkaan ehditty asentamaan muottiin opinnäytetyön aikana, joten käytännön testausta ei päästy suorittamaan. Muotti täytti seuraavat vaatimukset: hintataso vähintään 50 % nykyistä edullisempi, toimitusaika vähintään 50 % nykyisten muottien toimitusaikaa lyhyempi, helppo huollettavuus ja muotin paino nykyisiä muotteja pienempi.

Asiasanat: reaktioruiskuvalu, polyuretaani, ainetta lisäävä valmistustekniikka, tutkimus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree programme in Engineering, Production Technology

Author: Jesse Kela
Title of thesis: Research of Optional Method for Mould Production
Supervisor: Esa Kontio
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2018
Pages: 36 + 0 appendices

Hydnum Oy produces polyurethane interior floor mats which have been manufactured by different sets of moulds. The purpose of this thesis is to research an optional manufacturing method to produce low volume moulds. Low volume moulds have been made with the same technical specifications as high volume moulds which leads to them being too expensive for low production volumes.

The aim of this research was to find the most competitive manufacturing methods. Low volume moulds had to have the following properties: need to withstand 10 000 instances of use, price level 50 % lower than high volume moulds, lead time 50 % lower than high volume moulds, easy to maintain including different surfaces and lower weight than high volume moulds.

The Reaction Injection Moulding technique (RIM) was studied in theory and in practice at Hydnum Oy's factory. Therefore, the high volume moulds were examined in order to receive more information about their properties. The most important properties were geometric model, material, heating and release agent. The examining helped to understand how the mould functions and what kind of stress it needs to bear up. After that all practicable materials for the mould were researched to find the most suitable ones. Thereafter every manufacturing method was studied for the suitable materials.

Additive manufacturing was selected to be the best manufacturing method. 3D-printer which prints arenaceous quartz was used. A subcontractor company from Finland was able to produce the mould, which was not tested at Hydnum Oy's factory. Testing was not done within the project because the missing critical frame structure parts were not received in time. Nevertheless, the mould fulfilled the following demands: price level 50 % lower than high volume moulds, lead time 50 % lower than high volume moulds, easy to maintain and lower weight than high volume moulds.

Keywords: Reaction injection moulding, polyurethane, additive manufacturing, research

ALKULAUSE

Työ toteutettiin pääsääntöisesti etätyönä Oulun ammattikorkeakoulussa. Tahtoisin kiittää Hydnum Oy:tä kokonaisuutena opinnäytetyön tarjoamisesta, toimitusjohtaja Erkki Mäkäräistä, tehdaspäällikköä Esko Ahtiaista, myyntipäällikköä Juho Andelinia, kehitysinsinööriä Marko Tolosta sekä opinnäytetyön ohjaavaa opettajaa lehtori Esa Kontiota.

Toivon, että opinnäytetyön tulokset ovat hyödyksi Hydnum Oy:lle tällä hetkellä ja tulevaisuudessa.

Oulussa 11.5.2018

Jesse Kela

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
SANASTO	8
1 JOHDANTO	9
1.1 Hydnum Oy	9
1.2 Työn tavoite	9
1.3 Työn taustaa	9
2 REAKTORUISKUVALU	11
2.1 Korkeapaine reaktoriiskuvalu	11
2.2 Polyuretaani	15
2.3 Irrotusaine	16
3 MUOTILLE MÄÄRITELLYT PIIRTEET	17
3.1 Fyysinen koko	17
3.2 Fyysinen kestävyys	17
3.3 Valmistustarkkuus	18
3.4 Lämmönkestävyys	18
3.5 Kulutuksen kestävyys	18
3.6 Pinnanlaatuvaatimukset	19
3.7 Valmistusaika	19
3.8 Valmistuskustannukset	19
4 VALMISTUSMENETELMIEN KARTOITUS	20
4.1 Materiaalikarsinta	20
4.2 Valmistusmenetelmien karsinta	21
4.2.1 Ainetta muovaavat valmistusmenetelmät	21
4.2.2 Ainetta poistavat valmistusmenetelmät	22
4.2.3 Ainetta lisäävät valmistusmenetelmät	23
4.3 Valmistusmenetelmien valinta	27
4.4 Muotin käytännön testaus	30

5 YHTEENVETO

32

LÄHTEET

34

SANASTO

AM	Additive Manufacturing, ainetta lisäävä valmistustekniikka
CAD	Computer-Aided Design, tietokoneavusteinen suunnittelu
CNC	Computerized Numerical Control, tietokoneistettu numeerinen ohjaus
PUR	Polyurethane, polyuretaani
RIM	Reaction Injection Molding, reaktioruiskuvalu
RRIM	Reinforced Reaction Injection Molding, lujitereaktioruiskuvalu
SLA	Stereolithography Apparatus, stereolitografialaite
SRIM	Structural Reaction Injection Molding, rakennereaktioruiskuvalu

1 JOHDANTO

1.1 Hydnum Oy

Hydnum Oy on Muhoksella toimiva osakeyhtiö. Sen liikeideana on kehittää, valmistaa ja markkinoida ääneneristysmattoja, jotka toimivat ajoneuvoissa myös lämmön eristeinä. Kohderyhmään kuuluvat maailman johtavat hyötyajoneuvojen valmistajat. (1, linkki Hydnum Oy.)

Matot valmistetaan mittatilaustyönä asiakkaan vaatimusten mukaisesti. Mattojen materiaali on polyuretaani (PUR). Matoille tärkeitä tuoteominaisuuksia ovat äänen- ja lämmöneristys, mittatarkkuus, puhdistettavuus sekä pinnanlaatu, kulutuksenkestävyys ja viimeistely ulkonäkö. Matot valmistetaan asiakkaan väritoivomusten mukaan ja mattoihin voidaan integroida esimerkiksi tekstiiliä. Tuotekehitystä tehdään kiinteässä yhteistyössä asiakkaan kanssa. (1, linkki Akustiset sisustusmatot.)

1.2 Työn tavoite

Opinnäytetyössä kartoitetaan eri valmistusmenetelmien soveltuvuutta mattojen prototyyppimuottien valmistukseen. Lähes kaikki, eli suurien ja pienien volyymien muotit, on koneistettu alumiinista. Pienien volyymien muotit olivat turhan kestäviä käyttötarkoitukseen nähden, sillä ne oli valmistettu suurien volyymien muottien vaatimuksilla. Uusien tuotteiden suunnittelussa ja testauksessa tarvitaan pienen volyymin sarjoja, jopa yksittäisiä tuotteita. Tämä ei ole tämän hetkiselällä muottitekniikalla kustannustehokasta. Työssä etsitään pienien volyymien muoteille nykyistä käytäntöä edullisempi valmistusmenetelmä.

1.3 Työn taustaa

Työn toimeksiantaja teki aiheeseen liittyvän kartoitustyön keväällä 2012 opinnäytetyönä (2). Silloin tutkittiin ainetta lisäävien pikavalmistustekniikoiden soveltavuutta prototyyppimuottien valmistukseen. Selvitystyön tuloksena muottien valmistukseen parhaiten soveltuvaksi laitteeksi tekniikaksi valikoitui Materialisen Mammothin SLA -tekniikka, jolla voi-

daan tulostaa riittävän suuria ja mittatarkkoja muovisia kappaleita (2, s. 3). Työn toimeksiantajan mukaan SLA-tekniikka kuitenkin epäonnistui käytännön testauksessa, koska muoviseen muottiin syntyi tulostamisen jälkeisen jäähdytyksen aikana muodonmuutoksia muotissa käytetyn alhaisen materiaalipaksuuden seurauksena. Siksi tuotteen mittatoleranssit ylittyivät ja muotista tuli käyttökelvoton. (3.)

Pikavalmistustekniikat ovat kehittyneet nopeasti vuoden 2012 jälkeen ja kehittyvät edelleen nopeasti. Markkinoille on tullut sekä uusia laitevalmistajia ja tekniikoita että materiaaleja. Työssä etsitään toimiva ratkaisu nykYTEknologialla huomioiden aiempi tutkimustieto ja havaitut ongelmat. Huomioitava on myös mahdolliset lähitulevaisuudessa tulevat uudet teknologiat.

2 REAKTORUISKUVALU

Reaktioruiskuvalun eli RIMin (Reaction Injection Molding) periaate on valutekniikka, joka on tarkoitettu polyuretaanikappaleiden valmistamiseen. RIM-menetelmässä on kaksi nestemäistä raaka-ainetta, isosyanaatti ja polyoli, jotka ruiskutetaan muottiin. Muotissa raaka-aineet reagoivat keskenään muodostaen kiinteän kappaleen. (4.)

RIM-menetelmät voidaan jakaa kahteen ryhmään: matala- ja korkeapainetekniikoihin. Matalapainetekniikassa valu voidaan toteuttaa joko annostelemalla raaka-aineseos avoimeen muottiin tai ruiskuttamalla se alhaisella paineella suljettuun muottiin. Suljettuun muottiin ruiskuttamalla muottiin voi jäädä haitallisia ilmataskuja alhaisen ruiskutuspaineen vuoksi. Ilmataskujen ehkäisemiseksi muottia voidaan käänellä ruiskutuksen aikana, mikä myös nopeuttaa nesteen virtausta muotin sisällä. (5, s. 63.) Nesteen hitaan virtaamisen vuoksi seoksen reaktioaika kasvaa, mikä vaikuttaa myös seoksen hitaampaan jähmettymiseen eli valmistusaikaan (5, s. 66).

Seoksessa käytettävien raaka-aineiden eli isosyanaatin ja polyolin laatuja on useita erilaisia. Eri laaduilla pystytään vaikuttamaan polyuretaanin koostumukseen esimerkiksi jähmettämällä se jo muutamassa sekunnissa. RIM-menetelmään on kehitetty myös kuitulujitteisia seoksia, joilla polyuretaanin ominaisuuksiin saadaan lisää lujuutta. Tunnetuimmat kuitulujitteiset menetelmät ovat RRIM (Reinforced Reaction Injection Molding) sekä SRIM (Structural Reaction Injection Molding). (6, s. 175 - 176.) RRIM-tekniikassa kuitu on seostettu polyuretaaniin jauhemaisena, kun taas SRIM-tekniikassa käytetään jatkuva- tai katkokuitumatoista valmistettuja lujiteaihoita. Kuitumateriaalina käytetään yleisesti lasikuitua sen edullisuuden vuoksi, mutta myös muita kuituja on mahdollista käyttää. (6, s. 50, 176.)

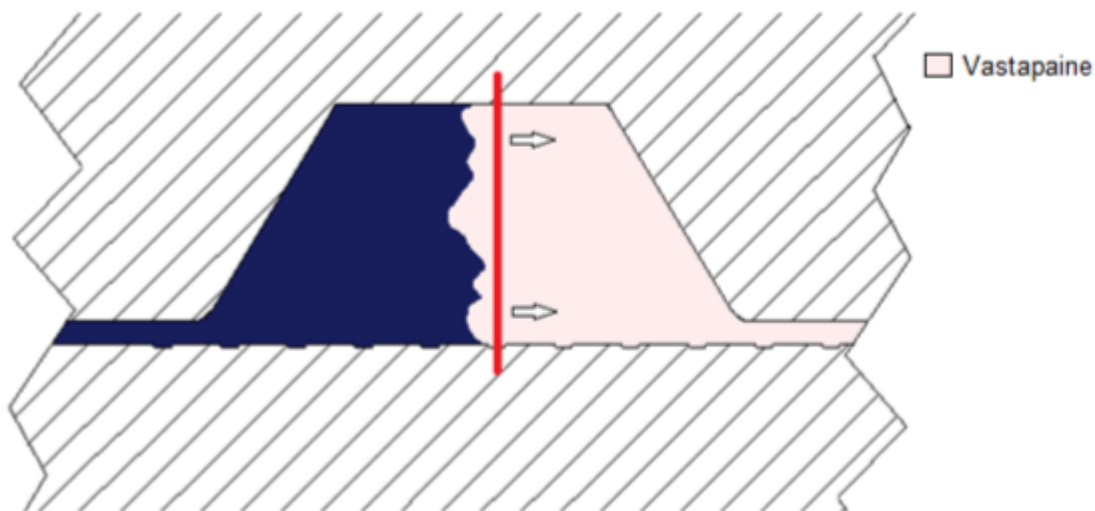
2.1 Korkeapaine reaktioruiskuvalu

Työn toimeksiantaja käyttää korkeapaine-RIM-tekniikkaa. Korkeapaine-RIMin suurin ero normaaliin RIMiin on muotin täyttymistapa. (3.)

Korkeapaine-RIMissä nestemäisten raaka-aineiden viskositeetti, ruiskutusaine ja muotissa olevan ilman aiheuttama vastapaine varmistavat erittäin nopean muotin täyttymisen.

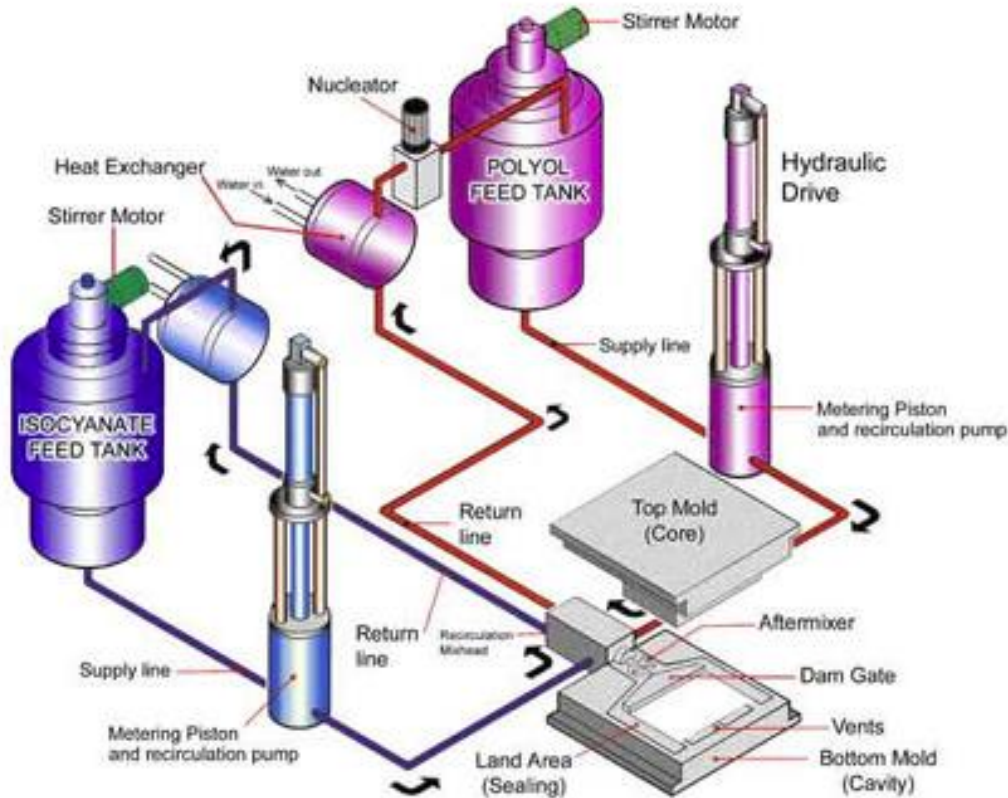
Seoksen laminaarinen virtaus ja tarkoin säädeltävissä oleva viskositeetti ovat ratkaisevan tärkeitä muotin tasaiselle täyttymiselle ilman mahdollisia ilmataskuja. Seoksen viskositeettia pystytään aktivointiaineiden avulla nostamaan korkeammaksi, jolloin sen juoksevuus vähenee. Suuri ruiskutusaine takaa suurenkin muotin nopean täyttymisen muutamassa sekunnissa. (4.)

Muotissa oleva ilma pääsee poistumaan jakotasolle sijoitettujen ilmanpoistokanavien kautta. Ilmanpoistokanavien pinta-ala määrää muottiin syntyvän vastapaineen voimakkuuden. Liian pieni vastapaine voi aiheuttaa muotin syöttökanavan yläpuolisten muotojen vajaan täyttymisen. Vastapaine auttaa seosta täyttämään muotin tasaisesti etenevänä rintamana. (4.) Kuvalla 1 on pyritty havainnollistamaan muotin täyttymistä.



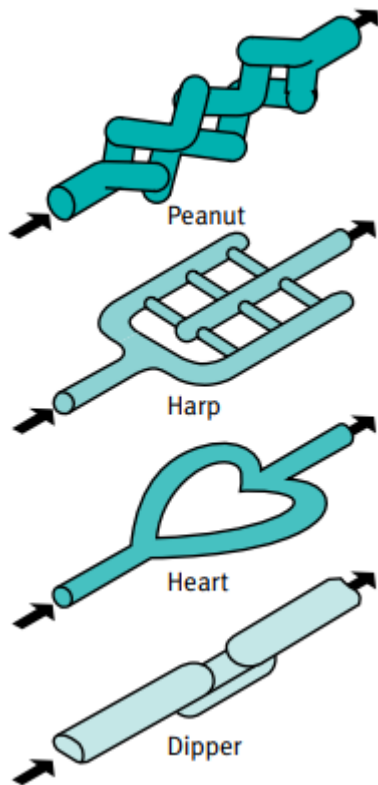
KUVA 1. Muotin täyttyminen (2, s. 14)

Kuvassa 2 on esitetty RIM-laitteiston periaate yksinkertaistettuna. Kuvassa 2 ovat pääkomponentit, linjastot sekä muottia edeltävät sekoitin ja portti.



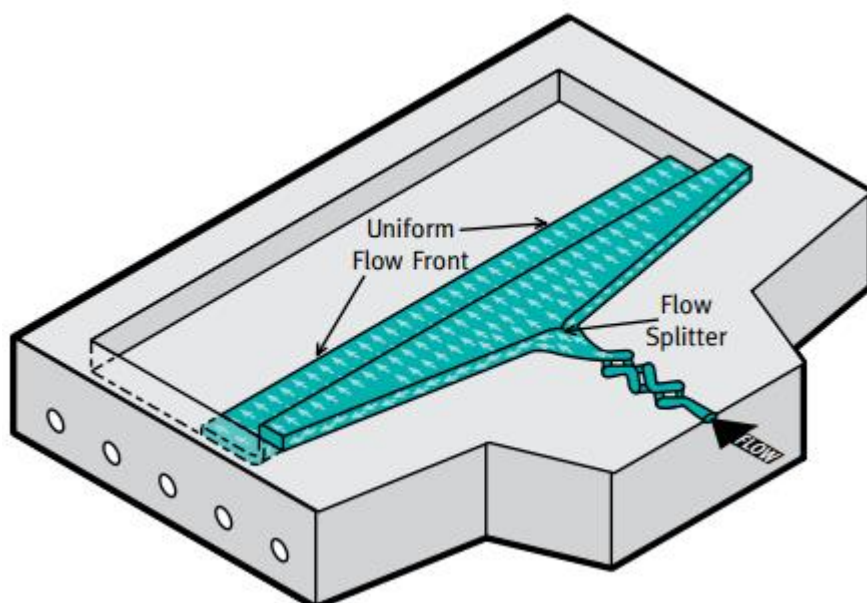
KUVA 2. RIM-laitteiston periaatekuva (7)

Paineistetut raaka-aineet virtaavat linjastoa pitkin mittasyntereihin, joissa mäntätyyppinen mittasynteri puristaa raaka-aineet suurella paineella sekoittimeen. Sekoittimessa raaka-aineet sekoittuvat ensimmäistä kertaa. Seuraavaksi seos menee jälkisekoittimeen, mikä varmistaa seoksen täydellisen sekoittumisen. Jälkisekoittimia on kehitetty useita erilaisia vuosien saatossa, joista osa on toiminut paremmin tietyille sekoitussuhteille kuin toiset. Huonosti toimiva jälkisekoitin voi jättää sisäänsä ilmataskuja, mistä voi seurata ilmakuplia tuotteeseen (5, s. 54 - 55). Jälkisekoittimien malleista on esitetty esimerkkejä kuvassa 3.



KUVA 3. Jälkisekoittimien malleja (5, s. 54)

Jälkisekoittimesta seos virtaa porttiin, jonka tehtävänä on tasoittaa seoksen virtaus laminaariseksi, jotta välttyttäisiin mahdollisilta ilmakuplilta. Portin rakenteella voidaan myös ohjata seoksen virtausta eri kohtiin muottia, esimerkiksi epäsymmetrisissä muoteissa. (4.) Kuvassa 4 on esitetty muottia edeltävä porttirakenne.



KUVA 4. Virtausta jakavan portin rakenne (5, s. 55)

Raaka-aineet tarvitsevat täsmällisen paineen, lämpötilan ja muottiin ruiskutetun irrotusaineen, jotta prosessi onnistuu. Ruiskutus syklien välillä raaka-aineita joudutaan kierrättämään laitteistossa oikean lämpötilan ylläpitämiseksi ja saostumisen estämiseksi. Polyuretaaniseoksen kemiallisien ominaisuuksien takia raaka-aineiden muutos polyuretaaniksi vaihtelee 30:stä 80:een sekuntiin. (8, s. 102.)

2.2 Polyuretaani

Polyuretaani on polymeeri, joka sisältää uretaaniryhmän -NH-CO-O- . Polyuretaania muodostuu reaktiossa isosyanaatin ja polyolin kesken. Muodostuneen polyuretaanin ominaisuudet vaihtelevat valitun isosyanaatin ja polyolin mukaan. Polyuretaanin yleisin valmistusmuoto on vaahтомуovi, mutta myös vaahdottomalle polyuretaanille on useita käyttösovelluksia. (9.)

Polyuretaani kuuluu kertamuoveihin, koska sitä ei voida palauttaa alkuperäiseen muotoon lämmön avulla. Polyuretaanilla on paljon erilaisia valmistusmenetelmiä, joissa kemikaalit mahdollistavat polyuretaanin monimuotoisuuden. Polyuretaanin tärkeimpiin ominaisuuksiin kuuluvat hyvä ääni- ja lämmöneristävyys. Polyuretaanista valmistettuja tuotteita ovat esimerkiksi jalkineiden pohjat, autojen istuimet ja ohjauspyörät sekä jääkaappien eristeet. (6, s. 50 - 51.)

2.3 Irrotusaine

Korkeapaine-RIMin muotteihin on laitettava aina irrotusainetta, sillä nestemäinen polyuretaaniseos kiinnittyy liimamaisesti lähes mihin tahansa pintaan. Irrotusaine laitetaan muottien pinnoille, mikä estää suurienergisen polyuretaanin ja muotin kiinnittymistä toisiinsa. Irrotusaineen lisääminen on tehtävä huolella, sillä pienikin kohta ilman ainetta voi vaurioittaa kappaletta tai muotin pintaa. (6, s. 395.)

Irrotusaineita on paljon erilaisia. Valintaan vaikuttavat muun muassa materiaali, lämpötilat, muodot sekä vaikutusaika. Irrotusaine voidaan lisätä vahana, pastana tai nestemäisenä. (6, s. 396.) Nestemäiset irrotusaineet ovat suuressa suosiossa nopeutensa ja helpoutensa vuoksi ja myös työn toimeksiantaja käyttää nestemäistä irrotusainetta.

3 MUOTILLE MÄÄRITELLYT PIIRTEET

Sarjatuotantomuotilla tarkoitetaan alumiinista koneistettua muottia, johon pienen volyymin tuotannon muotin ominaisuuksia verrataan. Opinnäytetyön tavoitteena oli kartoittaa mahdolliset muotINVALMISTUSMENETELMÄT ja valita niistä soveltuvimmat ja kilpailukykyisimmät menetelmät. Uudella valmistusmenetelmällä tehdyn muotin tuli täyttää seuraavat vaatimukset:

- kestää 10 000 tuotteen valmistuksen
- hintataso vähintään 50 % nykyistä edullisempi
- toimitusaika oltava vähintään 50 % nykyisten muottien toimitusaikaa pienempi
- helppo huollettavuus mukaan lukien eri pinnoitukset
- muotin paino nykyisiä muotteja pienempi.

3.1 Fyysinen koko

Muotilla valmistettavan ajoneuvon polyuretaanin koon koko oli 1 500 x 2 000 x 40 mm. Maton suuren koon takia oli mietittävä, onko muotti mahdollista valmistaa yhtenä kappaleena vai pitääkö se valmistaa useana pienenä osana.

3.2 Fyysinen kestävyys

Korkeapaine-RIMissä muotin nopea täytyminen ja muotissa olevan ilman vastapaine tekevät muottipuoliskoja väliin paineen, joka on noin 1 MPa eli 1 000 000 N/m². Paine pyrkii työntämään molempia muottipuoliskoja irti toisistaan. Valmistettavan kappaleen muotojen takia muottiin voi myös kohdistua horisontaalisia eli vaakatasoisia voimia. Nämä horisontaaliset voimat pyrkivät muokkaamaan muotin muotoa sivuttaissuunnassa ja aiheuttamaan mittavirheitä. Muotteja avatessa muotteihin kohdistuu myös 1 074 kN:n suuruista voimaa. Voima vaikuttaa erisuuruisena paineena, johon vaikuttaa muotin pinta-alan suuruus. Voima on tärkeää ottaa huomioon valmistusmateriaalia valittaessa. Jotta valmistettavan tuotteen mittavirheitä välttäisiin, on muottirakenteen sekä -materiaalin oltava tarpeeksi suurilla vetolujuudellaan ja kovuudellaan. (3.)

3.3 Valmistustarkkuus

Tuotteelle suurin mittapoikkeama pituus- ja leveysuunnassa saa olla ± 1 mm/m. Pintakerroksen paksuus saa poiketa suurimmillaan $\pm 0,5$ mm annetusta mitasta. Muotin paikoituskoordinaatisto tuotteeseen nähden tulee olla $\pm 0,5$ mm asetetusta. Valittu valmistusmenetelmä ei saa ylittää edellä mainittuja toleransseja. Lisäksi prototyypimuotin suunnittelussa on otettava huomioon mahdollinen muottikutistuma, joka on laskennallisesti 0,6 %. (3.)

3.4 Lämmönkestävyys

Mattojen pintakerros eli niin sanottu nahka valmistetaan polyuretaanin MDI-isosyanaattipohjaisesta seoksesta, jonka optimaalinen lämpötila valmistusprosessin aikana on 50 °C. Tämä lämpötila täytyy saavuttaa tarkasti muottipinnalle. Lämmitys tapahtuu raaka-aineita lämmittämällä sekä itse muottia lämmittämällä nestekierto-kanavien tai sähköisen vastuverkon avulla. Muottimateriaalin tulee kestää ainakin 70 °C, sillä tämä 20 °C:n lämmön nousu saattaa aiheutua etäisyydestä, lämmönlähteen ja lämmitettävän pinnan välillä sekä materiaalin lämmönjohtokyvystä. (3.)

3.5 Kulutuksen kestävyys

Suurien volyymien sarjatuotantomuottien käyttöikä on monia vuosia, joiden aikana muotin tulee kestää satoja tuhansia tuotteen valmistuskertoja. Korkeapaine-RIMissä muottia kulluttaa korkealla paineella virtaava nestemäinen polyuretaaniseos. Jotta mattoon saadaan entistä parempi äänieristyskyky, on seokseen lisättävä filleriainetta, kuten esimerkiksi bariumsulfaattia tai kalsiumkarbonaattia. Filleriaine lisää virtaavan polyuretaaniseoksen kulluttavaa vaikutusta muottiin. Suurin seoksesta aiheutuva kulutus muotissa sijaitsee syöttökanavan läheisyydessä, jossa virtaus on kaikista suurin. (3.)

Muotti avataan polyuretaaniseoksen jähmettymisen jälkeen. Avauksen jälkeen matto irrotetaan muotista, jolloin kiinteytynyt polyuretaani pyrkii irrottamaan muotin pinnasta materiaalia. Kuluminen näkyy vasta monien tuhansien käyttökertojen jälkeen ja kulumista voidaan ehkäistä huolellisesti levitetyllä irrotusaineella. Tyypillisesti alumiinimuotti ei kulu merkittävästi maton irrotuksen vuoksi. Teräsgeeli- tai sinkkipinnoitetuissa muoteissa muotin pinnasta saattaa irrota palaisia pinnoitteesta, jonka takia muottipintoja on jouduttu

korjaamaan. Alumiinimuoteilla suurin riski vioittumiselle on se, että muotin A-pinnalle, eli alemmalle muottipuoliskolle putoaa jotain kovaa, kuten käsityökalu. Käsityökalu voi putoamisellaan aiheuttaa pehmeään alumiiniin jäljen. (3.) Pienien volyyymien sarjatuotantomuottien on tarkoitus kestää vain tuhansia käyttökertoja eli noin 2 - 5 % verrattuna suurien volyyymien muotteihin.

3.6 Pinnanlaatuvaatimukset

Sarjatuotantomuotin pinnan tulee olla samanlainen kuin lasikuulapuhalletun alumiinin pinta, eli karkeudeltaan noin P800:n hiomapaperin pinta. Liian karkea pinta kopioituu muotista mattoon liian tarkasti, mutta toisaalta liian sileä pinta aiheuttaa irrotusaineelle pysyvyysoongelmia. Muottien pintakuviointia voidaan tehdä myös etsaamalla eli syövyttämällä, joten valitun muotin materiaali ei saa olla haponkestävä tai pinnan kovuudeltaan liian korkea. (3.)

3.7 Valmistusaika

Alumiinisten sarjatuotantomuottien valmistusaika on noin 16 viikkoa. Uudella muotinvalmistusmenetelmällä valmistusaika saa olla korkeintaan 8 viikkoa, eli puolet alumiinisten sarjatuotantomuottien valmistusajasta.

3.8 Valmistuskustannukset

Alumiinista valmistettujen sarjatuotantomuottien valmistuskustannukset ovat 40 000 - 80 000 euroa. Uudella muotinvalmistusmenetelmällä kustannukset saavat olla noin 20 000 - 40 000 euroa, eli noin puolet alumiinisista sarjatuotantomuottien valmistuskustannuksista.

4 VALMISTUSMENETELMIEN KARTOITUS

Tässä luvussa kerrotaan, kuinka opinnäytetyö eteni aikajärjestyksessä ja kuinka lopputulokseen päästiin. Luku sisältää myös mahdollisia odottamattomia ongelmia, riskejä ja ratkaisuja, joita opinnäytetyössä tuli vastaan.

4.1 Materiaalikarsinta

Opinnäytetyön suunnitteluvaiheen katselmoinnissa käytiin alustavasti ainetta lisäävien valmistusmenetelmien (Additive Manufacturing, AM) ja materiaalia poistavien valmistusmenetelmien materiaalikarsinta muoveista ja metalleista ohjausryhmän kanssa läpi. Taulukossa 1 on esitetty potentiaaliset materiaalit ja niiden ominaisuudet. Materiaalikarsinnan tuloksena metalleista valittiin alumiini, sillä sen vetolujuus, venymä ja kovuus ovat soveltuvia sekä materiaalin hinta on tarpeeksi edullinen muihin metallisiin materiaaleihin verrattuna. Muoveista valittiin ABS (akrylinitriilibutadieenistyreeni), ABS/PC (akrylinitriilibutadieenistyreeni/polykarbonaatti) ja PEI (polyeetteri-imidi), sillä niiden vetolujuus ja iskunkestävyys ovat tarpeeksi suuria sekä pehmenemislämpötila on yli 60 °C. Huomioitavaa on myös se, että muovit ovat huomattavasti edullisempia metalleihin verrattuna.

TAULUKKO 1. Materiaalien ominaisuudet (10)

Metallit				
Materiaali	Vetolujuus	Venymä	Kovuus	Valmistus
Alumiini	296 - 490 MPa	8 - 6 %	55 - 87 HRB	3D, cnc
Maraging steel	1100 MPa	11 %	35 HRC	3D
Ruostumaton teräs	455 - 1450 MPa	5 - 56 %	35 - 101 HRC	3D, cnc
Titaani	550 - 970 MPa	10 - 20 %	30 - 39 HRC	3D, cnc
Muovit				
Materiaali	Vetolujuus	Iskunkestävyys	Taipumislämpötila	Valmistus
ABS	34,4 - 82,7 MPa	160 - 400 J/m	60 - 93,3 °C	3D, ruiskup., cnc
ABS/PC	44,1 - 124,1 MPa	427 - 640 J/m	60 - 98,8 °C	3D, ruiskup., cnc
Nailon	41,1 - 199,9 MPa	106 - 427 J/m	82,2 - 176,6 °C	3D
PEI	96,5 - 193 MPa	53 - 106 J/m	176,6 - 215,5 °C	ruiskup., cnc
PPS	96,5 - 193 MPa	26 - 320 J/m	204,4 - 260 °C	ruiskup.

4.2 Valmistusmenetelmien karsinta

Materiaalivalintojen jälkeen aloitettiin karsimaan valmistustekniikoita valituille materiaaleille. Esiselvitysvaiheen katselmoinnissa käytiin läpi potentiaaliset valmistustekniikat ja karsittiin niistä epäkäytännöllisimmät. Mahdollisiin valmistustekniikoihin kuuluvat ainetta muovaavat, ainetta poistavat ja ainetta lisäävät työstömenetelmät sekä mahdolliset valamiset.

4.2.1 Ainetta muovaavat valmistusmenetelmät

Ainetta muovaaviin valmistustekniikoihin kuuluvat nimensä mukaisesti valmistustekniikat, jotka muovaavat materiaalia jollain tavalla. Tästä osiosta löytyi kaksi potentiaalista valmistustekniikkaa muotin valmistamiselle. Potentiaaliset valmistustekniikat ovat ohutlevyn muovaus (incremental sheet metal forming) ja tyhjiömuovaus (vacuum forming).

4.2.1.1 Ohutlevyn muovaus

Ohutlevyn muovaus (incremental sheet forming, IFS) on metallisten levyjen muovaustekniikka, jossa työkalua ohjataan tietokoneellisesti. Prosessi muovaa vaikeita kappaleita

pienille ja keskisuurille erille. Ohutlevyn muovaus on nopea ja halpa tapa tehdä prototyyppejä. (11.) Työn toimeksiantaja otti kotimaiseen ohutlevyn muovausyritykseen yhteyttä ja kysyi muovaustekniikan soveltuvuutta muottivalmistukseen.

Ilmeni, ettei ohutlevyn muovaamisella saada muotin vaatimaa tarkkuutta eikä suoruutta. Muovaustekniikalla valmistetun kappaleen tasomaisuuksissa on yleensä vaihtelua eikä pienten ja tarkkojen muotojen valmistus ole kannattavaa. Alle 3 mm korkeuserolla olevat muodot eivät piirry tarkasti painomuovaustekniikalla. Materiaali ohenee merkittävästi jyrkissä muodoissa, jolloin paksuudeksi jää 0,2 - 1,0 mm, jos alkuperäinen materiaali on ollut 2 mm paksu. (11.)

4.2.1.2 Tyhjiömuovaus

Tyhjiömuovauksessa käytetään kestopuovista tehtyä levyaihiota. Levyaihiota lämmitetään, jonka jälkeen se imetään tyhjiöllä muotin pintaan. Muotin muodot kopioituvat tarkasti levyaihioon. Levyaihion lämmittäminen tapahtuu tyhjiömuovauskoneen sähkövastuksilla. Lämmityksen avulla levyaihio saadaan pehmeäksi ja helpommin muotoiltavaksi. Lämmentynyt levyaihio puhalletaan paineilmalla kuplaksi, jolloin kuplan sisään nostetaan muotin sisältävä koneen työkalupöytä. Seuraavaksi kuplasta imetään ilma pois alipaineen avulla. Työstettävä kappale jäädytetään ja aihio irrotetaan muotista. Valmistusmenetelmän lopuksi ylimääräiset reunat leikataan irti ja kappaleeseen tehdään mahdolliset aukotukset esimerkiksi CNC-tekniikalla. Tyhjiömuovauksella pystytään kotimaisessa yrityksessä tekemään 1 800 x 2 800 mm:n kokoisia kappaleita. (12.) Tällä tekniikalla muotille saataisiin luja pintarakenne, mutta valmistusmenetelmä tulisi liian kalliiksi prototyyppi-muoteille tai pienien volyymien sarjamuoteille.

4.2.2 Ainetta poistavat valmistusmenetelmät

Ainetta poistaviin valmistustekniikoihin kuuluvat nimenomaisesti valmistustekniikat, jotka poistavat jollain tavalla ainetta ahiosta eli raakakappaleesta. Seuraavaksi on lueteltu muutamia potentiaalisia ainetta poistavia valmistustekniikoita muotille.

4.2.2.1 Lastuava työstö

Lastuavalla työstöllä tarkoitetaan kappaleiden valmistamista sorvaamalla, jyrsimällä tai poraamalla. Lastuttaessa aiheesta poistetaan materiaalia, kunnes jäljellä on halutun muotoinen ja kokoinen kappale. (13.) Työn toimeksiantaja käytti opinnäytetyön tekohetkellä muottien valmistukseen lastuavaa työstöä, joten lastuavan työstön tutkiminen jätettiin pois tästä opinnäytetyöstä.

4.2.2.2 Kipinätyöstö

Kipinätyöstössä öljyyn upotetusta valmistettavasta metallisesta kappaleesta poistetaan materiaalia sähkön avulla. Kyseessä on vanha, 1940-luvulta peräisin oleva valmistustekniikka, jota käytetään pääsääntöisesti muovituotteille tarkoitettujen ruiskuvalukoneiden muottien valmistuksessa. (14.) Kipinätyöstöä ei valittu valmistustekniikaksi, sillä metallin tulostaminen tai lastuava työstö tulisi nykytekniikalla edullisemmaksi kuin kipinätyöstö.

4.2.3 Ainetta lisäävät valmistusmenetelmät

Ainetta lisääviin valmistustekniikoihin kuuluvat 3D-tulostimet. Ainetta lisäävät valmistustekniikat ovat kehittymässä koko ajan, ja tulostamiselle kehitetään jatkuvasti uusia tekniikoita ja materiaaleja. Tulostimien tarkkuus sekä rakennuskammion koko kasvavat myös teknologian kehittyessä. Kilpailu on tiukkaa tulostinvalmistajien välillä sekä uusia tulostinvalmistajia syntyy lähes tauotta. Perekdyttäessä ainetta lisäävän valmistusmenetelmän tekniikoihin, materiaaleihin, valmistajiin, laitteisiin sekä niiden rakennuskammioiden kokoon pystyttiin löytämään muotille potentiaalisia ainetta lisääviä valmistustekniikoita.

4.2.3.1 Muovien 3D-tulostaminen

Muovien tulostamiseen käytetään monia erilaisia tekniikoita ja materiaaleja, joten aluetta jouduttiin hieman rajaamaan ja valitsemaan kaikista potentiaalisimmat tekniikat ja materiaalit. Potentiaaliset tekniikat pystyvät tekemään tarpeeksi tarkkaa jälkeä, hyvää pinnanlaatua ja lujaa materiaalia. Tulostettavia muovisia materiaaleja on markkinoilla paljon ja niitä kehitetään jatkuvasti lisää. Tärkeimmät ominaisuudet materiaalilla ovat vetolujuus, pinnan kovuus, lämmönkestävyys sekä se, etteivät suuret kappaleet saisi jäähtymisen aikana muuttaa muotoaan.

Stereolitografia apparatus (SLA)

SLA-tekniikka on vanhimpia 3D-tulostustekniikoita. Ensimmäinen teollinen tulostin toimitettiin markkinoille vuonna 1988. SLA-tekniikassa käytetään materiaalina epoksipohjaista fotopolymeeriä, jota kovetetaan UV-laservalolla (ultraviolettivalo) kerros kerrokselta. Valmistettava kappale tulostamisen jälkeen on täysin kovettamattoman nesteen sisällä. Tulostettu kappale jälkikäsitellään tulostamisen jälkeen. Jälkikäsitelyyn kuuluu kappaleen pesu ja jälkikovuus UV-kaapissa. SLA-tekniikan tulostuksessa tukimateriaali rakentuu samasta epoksipohjaisesta fotopolymeeristä kuin itse kappalekin, joten tukimateriaali joudutaan poistamaan mekaanisesti. (15.)

SLA-tekniikkaa käytetään pääsääntöisesti prototyyppien, lopputuotteiden ja piensarjojen valmistamiseen. Tekniikan vahvuuksia ovat tulostusnopeus ja -tarkkuus. (15.)

Selective Laser Sintering (SLS)

SLS-tekniikassa käytetään muovimateriaalia jauhemuodossa. Jauhetta kuumennetaan tehokkaalla laserilla yhteen kerros kerrokselta. Kerroksen valmistuttua sen päälle levitetään uusi jauhekerros uutta kuumennusta varten. Valmistettava kappale tulostamisen jälkeen on täysin jauheen sisällä. Ylimääräinen jauhe poistetaan kappaleen ympäriltä ja kappale puhdistetaan mekaanisesti. SLS-tekniikassa tulostuksen tukimateriaalina toimii sama jauhe, joten erillistä tukimateriaalia ei tarvita. (15.)

SLS-tekniikkaa käytetään pääsääntöisesti prototyyppien, lopputuotteiden ja piensarjojen valmistamiseen. Tulostusmateriaalina käytetään yleisesti polyamidia (nailonia), sen johdannaisia tai polystyreeniä. Polyamidin lujitteina voidaan käyttää esimerkiksi lasia ja alumiinia. Tekniikan vahvuuksia ovat tulostusnopeus, -tarkkuus ja edullisuus. (15.)

MultiJet Printing (MJP)

MJP-tekniikassa käytetään materiaalina esilämmitettyä akryylipohjaista fotopolymeeriä, jota kovetetaan UV-laservalolla kerros kerrokselta. Materiaalin lämmittämisen ansiosta syntyvä pisara on helposti hallittavissa, mikä edesauttaa tulostuksen tarkkuudessa. Tästä seuraten voidaan tulostaa yksityiskohtaisia kappaleita. Tekniikassa tukimateriaalina käy-

tetään steariinin tapaista vahaa, joka poistetaan uunissa noin 65 °C:ssa. Tulostuskerrospaksuudet ovat todella pieniä, välillä 0,016 - 0,03 mm ja tulostusaika on suoraan verrannollinen kappaleen korkeuteen. Tulostusaikaan ei juurikaan vaikuta tulostettavien kappaleiden määrä, sillä yhden kerroksen valmistus perustuu pyyhkäisyyn. Tekniikalla pystytään tulostamaan myös monimateriaalikappaleita ja elastomeerejä eli pyyhekumimaisia kappaleita. MJP-tekniikassa tulostuksen tukimateriaali on mekaanisesti poistettava. (15.)

MJP-tekniikkaa käytetään pääsääntöisesti yksityiskohtaisten prototyyppien valmistamiseen. Tekniikan vahvuuksia ovat tarkat ja edulliset kappaleet. (15.)

Fused Deposition Modeling (FDM)

FDM-tekniikassa käytetään materiaalina kestopuovilankaa, jota sulatetaan tulostuspäässä ja levitetään alustalle kerros kerrokselta. Kestomuovin kovettuminen perustuu jäähtymiseen. Kestomuovilangan materiaalina käytetään yleisesti ABS (akryylinitriilibutadienistyreeni) ja PLA (polylaktidi), kalliimmissa laitteissa pystytään käyttämään esimerkiksi PC:tä (polykarbonaatti) ja ULTEMia (polyeetterimiidiä). Materiaalin kerrospaksuudet ovat välillä 0,1 - 0,33 mm. FDM-tekniikassa tulostuksen tukimateriaali on pesemällä tai mekaanisesti poistettavaa. (15.)

FDM-tekniikkaa käytetään pääsääntöisesti prototyyppien ja piensarjojen valmistamiseen, joissa kappaleet ovat suuria eivätkä vaadi hyvää pinnanlaatua. Hitaan tulostusnopeuden takia tekniikka ei sovellu sarjatuotantoon. (15.)

Polyjet

Polyjet-tekniikassa käytetään materiaalina akryylipohjaista fotopolymeeriä, jota kovetaan UV-laservalolla kerros kerrokselta. Kerrospaksuudet ovat todella pieniä välillä 0,016 - 0,03 mm. Materiaalit ovat akryylipohjaisia ja Objet (nykyinen Stratasys) toi markkinoille Connex-tekniikan, jolla pystytään käyttämään digitaalisia materiaaleja. Digitaaliset materiaalit tarkoittavat eri materiaalien sekoittamista keskenään. Tämä mahdollistaa esimerkiksi eri elastomeerikovuuksien tulostamisen sekoittamalla kovaa ja pehmeää materiaalia eri suhteissa keskenään. Polyjet-tekniikassa tulostuksen tukimateriaali poistetaan painepesulla ja viimeinen kovettumaton fotopolymeerikerros poistetaan mekaanisesti tai lipeäpesulla. (15.)

Polyjet-tekniikkaa käytetään pääsääntöisesti sellaisten prototyyppien valmistamiseen, jotka ovat elastomeerikappaleita. Tekniikka ei sovellu kovin pienille ja yksityiskohtaisille kappaleille. Tukiaineen poistotapa voi aiheuttaa rajoitteita tulostettavan kappaleen monimutkaiselle geometrialle. (15.)

4.2.3.2 Metallien 3D-tulostaminen

Metallin tulostaminen on kehittynyt ainetta lisäävänä valmistustekniikkana tehokkaasti viime aikoina. Metallin tulostamista on aiemmin pidetty realistisena valmistustapana pelkästään prototyyppien tekemiseen, mutta nykyteknologialla pystytään valmistamaan tarpeeksi lujia kappaleita työkaluiksi tuotantoon asti. Metallisten tulosteiden rakennuskammiot Euroopan, Yhdysvaltojen ja Aasian konevalmistajilla ovat kasvaneet suuriksi, yli 1 000 x 1 000 x 1 000 mm, joten isotkin kappaleet voidaan rakentaa yhdestä kappaleesta lähes poikkeuksetta. Tulostettavia metallisia materiaaleja on monia, mutta tässä opinnäytetyössä keskitytään pelkästään alumiinisiin, sillä ne ovat ominaisuuksiltaan tarpeeksi lujia, kovia sekä edullisia. Seuraavaksi on esitelty metallien tulostustekniikat lyhyesti.

Direct Metal Laser Sintering (DMLS) / Selective Laser Melting (SLM)

DMLS/SLM-tekniikassa käytetään jauhemuodossa olevaa metallia, jota sintrataan eli kuumennetaan tehokkaalla laserilla yhteen kerros kerrokselta. Materiaaleina voidaan käyttää esimerkiksi ruostumatonta terästä, titaania, alumiinia, työkaluterästä, kultaa ja hopeaa. DMLS/SLM-tekniikassa tulostuksen tukimateriaali poistetaan mekaanisesti ja kappale irrotetaan alustastaan esimerkiksi lankasahalla. Kappale voidaan viimeistellä esimerkiksi CNC-tekniikalla. (15.)

DMLS/SLM-tekniikkaa käytetään pääsääntöisesti kappaleiden tekemiseen, joilla on hankala geometria ja vaihtoehtoinen valmistustapa olisi vaikeaa tai kallista. Tulostustarkkuudet ovat noin 0,02 mm, ja suuri etu on kappaleiden toistettava tulostaminen. (15.)

Directed Energy Deposition (DED)

DED-tekniikassa kappale muodostetaan sulattamalla ja suihkuttamalla tai syöttämällä materiaalia haluttuun kohtaan. Materiaali sulatetaan laserilla, elektronisuihkulla tai plasmakaarella kerros kerrokselta yhteen. Kerrospaksuudet ovat suuruudeltaan 0,25 - 0,5

mm. Suuren kerrospaksuuden takia tulosteeseen tulee huono pinnanlaatu. Rakennuskammio on täytetty suojakaasulla, yleensä argon- tai typpikaasulla. Tätä tekniikkaa käytetään yleisesti metallisten esineiden korjaamiseen. (16, s. 239, 248, 256.)

4.2.3.3 Hartsien ja hiekan 3D-tulostaminen

Ainetta lisäävässä valmistusmenetelmissä voidaan käyttää tulostusmateriaalina myös hartseja ja kvartsihiekkää. Molemmat tulostusmateriaalit ovat edullisia ja nopeita tulostaa verrattuna muoveihin ja metalleihin.

Gel Dispensing Printing (GDP)

Hartsimateriaalia lasketaan suuttimesta, minkä jälkeen materiaalia kovetetaan UV-valolla. Tällä hetkellä markkinoilla on yksi laitevalmistaja Massivit 3D, joka tekee tuotteita GDP-tekniikalla. Tekniikalla saadaan todella suuria tuotteita valmistettua, jopa 1 200 x 1 500 x 1 800 mm rakennuskammioilla. (17.) GDP-tekniikasta ei löydy toistaiseksi muotin valmistamiseksi tarpeeksi tietoa. Hartsin rakenteen lujuus ja tarkkuus eivät kuitenkaan vaikuta olevan tarpeeksi suuriksi muotin valmistamiseen. GDP-tekniikalla on tehty pääsääntöisesti malleja, jotka eivät altistu rasitukselle.

Hiekan 3D-tulostaminen

3D-tulostin, joka käyttää materiaalinaan kvartsihiekkää, voi tehdä puhtaasti lopputuotteita tai esimerkiksi alumiiniselle valutuotteelle keernoja ja valumuotteja. Tulostin levittää muottihiekan 0,3 mm suuruisiin kerroksiin, jolloin tulostuspää levittää kovettimen. Kvartsihiekkä on materiaalina edullista, mikä edesauttaa prototyyppien valmistamista. (18.)

4.3 Valmistusmenetelmien valinta

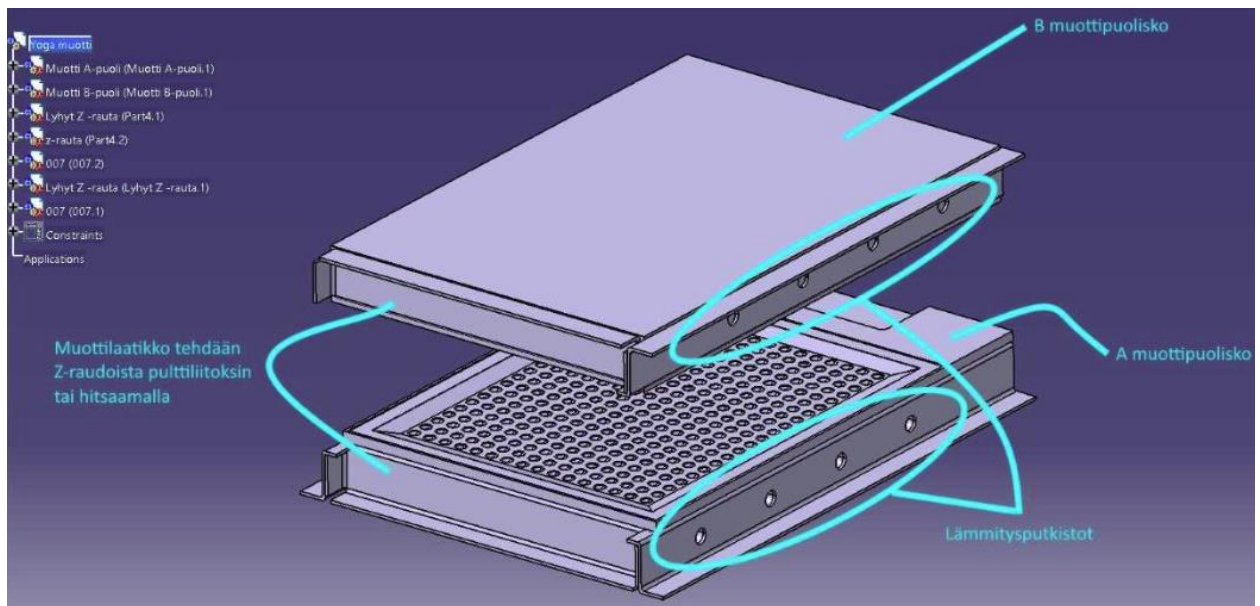
Muotin valmistusmenetelmäksi valittiin ainetta lisäävät valmistusmenetelmät esiselvitysvaiheen katselmoinnissa. Valintaperusteisiin vaikuttivat 3D-tulostuksen tuomat edut, jotka olivat valmistusnopeus ja -tarkkuus, soveltuvat materiaalit sekä edullisuus. Oli huomioitava myös, että ainetta lisäävällä valmistustekniikalla oli todella vähän geometrisiä rajoitteita muotin valmistamiselle verrattuna muihin valmistusmenetelmiin.

Katselmoinnissa mietittiin, olisiko kannattavaa hankkia työn toimeksiantajalle oma 3D-tulostin vai tulostaa muotti alihankintana toisen yrityksen kautta. Opinnäytetyön tekohetkellä 3D-tulostimet kehittyivät jatkuvasti, joten sen hetkiselällä teknologialla toimiva tulostin voi olla hyvinkin epäkäytännöllinen verrattuna lähitulevaisuuden tulostimiin. Kehittymistä tapahtuu eniten tulostustavassa ja -materiaalissa sekä rakennuskammion suuruudessa, mikä huomataan, kun verrataan tämän hetkisiä tulostimia ja parin vuoden takaisia tulostimia toisiinsa. Koska tulostusteknologia kehittyy tällä hetkellä jatkuvasti, muotti päätettiin ostaa AM-alihankintayritykseltä.

Ainetta lisäävästä valmistustekniikasta tehtiin Excel-taulukko, johon merkittiin potentiaalliset AM-alihankkijat kotimaasta, EU-alueelta ja Yhdysvalloista. Taulukossa kerrottiin yritysten nimet ja maat sekä myös laitteet, niiden tekniikat, materiaalit ja rakennuskammion koot sekä yrityksen kotisivut. Taulukosta löytyvien suodattimien perusteella oli helppo etsiä esimerkiksi tieto siitä, millä yrityksellä oli suurin tulostimen rakennuskammio ja mitä tulostusmateriaalia se käytti.

Valmistusmenetelmän valinta vaiheen katselmoinnissa valittiin muotinvalmistusmenetelmät. Lopullisessa valinnassa menetelmäksi valittiin ainetta lisäävä valmistustekniikka, jossa käytettiin materiaalina kvartsihiekkaa ja hartsia. Kotimainen alihankkija omisti Voxeljetin VX1000-tulostuslaitteen, jonka rakennuskammio oli kooltaan 1 060 x 600 x 500 mm. (18.) Vaikka rakennuskammio oli kooltaan suuri, se ei ollut riittävän suuri valmistamaan muottipuoliskoja 1 500 x 2 000 mm:n kokoiselle tuotteelle yhdestä kappaleesta.

Katselmoinnissa mietittiin vaihtoehtoisia pienempiä tuotteita, joille olisi myös tarvetta tehdä piensarjamuotti. Löytyi vaihtoehtoinen tuote, joka oli kooltaan 510 x 600 mm. Tuote vaihdettiin tämän testimuotin tuotteeksi kokonsa takia. Tuotteelle valmistettavan muotin molemmat puolet pystyttäisiin tekemään yhdestä kappaleesta. Maton muotille ei ollut 3D-mallia, joten työn toimeksiantaja joutui suunnittelemaan muotin läheisessä yhteistyössä alihankkijan kanssa. Kuvassa 5 on alustava suunnitelma uuden tuotteen muotista, jossa materiaalina toimi kvartsihiekkä.

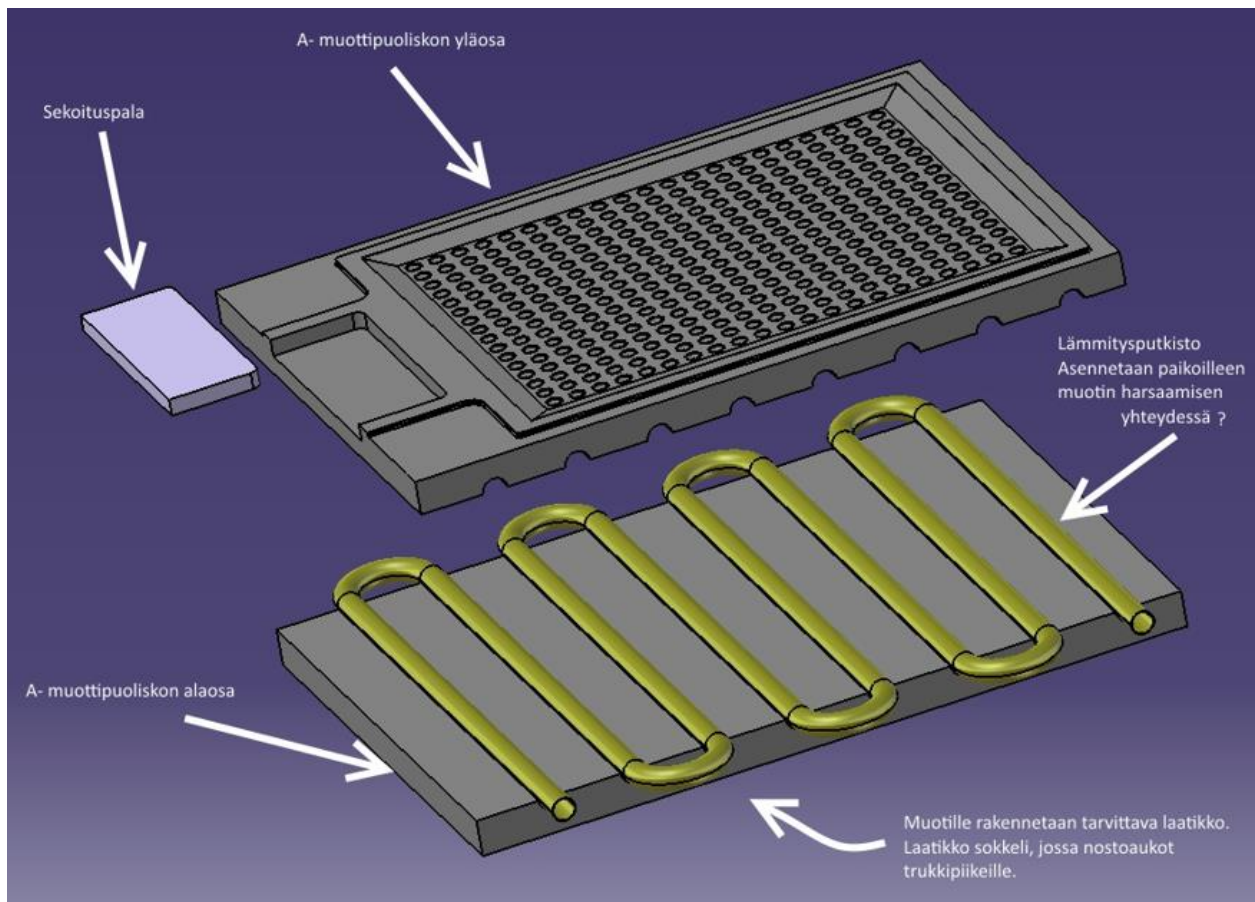


KUVA 5. Hydnum Oy:n tekemä alustava suunnitelma muotista (19)

Metallien tulostamista ei ollut unohdettu kokonaan, sillä työn toimeksiantajan muotin 3D-mallin avulla pystyttiin lähettämään tarjouspyyntöjä alumiinia tulostaviin AM-yrityksiin. Tarjouspyynnöt lähetettiin yrityksiin, jotka omistavat alumiinia tulostavan tulostuskoneen, jossa rakennuskammio oli kooltaan yli 600 x 800 mm. Rakennuskammion koko on tärkeä, jotta muottipuoliskot voitiin valmistaa oikeasta materiaalista ja yhdestä kappaleesta. Katselmoinnissa päätettiin, että yritysten pitää sijaita Euroopan alueella, jotta mahdolliset toimitusajat pysyivät tarpeeksi lyhyinä ja mahdolliset kunnossapitotarpeet olisivat helppo toteuttaa toimittajan toimesta kohtuullisin aikatauluin ja kustannuksin. Kotimaiset yritykset olisivat olleet nopeampia ja varmempia toimitusaikojen kanssa. Yksikään kotimainen alumiinia tulostava yritys ei omistanut tulostinta, jossa olisi tarpeeksi suuri rakennuskammio muotin tulostamiseen yhdestä kappaleesta.

AM-alihankkijayrityksiä, joilla on alumiinia tulostava 3D-tulostin, löytyi Euroopan alueelta sen verran vähän, että tarjouspyynnöt lähetettiin myös kotimaisiin tulostusyhtiöihin. Suurimmat alumiinia tulostavat laitteet Suomessa sisälsivät opinnäytetyön tekohetkellä suurimmillaan 280 x 280 x 365 mm kokoisen rakennuskammion (20). Rakennuskammion pienen koon takia muotti tulisi valmistaa useasta pienestä palasesta. Tarjouspyynnöt lähetettiin kotimaisiin yrityksiin sen takia, että saataisiin enemmän tarjouksia ja sitä kautta kattavampaa tietoa valmistuskustannuksista.

Muotin suunnittelu kvartsihiekkapohjaiselle materiaalille vaati läheistä yhteistyötä työn toimeksiantajan sekä alihankkijan välillä, jotta muotista saatiin mahdollisimman toimiva prototyyppi. Työn toimeksiantaja ja alihankkija pitivät etäpalavereita puhelimitse, joissa myös opinnäytetyön tekijä oli osallisena. Palavereissa käytiin läpi hinnastoa, toimitusaikoja sekä yksityiskohtaisesti muotin rakennetta ja toimivuutta. Muotin rakennetta jouduttiin muokkaamaan sopivaksi alihankkijan laitteistolle melko tarkasti, jotta esimerkiksi muotin rakenteesta tuli tarpeeksi vahva. Muotille suunniteltiin vaihtoehtoinen ratkaisu, joka on esitelty kuvassa 6.

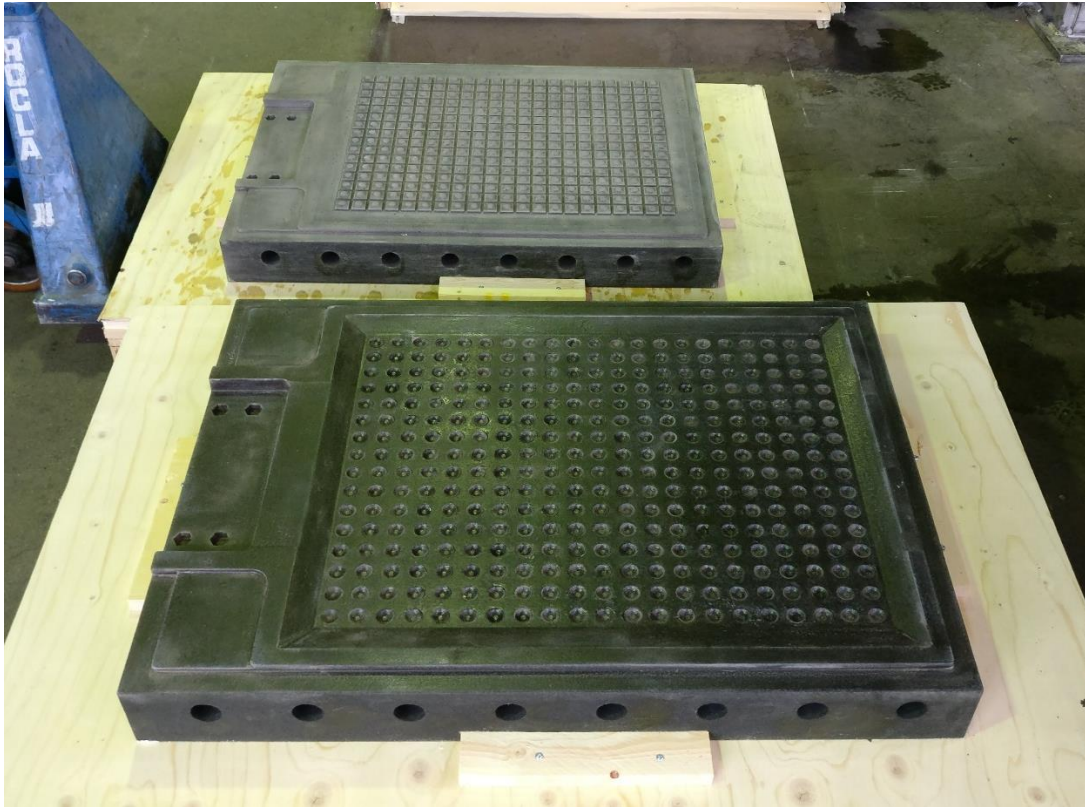


KUVA 6. Hydnum Oy:n tekemä vaihtoehtoinen suunnitelma muotista (21)

4.4 Muotin käytännön testaus

Muotin käytännön testausta ei ennätetty suorittamaan opinnäytetyön aikana, koska työn toimeksiantajalta puuttui muotin testaamisen kannalta kriittisiä runko-osia. Muotti kuitenkin-

kin täytti seuraavat vaatimukset: hintataso vähintään 50 % nykyistä edullisempi, toimitusaika vähintään 50 % nykyisten muottien toimitusaikaa pienempi ja muotin paino nykyisiä muotteja pienempi. Kuvassa 7 ovat alihankkijan valmistamat muottipuoliskot kvartsihiekestä.



KUVA 7. Hetitec Oy:n valmistamat muottipuoliskot fyysisinä kappaleina Hydnum Oy:llä

5 YHTEENVETO

Työssä selvitettiin työn toimeksiantajalle nykyistä edullisempi valmistusmenetelmä pienten volyymien polyuretaanimattojen korkeapaine-RIMin puristusmuoteille. Opinnäytetyön aikana kartoitettiin mahdolliset muotinvalmistusmenetelmät ja valittiin niistä kaikista soveltuvimmat ja kilpailukykyisimmät menetelmät. Työn tuotteeksi valittiin ensiksi 1 500 x 2 000 mm:n kokoinen eristematto, jonka muoteille uusi valmistusmenetelmä oli tarkoitus valita.

Valmistusmenetelmien kartoittaminen aloitettiin mahdollisimman laajasti, jotta kaikki mahdolliset valmistustekniikat tulivat ilmi. Ensiksi alettiin karsimaan alustavasti materiaaleja, joista muotti oli järkevää valmistaa. Materiaalin tärkeimpiin ominaisuuksiin kuuluivat vetolujuus, kovuus, lämmönkestävyys ja lämmönjohtavuus sekä edullisuus.

Alustavan materiaalikarsinnan jälkeen etsittiin muotin potentiaaliset valmistusmenetelmät. Valmistusmenetelmissä olivat mukana ainetta muovaavat, poistavat ja lisäävät tekniikat sekä valaminen. Parhaaksi valmistusmenetelmäksi valikoituivat ainetta lisäävät tekniikat, sillä ne ovat nopeita, edullisia ja käyttävät soveltuvaa materiaalia.

3D-tulostimen tulostukset päätettiin ostaa alihankkijalta. Työssä tehtiin Excel-taulukko potentiaalisista AM-alihankkijoista, jotka valmistavat myös AM-laitteita. Potentiaalisiin AM-alihankkijoihin kuuluivat kotimaiset, eurooppalaiset ja yhdysvaltalaiset yritykset. AM-alihankkijoiden laitteiden materiaalina toimivat muovit, hartsit, metallit ja kvartsihiekkä sekä rakennuskammion koko täytyi olla yli 500 x 500 mm.

Näistä yrityksistä valikoituivat eurooppalaiset yritykset, jotka tulostivat alumiinia ja kvartsihiekkää. Valintaan vaikuttivat pääasiallisesti toimitusajat, materiaali sekä rakennuskammion koko. Ainetta lisäävällä tekniikalla oli myös haittapuolensa, sillä laitteiden rakennuskammiot opinnäytetyön tekohetkellä olivat liian pieniä, jotta 1 500 x 2 000 mm:n kokoinen tuote voitaisiin tehdä yhdestä kappaleesta. Tästä seuraten työn tuote jouduttiin vaihtamaan pienempään 510 x 600 mm:n kokoiseen työpistemattoon.

Kvartsihiekkä AM-alihankkijaksi valikoitui kotimainen alihankkija. Valintaan vaikutti tarpeeksi suuri tulostimen rakennuskammio ja kotimaisuus, mikä edesauttaa nopeissa ja

varmoissa toimitusajoissa. Alihankkija omistaa Voxeljetin VX1000-tulostuslaitteen, jonka rakennuskammio on kooltaan 1 060 x 600 x 500 mm. Muotti valmistettiin kvartsihiekasta. Alihankkija pystyi valmistamaan työpistematolle muottipuoliskot yhdestä kappaleesta, jotka toimitettiin opinnäytetyön aikana työn toimeksiantajan tehtaalle. Työn toimeksiantajalta puuttuivat muotin runko-osat, joten käytännön testausta ei päästy suorittamaan projektin aikana. Muotti kuitenkin täytti seuraavat vaatimukset: hintataso vähintään 50 % nykyistä edullisempi, toimitusaika vähintään 50 % nykyisten muottien toimitusaikaa pienempi ja muotin paino nykyisiä muotteja pienempi.

Opinnäytetyön aikana kartoitettiin myös alumiinista tulostetun muotin hinta. Tarjouspyyntöjä lähetettiin yhteensä seitsemään alihankintayritykseen, joista neljä sijaitsi kotimaassa ja kolme EU-alueella. Tarjouspyynnöissä käytettiin työn toimeksiantajan ja alihankkijan tekemää muotin CAD-tiedostoa. Yritysten tarjousten vastaukset olivat vaihtelevia, joten tarkkaa hinta-arviota alumiiniselle muotille ei saatu kunnolla kartoitettua.

LÄHTEET

1. Hydnum Oy. Saatavissa: <http://www.hydnum.com/index.php?1>. Hakupäivä 29.1.2018.
2. Annunen, Timo 2012. Selvitys pikavalmistuksen käytöstä protomuottivalmistuksessa. Opinnäytetyö. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/43769/Annunen_Timo.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Hakupäivä 25.4.2018.
3. Tolonen, Marko 2018. Suunnittelu ja tuotannon kehitys, Hydnum Oy. Tehdasvierailu 9.2.2018.
4. Reaction Injection Molding (RIM) – Process Overview Video by RIM Manufacturing. 2016. Video. RIM Manufacturing. Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=TWEfbGH-Ewc>. Hakupäivä 25.4.2018.
5. Engineering Polyurethanes - RIM Part and Mold Design Guide. 2008. Bayer MaterialScience LLC. Saatavissa: <http://www.reactioninjectionmolding.com/wp-content/uploads/2013/09/RIM-PartMoldDesignGuide.pdf>. Hakupäivä 5.4.2018.
6. Airasmaa, Ilkka – Kokko, Juha – Komppa, Veikko – Saarela, Olli – Skrifvars, Mikael 2007. Komposiittirakenteet. Helsinki: Hakapaino Oy.
7. Polyurethanes, Technology. 2018. Purmold. Saatavissa: <http://www.purmold.com/purphp/technology.php>. Hakupäivä 14.2.2018.
8. Woods, George 1990. The ICI Polyurethanes Book, Second edition. Hollanti: Steens Schiedam b.v.
9. Polyuretaani. 2014. Wikipedia. Saatavissa: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Polyuretaani>. Hakupäivä 1.3.2018.

10. Manufacturing Materials. 2018. Protolabs. Saatavissa: <https://www.protolabs.co.uk/materials/comparison-guide/?filter=plastic-materials>. Hakupäivä 19.2.2018.
11. Ahtiainen, Esko 2018. Relicompin viestiketju. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Kela, Jesse. 22.3.2018.
12. Tyhjiömuovaus. 2015. Aikolon Oy. Saatavissa: <https://www.aikolon.fi/tyostopalvelut/tyhjiömuovaus>. Hakupäivä 11.4.2018.
13. Lastuava työstö. 2015. Oamk. Saatavissa: <http://www.oamk.fi/hankkeet/mec/valmistustekniikat/lastuava-tyosto>. Hakupäivä 11.4.2018.
14. Kipinätyöstö. 2013. Wikipedia. Saatavissa: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Kipinätyöstö>. Hakupäivä 11.4.2018.
15. Tietoa eri tulostustekniikoista ja termeistä. 2016. Grano 3D Oy. Saatavissa: <http://www.rpcase.fi/Sovellukset/Tietoa-eri-tekniikoista>. Hakupäivä 27.3.2018.
16. Gibson, I., Rosen, D. W. & Stucker, B. 2010. Additive manufacturing Technologies. Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing. New York, Springer Science+Business Media.
17. Gel Dispensing Printing (GDP). 2017. FIT Additive Manufacturing Group. Saatavissa: http://www.fit-prototyping.de/downloads/datasheet/GDP_datasheet_E.pdf. Hakupäivä 11.4.2018.
18. 3D-tulostuspalvelut. 2013. Hetitec Oy. Saatavissa: <https://hetitec.com/3d-tulostuspalvelut>. Hakupäivä 11.4.2018.
19. Tolonen, Marko 2018. Alustava muottisuunnitelma ja kuva. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Kela, Jesse. 23.3.2018.
20. 3D-tulostus. 2018. 3DStep Oy. Saatavissa: <http://www.3dstep.fi/palvelut/3dtulostus/> Hakupäivä 26.4.2018.

21. Tolonen, Marko 2018. Ideaa muotista ja sen lämmitysputkistosta. Sähköpostiviesti.
Vastaanottaja: Kela, Jesse. 28.3.2018.