

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Arto Mikkonen

MIM-TESTIMUOTIN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

Opinnäytetyö
Kesäkuu 2017



OPINNÄYTETYÖ
Kesäkuu 2017
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
013 260 600

Tekijä
Arto Mikkonen

Nimike
MIM-testimuotin suunnittelu ja toteutus

Toimeksiantaja
Karelia-amk

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja valmistaa testimuotti metalliruiskuvaluuun. Keskeinen osa muottisuunnittelua oli löytää optimaalinen porttiratkaisu. Työ toteutettiin Karelia-ammattikorkeakoulun toimeksiantona.

Työssä perehdyttiin MIM-prosessin eri vaiheisiin ja MIM-tuotteiden suunnitteluun. Eri porttiratkaisujen vaikutusta MIM-materiaalin käyttäytymiseen selvitettiin Karelia-ammattikorkeakoulun kasettimuotilla. Ruiskuvalukokeiden tulosten pohjalta suunniteltiin ja valmistettiin testimuotti, joka koeajettiin.

Työn tuloksena saatiin uutta tietoa MIM-materiaalin käyttäytymisestä. Ruiskuvalukokeiden perusteella materiaali oli hyvin herkkä jetting-ilmiölle. Testimuottia tullaan käyttämään, kun tutkitaan MIM-prosessin vaikutusta kappaleen mittoihin. Kokeellisen osion lopussa on esitetty kehitysehdotus testimuotin valukanavistolle, koska jetting-ilmiötä ei saatu käytetyllä portilla kokonaan eliminoitua.

Kieli
Suomi

Sivuja 53

Liitteet 4

Asiasanat
MIM, metalliruiskuvalu, sideainepoisto, sintraus, metalliruiskuvalutuotteen suunnittelu, jetting



THESIS
June 2017
**Degree Programme in Mechanical and
Production Engineering**
Karjalankatu 3
FI 80200 JOENSUU
FINLAND
+358 13 260 600

Author
Arto Mikkonen

Title
Designing and Manufacturing of Test Mould for MIM

Commissioned by
Karelia University of Applied Sciences

Abstract

The goal of this thesis was to design and manufacture a test mould for metal injection moulding (MIM). The major objective of design was to find an optimal gate solution. The assignment was given by Karelia University of Applied Sciences.

In this thesis, different steps of MIM process and designing for MIM products were explored. Influence of different gates to MIM material were investigated with a mould of Karelia University of Applied Sciences. By analysing the results of the cavity filling series, the test mould was designed and manufactured. Finally, the test mould was tested.

In this thesis, new information was discovered regarding the behaviour of MIM material. The results of the cavity filling series indicated that MIM material is sensitive for jetting. The test mould will be used for studying the effects of MIM process to dimensions of items. Finally, in the practical section a development proposal for test mould is introduced because jetting was not completely eliminated.

Language
Finnish

Pages 53

Appendices 4

Keywords

MIM, metal injection moulding, debinding, sintering, designing for metal injection moulding, jetting

Sisältö

Tiivistelmä

Abstract

Lyhenne- ja käsiteluettelo

1	Johdanto	6
1.1	MIM-projekti	6
1.2	Opinnäytetyö ja sen tavoitteet	6
2	MIM-prosessi	7
3	MIM-kappaleen suunnitteluohjeet	12
3.1	Geometria	13
3.2	Mittaominaisuudet	17
3.3	Pinnanlaatu	18
3.4	Portti	18
3.5	Materiaalivalinta	19
4	Porttiratkaisuiden testaus	21
4.1	Porttitestauksessa käytettävän muotin esittely	21
4.2	Testattavat portit	24
4.3	Testattavien porttien täyttymissarjat	29
4.4	Johtopäätökset porttitestauksesta	34
5	Testimuotin suunnittelu, valmistus ja koeajot	36
5.1	Suunnittelu ja valmistus	36
5.2	Testimuotin koeajo	40
5.3	Johtopäätökset testimuotista	48
6	Testimuotin kehitysehdotus	49
7	Pohdinta	51
7.1	Opinnäytetyön aihe ja prosessinkulku	51
7.2	Tulosten hyödynnettävyys ja uudet tutkimuskohteet	51
7.3	Oma oppiminen	52
	Lähteet	53

Liitteet

Lyhenne- ja käsiteluettelo

CAD (Computer-aided Design) Tietokoneavusteinen suunnittelu

MIM (Metal Injection Molding) Metalliruiskuvalu

1 Johdanto

1.1 MIM-projekti

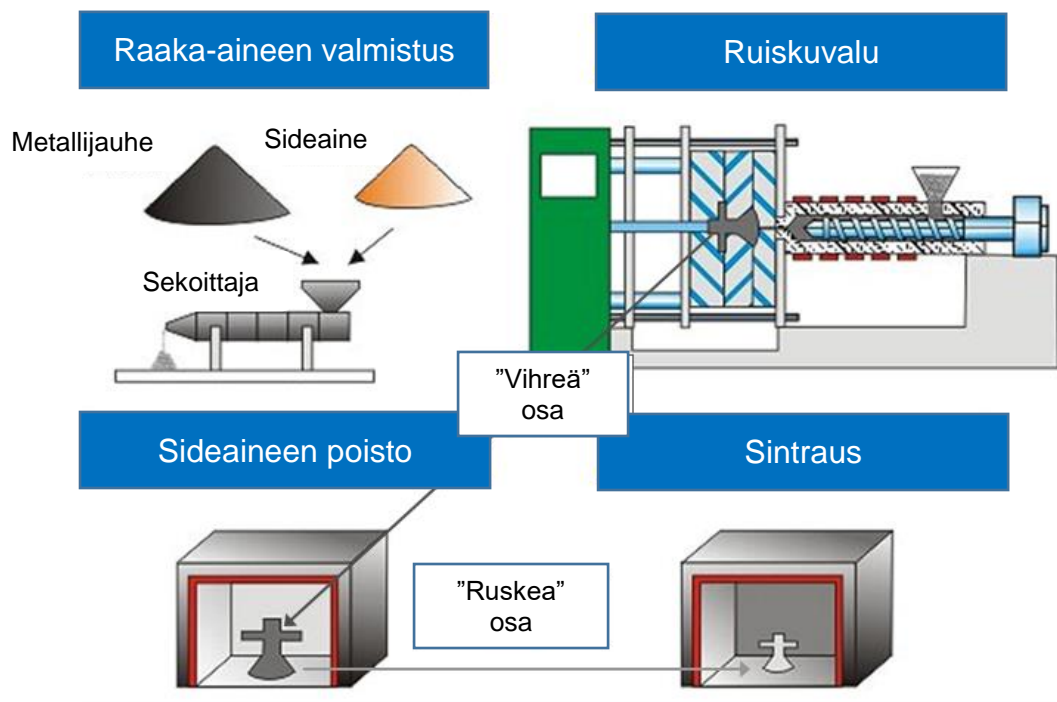
Tämä opinnäytetyö oli osa Karelia-ammattikorkeakoulun Demonstraatioympäristö MIM-tekniikan uusiin ja haasteellisiin kokeiluihin -hanketta. ”Hankkeen tavoitteena on tukea pk-yritysten MIM-tekniikkaan perustuvien tuotteiden, asiantuntijuuden, uusien kaupallistamismahdollisuuksien ja uuden tekniikan käyttöönottoa” [1]. Hankkeen tavoitteet toteutetaan konkreettisen tutkimus- ja kehitystoiminnan sekä demonstraatioiden keinoin. Hankkeessa on myös tarkoitus selvittää MIM-tekniikkaa massavalmistuksena tekevän yrityksen toimintaedellytykset. Lisäksi hankkeen rinnalla on investoitu sideaineen poistoon ja hankittu alueelle yritysten ja tutkimuslaitosten pilotointikäyttöön tarkoitettu sintrausuuni.

1.2 Opinnäytetyö ja sen tavoitteet

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tuottaa Karelia-ammattikorkeakoululle testimuotti MIM-osien valmistukseen. Testimuotin oli oltava sellainen, että sillä voitaisiin valmistaa neljää erilaista koekappaletta, joita käytettäisiin MIM-materiaalien ominaisuuksien testaamiseen. Opinnäytetyön yhteydessä muotittiin toteutettiin yksi kolikon muotoinen tuote. Ennen testimuotin suunnittelua tutkittiin eri porttiratkaisujen vaikutusta MIM-materiaalin käyttäytymiseen. Työ on jaettu teoriaosuuteen, jossa käsitellään MIM-prosessia yleisesti ja käydään läpi tuotteiden suunnitteluohjeita, sekä toiminnalliseen osaan, missä käsitellään porttiratkaisuiden testausta ja testimuotin suunnittelu ja testaus.

2 MIM-prosessi

MIM (Metal injection molding) eli metalliruiskuvalu on 1970-luvulla käyttöön otettu valmistusmenetelmä, joka soveltuu erityisesti pienten, muodoiltaan monimutkaisten ja lujuutta vaativien kappaleiden massatuotantoon [2, 6; 3, 1]. Metalliruiskuvaluprosessi on nelivaiheinen prosessi, joka sisältää raaka-aineen valmistuksen, ruiskuvalun, sideaineen poiston ja sintrauksen. Prosessin vaiheet ovat esitetty kuviossa 1.



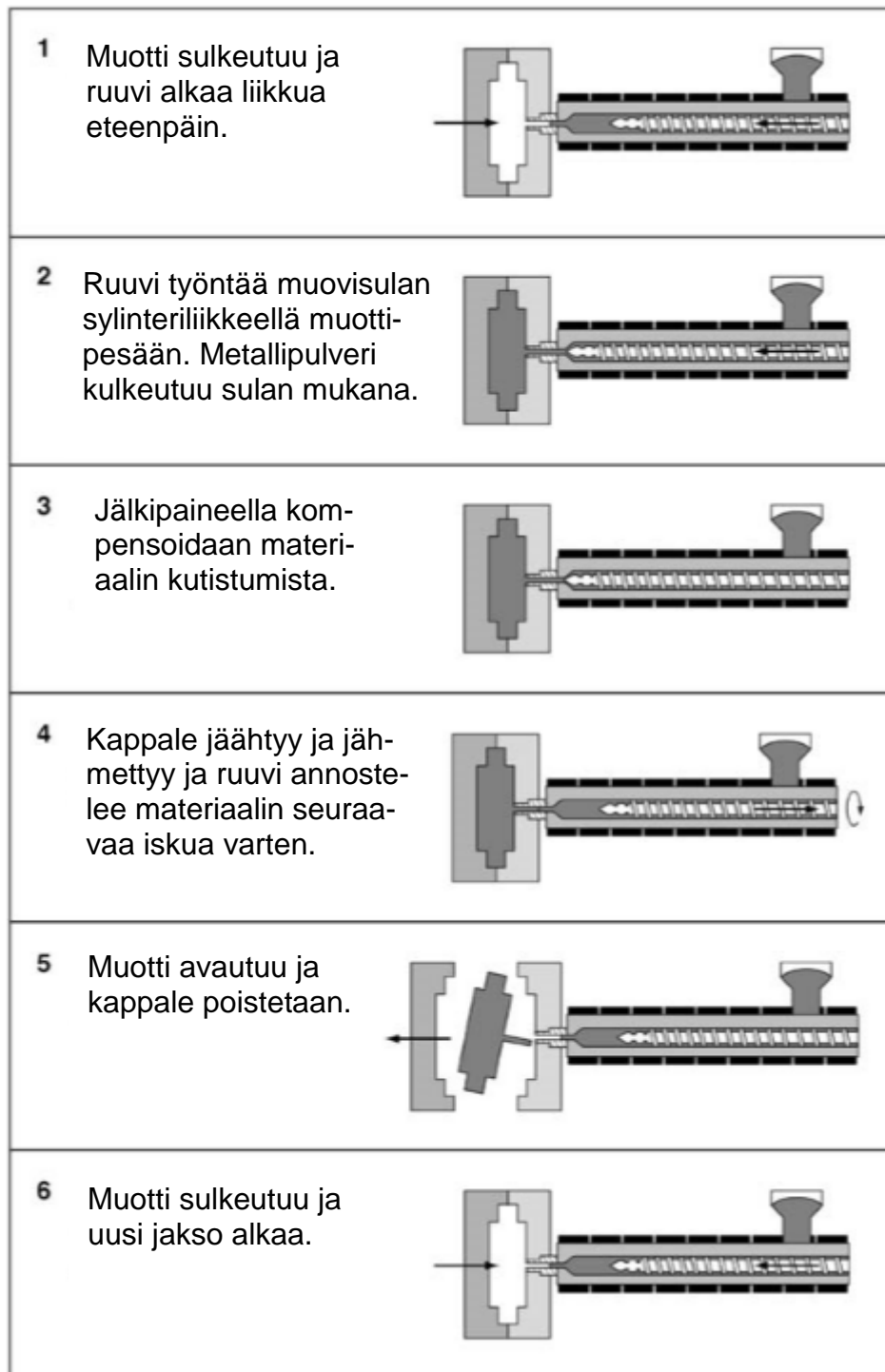
Kuvio 1. MIM-prosessin päävaiheet ovat raaka-aineen valmistus, ruiskuvalu, sideaineen poisto ja sintraus [4, 16] (Muokattu 14.1.2017)

Ensimmäisessä vaiheessa metallipulveri ja sideaine sekoitetaan keskenään. Sekoitussuhde riippuu materiaaleista mutta on yleensä 60 tilavuusprosenttia metallipulveria ja 40 tilavuusprosenttia sideainetta [2, 2]. Metalliruiskuvalussa voidaan käyttää erilaisia metallimateriaaleja, sillä edellytyksellä, että ne ovat pulveroitavissa, sekoittuvat sideaineiden kanssa ja ovat sintrattavissa. Metallipulverin par-

tikkelikoko on keskimäärin alle 22 µm. Pulverointi voidaan tehdä kaasu- tai vesiatomisoimalla, lämmön avulla tai kemiallisesti. Pulverointimenetelmällä voidaan vaikuttaa partikkelien muotoon ja kokoon, joilla on puolestaan vaikutus kutistumaan ja muotopysyvyyteen. Yleisimpiä materiaaleja ovat teräs ja ruostumaton teräs [5, 11, 50–55, 57].

Sideaineella on merkittävä rooli MIM-prosessissa, sillä sen tehtävä on pitää kappaleen muoto koossa ruiskuvalusta sintraukseen. Sideaineet ovat yleensä useamman polymeerin seoksia, jotka sisältävät pääsideaineen ja lisäaineita. Pääsideaineet voivat olla kestumoveja (POM, PA), vesipohjaisia (Agar, selluloosa), lämpökovettuvia (epoksi), vaha-polyolefiineja tai PEG-PMMA-sideaineita. Sideaineilta vaadittavia ominaisuuksia ovat matala viskositeetti, korkea vihreän kappaleen lujuus, hyvä pulveroitavuus, hyvä sekoitavuus metallipulverin kanssa, lämpöstabiilius ja edullisuus. [4, 29–30]. Metallipulverin ja sideaineen seoksesta saatua granulaattia kutsutaan nimellä ”feedstock”.

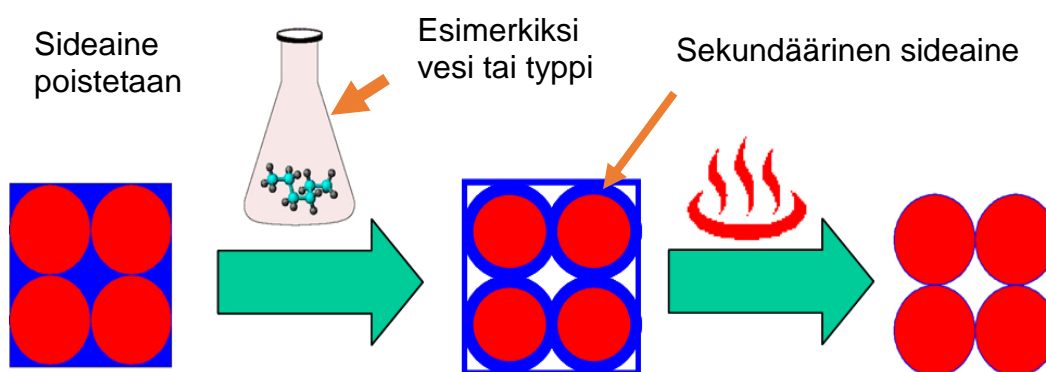
Metalliruiskuvalu on hyvin samanlaista kuin perinteinen muovien ruiskuvalu. Suurimmat erot ovat ruiskutusaineessa, ruiskutuskierrrossa ja ruiskutusyksikössä [6, 11]. Ruiskutusaine on suurempi kuin perinteisessä ruiskuvalussa sulan huonon juoksevuuden vuoksi. Ruiskutuskierto on kuvattu kuviossa 2. Metalliruiskuvalussa voidaan käyttää samoja laitteita kuin muovien ruiskuvalussa tosin pienin muutoksin. Metalliruiskuvalussa ruuvien pituus saa olla korkeintaan 18 kertaa ruuvien halkaisija ja ruuvien ja sylinterin materiaalin on oltava kulutuskestävämpää kuin muovien ruiskuvalussa. Yleisiä materiaaliratkaisuita ovat nitrattu teräs, kova kromattu pinnoite ja kovametallit. Metalliruiskuvalun haasteita muoviruiskuvaluun verrattuna tuottavat sulan korkeampi viskositeetti, jetting-ilmiö, huonompi vihreän kappaleen lujuus, suurempi massanhitaus, erikoinen leikkausnopeusprofiili, korkeampi lämmönjohtavuus, suurempi kappaleen paino sekä metallijauheen ja sideaineen jakautumisriski. [4, 36–38.]



Kuvio 2. Ruiskuvalujakso on vaiheiltaan samanlainen kuin muoveilla mutta parametrit ovat hyvin erilaiset. [5, 119] (Muokattu 23.2.2017)

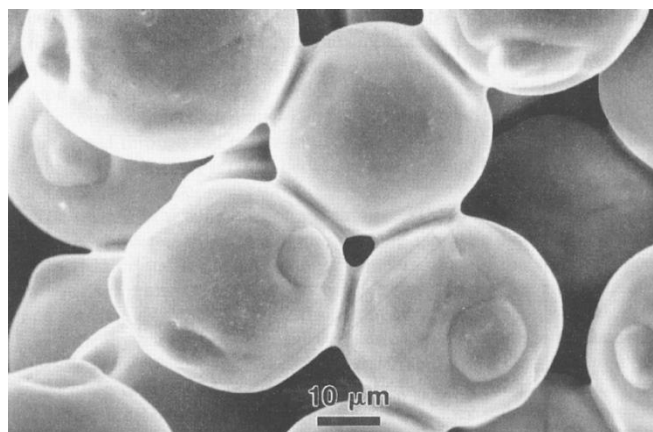
Ruiskuvalussa saatua kappaletta kutsutaan vihreäksi kappaleeksi. Vihreä kappale on hauraampi kuin muoveista valetut kappaleet. Siksi ulostyönnon oltava sellainen, että se ei murra kappaletta, ja jos kappaleen annetaan pudota vapaasti, laskeutumisalueen on oltava pehmeä.

Valun jälkeen kappaleesta poistetaan sideaine. Sideaine poistetaan yleensä kahdessa vaiheessa. Ensin kappaleesta poistetaan pääsideaine sideaineesta riippuen liuottamalla vedellä, katalyytillä, kaasulla tai lämmöllä. Tällöin kappaleeseen jää vain ns. sekundäärinen sideaine, joka pitää kappaleen kasassa. Tästä syystä sideainepoistettu kappale on hyvin hauras. Jäljelle jäävää sideainetta kutsutaan nimellä ”backbone” ja kappaletta, josta on poistettu pääsideaine, kutsutaan ruskeaksi kappaleeksi. Sekundäärinen sideaine poistetaan kappaleesta sintrauksen yhteydessä. Kappale kuumennetaan hitaasti sideaineesta riippuen 300–600 °C:seen ja pidetään tässä lämpötilassa, kunnes sideaine on poistunut. [5, 130–150.] Sideaineen poiston vaiheet on kuvattu kuviossa 3.

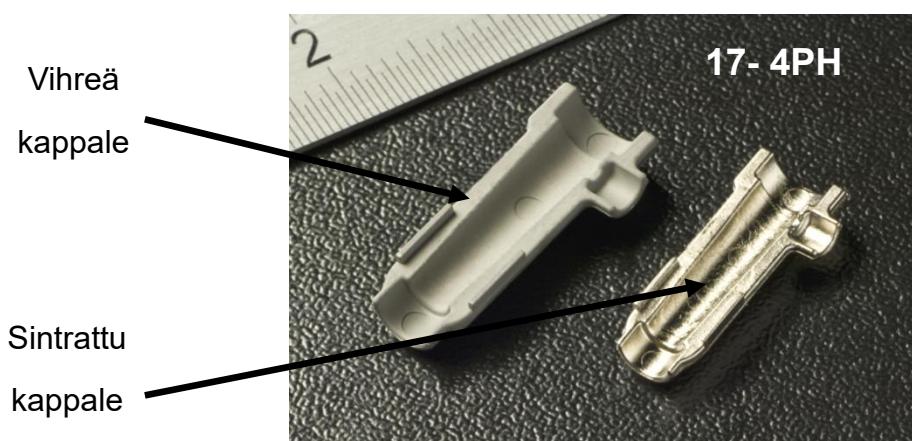


Kuvio 3. Sideaine poistetaan yleensä kahdessa vaiheessa: ensin suurin osa sideaineesta poistetaan esimerkiksi liuottamalla ja loput poistetaan lämmön avulla sintrauksen yhteydessä. [4, 41] (Muokattu 27.2.2017)

Viimeisenä vaiheena on kappaleen sintraus. Sintrauksessa kappale kuumennetaan hitaasti sekundääriseen sideaineen poistuttua 1200–1400 °C:n lämpötilaan ja pidetään tässä lämpötilassa, jolloin kappaleen metallipartikkelit hitsautuvat yhteen. Kuviossa 4 on nähtävillä tilanne sintrauksen alusta, kun metalli partikkelit alkavat hitsautua yhteen. Sintrauksessa kappaleen mitat kutistuvat huomattavasti. Kutistumaan vaikuttavat metallipulverin määrä ja laatu sekä kappaleelle halettu tiheys, johon vaikutetaan sintrausajalla [6, 13]. Sintratun kappaleen lujuus on lähes yhtenäisen kappaleen veroinen.



Kuvio 4. Metallipartikkelit hitsautuvat sintrauksen aikana yhteen. Kuvio esittää tiilannetta sintrauksen alkuvaiheesta. [4, 47]



Kuvio 5. Kappaleen kutistuma on yleensä lineaarisesti 15–25 % [4, 52] (Muokattu 23.2.2017)

Metalliruiskuvalun etuja ovat, että sillä voidaan tehdä monimutkaisia muotoja, joita olisi vaikeaa tai mahdotonta koneistaa, MIM-kappaleilla on lähes puhtaan materiaalin ominaisuudet, laaja valikoima raaka-aineita, hyvä pinnanlaatu, pienten muotojen tarkkuus (mikroMIM) sekä hyvä taloudellinen hyötysuhde. MIM-prosessin erot koneistamiseen, valamiseen ja jauhemetallurgiaan ovat nähtävissä taulukossa 1. Taulukosta nähdään, että MIM:llä on rajoitettu kappaleen koko ja seinämänpaksuus, mutta sillä voidaan valmistaa pienempiä ja ohuempiseinäisiä kappaleita kuin muilla verratuilla valmistusmenetelmillä. Taulukosta nähdään myös, että MIM-kappaleiden ominaisuudet ovat lähes samat kuin koneistetuilla kappaleilla.

Taulukko 1. Metalliruiskuvalu verrattuna muihin valmistusmenetelmiin. [5, 30]

Ominaisuus	MIM	Jauhe- metallurgia	Valu	Koneistaminen
Komponentti koko (g)	0.030–300	0.1–10 000	1 +	0.1 +
Seinämävahvuus (mm)	0.025*–15	2 +	5 +	0.1 +
Prosentuaalinen teoreettinen tiheys (%)	95–100	85–90	94–99	100
Prosentuaalinen teoreettinen lujuus (%)	95–100	75–85	94–97	100
Pinnanlaatu (µm)	0.3–1	2	3	0.4–2
Tuotannon suuruus	2000 +	2000 +	500 +	1 +

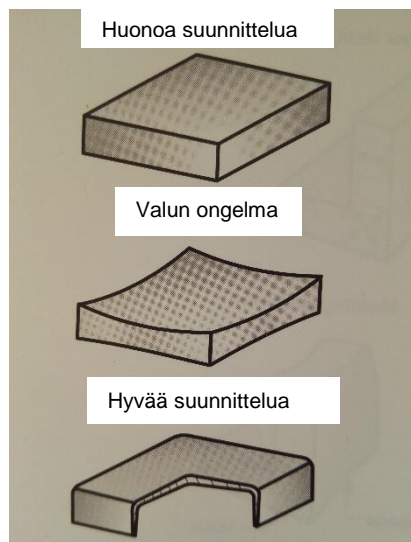
*Näin pienissä muodoissa voi olla vääristymiä.

3 MIM-kappaleen suunnitteluohjeet

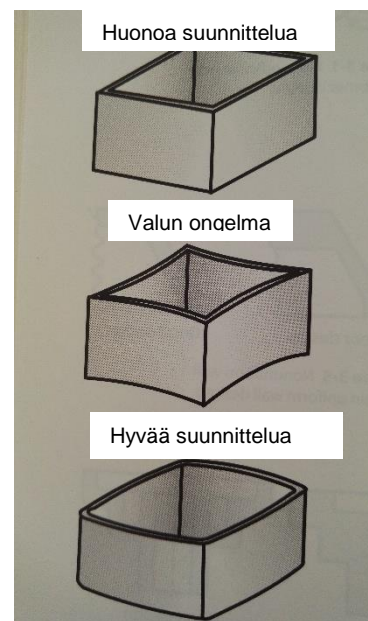
MIM-kappaleiden suunnitteluun pätevät pitkälti samat suunnitteluohjeet kuin perinteisessä ruiskuvalussa. Materiaalin ominaisuudet ja jälkikäsittely tuovat tosin joitain lisärajoitteita.

3.1 Geometria

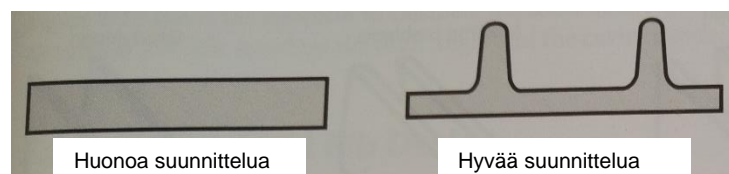
Tuotesuunnittelussa tulee suosia ohuita seinämiä ja pyöreitä muotoja [8, 211–215]. Kulmissa tulisi olla vähintään 0,075 mm:n pyöritykset. [7, 13]. Kuviot 6, 7 ja 8 kuvaavat, kuinka tuotesuunnittelua voi parantaa. Sintrauksen kannalta olisi hyvä, että kappaleessa on ainakin yksi tasainen pinta, mutta tarvittaessa kappaletta voidaan tukea keraamisilla tuella [5, 40–41].



Kuvio 6. Paksuihin kappaleisiin syntyy helposti imuja. [8, 212]

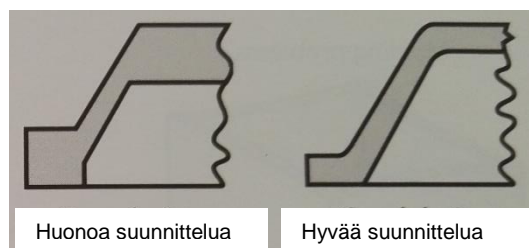


Kuvio 7. Pyöreät muodot säilyttävät paremmin muotonsa. [8, 212]

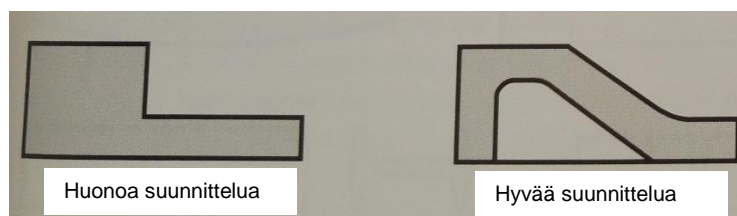


Kuvio 8. Paksu seinämä voidaan korvata rivoituksella. [8, 211]

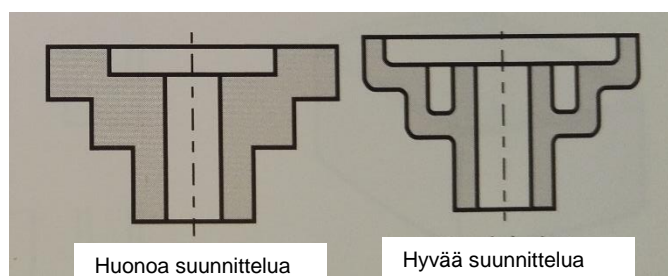
Massakeskittymiä tulisi välttää, jotta kappale jäähtyy tasaisesti ja eikä kappaleeseen tule vääristymiä. Kuvioissa 9–12 on esitetty, kuinka tuotesuunnittelua voi parantaa. Seinämänvahvuuden suositellaan olevan 0,2–10 mm ja kappaleiden massan suositellaan olevan alle 100 g. Suurin suositeltu kappaleen pituus on 100 mm. Sisään sulkeutuvia onteloita tulee välttää. [7, 13].



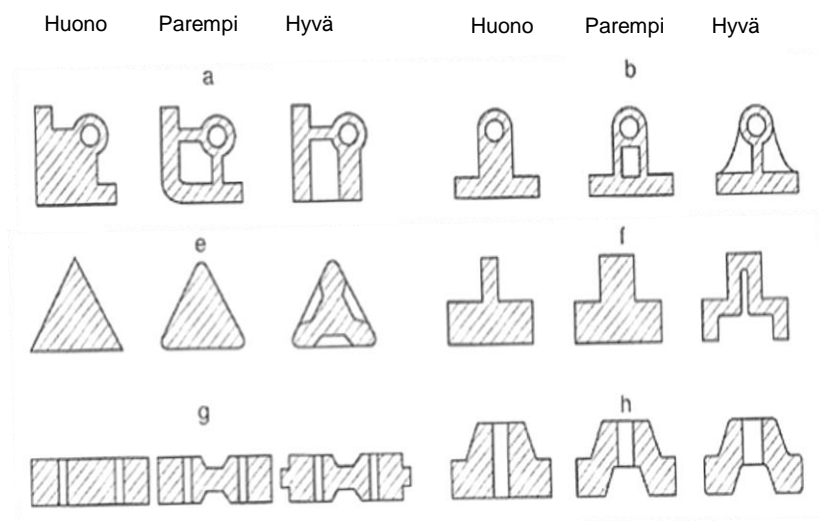
Kuvio 9. Kappaleessa tulisi käyttää tasaista seinämänvahvuutta. [8, 211]



Kuvio 10. Massakeskittymiä tulee välttää. [8, 211]

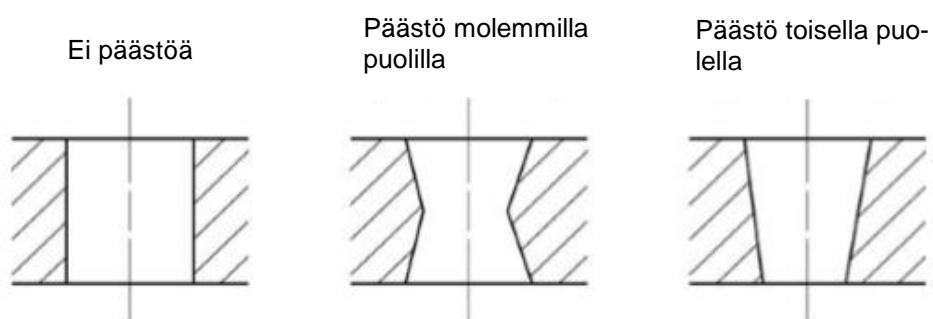


Kuvio 11. Muotojen tehtävät säilyvät, kun kevennykset tehdään oikein. [8, 211]



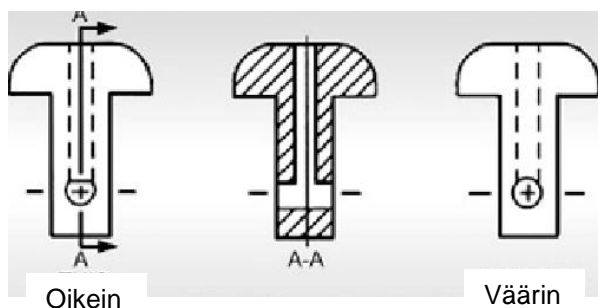
Kuvio 12. Tuotteissa tulee suosia ohuita seinämiä ja pyöreitä muotoja. [2, 44] (Muokattu 11.3.2017)

Kappaleen poistamista muotista helpotetaan päästöllä. Yleensä suositellaan $0.5\text{--}2^\circ$ päästöjä. Pitkissä ja korkeissa kappaleissa ja karkeapintaisissa kappaleissa tulee käyttää suurempia päästöjä. Päästön suunnan vaikutus mittoihin kannattaa tarkistaa. Päästö voi olla joko vain toiselta puolelta tai molemmilta puolilla, kuten kuviossa 13 on esitetty. [5, 41–44].

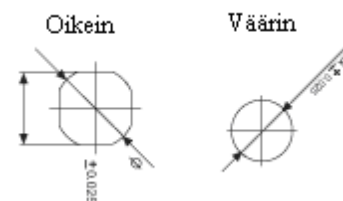


Kuvio 13. Päästön vaikutus mittoihin kannattaa tarkistaa. [4, 43]

Pienin suositeltu reiän halkaisija on 0,1 mm. Reikien mittatarkkuus on parempi, jos reiät suunnitellaan hieman kulmikkaiksi [6, 15]. Jos kappaleessa on kaksi ristteävää reikää, toinen reikä tulee suunnitella D -muotoiseksi, kuten kuviossa 14, jotta keernojen välinen sulkupinta tiivistyy. [7, 13–14].

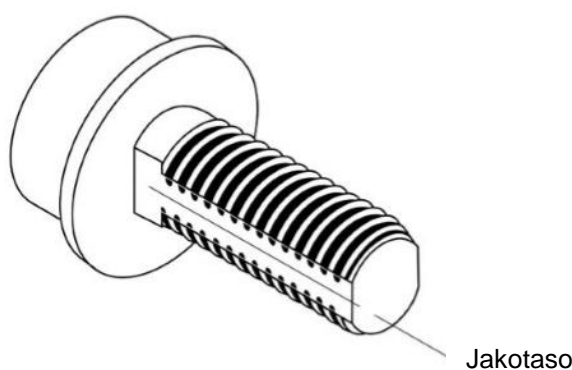


Kuvio 14. Toisen reiän on oltava D-muotoinen [7, 14] (Muokattu 8.3.2017)



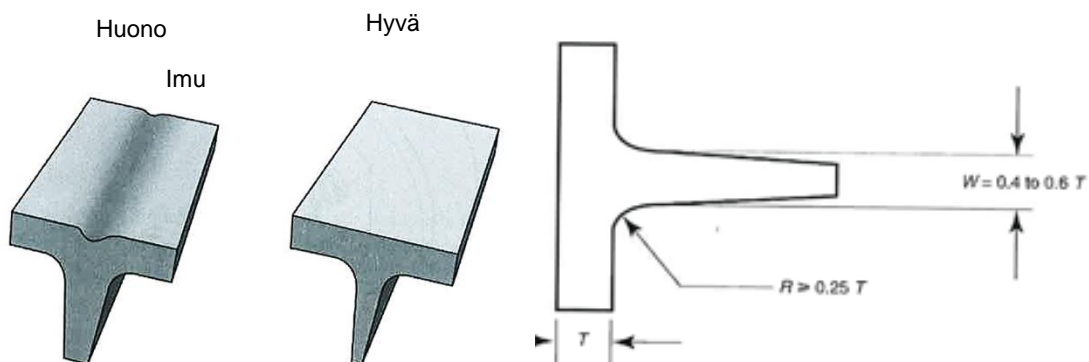
Kuvio 15. Kulmikas reikä pitää mittansa paremmin. [6, 15]

Kappaleissa, joissa on ulkokierre, kierre kannattaa sijoittaa symmetrisesti jakotasolle. Kappaleeseen on suunniteltava kuvion 16 mukaisesti koko kierteen pituudelle tasainen pinta, jotta ruiskuvalusta jäävät purseet eivät haittaa kierteen toimintaa.



Kuvio 16. Kierteen jakotasolle kannattaa suunnitella tasainen pinta, jolloin purseet eivät haittaa kierteen toimintaa. [5, 45]

Kappaletta voidaan tukea tai jäykistää rivoilla. Rivin tulee olla ohuempi kuin seinämä, jotta kappaleeseen ei tule imuja.



Kuvio 17. Rivin on oltava ohuempi kuin seinämä. Muuten kappaleeseen voi tulla imuja. [4, 53] (Muokattu 11.3.2017)

3.2 Mittaominaisuudet

Metalliruiskuvalu on hyvin toistettava prosessi, sillä sen mittojen vaihtelu on vain 0,2–0,5 %. Kappaleen mitoituksessa on otettava huomioon, että mitat kutistuvat noin 1 % valun jälkeen ja noin 15–25 % sintrauksessa. [5, 35.] Mittatoleranssit ovat suhteellisen pieniä.

Taulukko 2. Tyypilliset pituuden toleranssit. [7, 16] (Muokattu 11.3.2017)

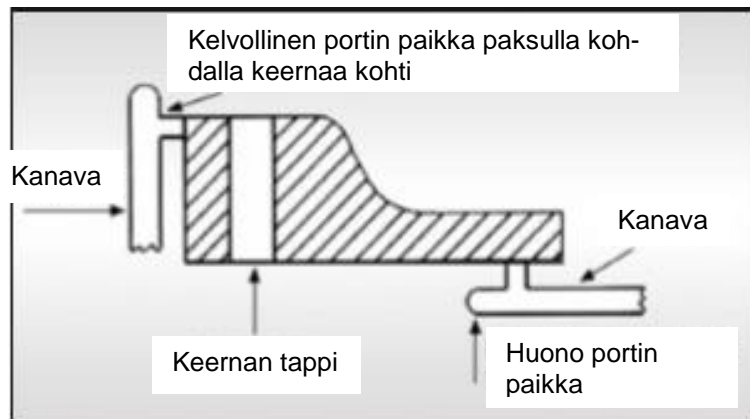
Nimellisarvo	Toleranssialue
[mm]	[±mm]
<3	± 0.05
3 - 6	± 0.06
6 - 15	± 0.075
15 - 30	± 0.15
30 - 60	± 0.25
>60	± 0.5% Nimellisarvosta

3.3 Pinnanlaatu

Yleinen saavutettavissa oleva pinnankarheus on 0,8 μm , mutta 0,3–0,5 μm ovat mahdollisia. Saavutettavaan pinnanlaatuun vaikuttavat käytettävän pulverin partikkelikoko ja laatu, sintrausolosuhteet ja jälkikäsitteily. [5, 35.] Ruiskuvalussa ja vihreän tai ruskean kappaleen käsittelystä tulleet pintavirheet näkyvät myös sintratussa kappaleessa.

3.4 Portti

Kappaleen ja erityisesti muotin suunnittelussa on huomioitava, että portti, rajapinta ja ulostyöntäjät jättävät kappaleeseen jäljet. Ruiskutusportti on valun onnistumisen kannalta merkittävä tekijä. Portin koko, suunta ja sijainti määrittävät sulan virtaussuunnan, juoksumatkan, mahdolliset yhtymäsaumat, jälkipainevaikutukset eli kutistumat ja jäännösjännitykset, ja kuumimman kohdan. Portti kannattaakin sijoittaa koneistettavaan tai ei näkyvään paikkaan. Portin suunta valitaan yleensä siten, että sulasuihku ohjautuu esteeseen, kuten keernaan tai seinämään. Näin estetään jetting-ilmiötä. Portin koko vaikuttaa jälkipainevaikutuksiin ja sulan leikkausnopeuksiin. Portin koon kasvattaminen parantaa muotin täytymistä ja jälkipainevaikutuksia mutta samalla visuaalinen virhe kasvaa ja valukanaviston irrotus vaikeutuu. Portin koon pienentäminen puolestaan johtaa sulan leikkausnopeuksien kasvuun, mikä voi aiheuttaa sulamurtumia tai sideaineen termistä hajoamista. Muotopysyvyyttä vaativissa tilanteissa on suositeltavaa käyttää useampaa porttia. [5, 38.]



Kuvio 18. Portti tulee sijoittaa lähelle kappaleen paksuinta kohtaa siten, että sulasihku törmää heti esteeseen, kuten keernaan tai seinämään. [7, 15] (Muokattu 13.3.2017)

3.5 Materiaalivalinta

Metalliruiskuvalussa käytettävien materiaalien valikoima on suuri. Tuotteen materiaali on valittava käyttökohteen mukaan. Taulukossa 3 on kuvattu joidenkin materiaalien yleisiä käyttökohteita, ominaisuuksia ja seoksia.

Taulukko 3. Yleisesti käytettyjä materiaaleja ja niiden ominaisuuksia. [5, 32]
(Muokattu 21.3.2017)

Materiaali ryhmä	Käyttökohteet	Seos	Erytisominaisuudet
Ruostumattomat teräkset	Lääke- ja elektroniikka-teollisuus, laitteet, urheiluvälineet, ilmailu, kulutustavarat	17-4PH 316L 420, 440C 310	Lujuus, lämpökäsiteltävä Korroosion kesto, sitkeys, ei magneettinen Kovuus, kulumisen kesto, lämpökäsiteltävä Korroosion ja lämmön kesto
Seostamattomat teräkset	Laitteet, laakerit, laakerin kehät, kulutustavarat, koneenosat	1000 sarjat 4000 sarjat 52100	Pintakarkaistava Yleiskäytettävä Korkea kulumisen kesto
Työkalu teräkset	Puun ja metallin työstö	M2/M4 T15 M42 S7	61–66 HRC 63–68 HRC 65–70 HRC 55–60 HRC
Titaanit	Lääketeollisuus, ilmailu, kulutustavarat	Ti	Kevyt
Kuparit	Elektroniikka, lämmönseuranta	Ti-6Al-4V Cu W-Cu, Mo-Cu	Kevyt, korkea lujuus Korkea lämmön ja sähkön johtavuus Korkea lämmön johtavuus, alhainen
Magneettiset	Elektroniikka, venttiilit, magneetin sydämet, releet	Fe-3%Si Fe-50%Ni Fe-50%Co	Alhainen sydänhäviö ja korkea sähköinen ominaisvastus Korkea läpäisevyys ja pieni voimakenttä Suurin magneettinen kyllästys
Volframit	Sotateollisuus, elektroniikka, urheiluvälineet	W W raskas metalli	Tiheys Tiheys ja sitkeys
Kovametallit	Työstäminen ja kuluttavat sovellukset	WC-5Co WC-10Co	Korkeampi kovuus Korkeampi sitkeys
Keraamit	Kuluttavat sovellukset, suuttimet, holkit	Alumina Zirkonia	Yleiskäyttöinen Korkea kulumisen kesto

4 Porttiratkaisuiden testaus

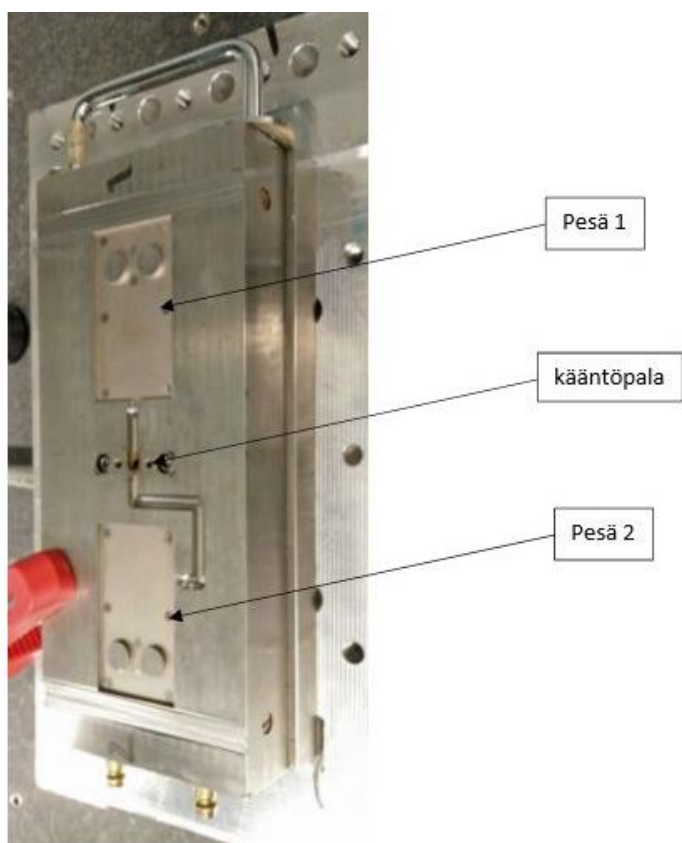
Ennen testimuotin valmistusta oli tarkoitus testata erilaisia porttiratkaisuita. Suunnitelmana oli ajaa eri portti vaihtoehdoilla täyttymissarjat, joiden perusteella valitaan testimuotissa käytettävä portti.

4.1 Porttitestauksessa käytettävän muotin esittely

Porttiratkaisuiden testaukseen käytettiin Karelia-ammattikorkeakoulun kasettimuottia, johon tuotekasettia vaihtamalla voitiin vaihtaa tuotetta. Kasettimuotissa oli yleispätevä ulostyöntöpaketti, joka liikutti tuotekasetin omaa tuotekohtaista ulostyöntöä. Opinnäytetyössä käytettävässä tuotekasetissa oli kaksi lähes identtistä pesää, joista vain toista käytettiin tässä opinnäytetyössä. Tuotteena oli kaksi millimetriä paksu suorakulmion muotoinen kappale, jossa oli kaksi reikää toisessa päässä. Kasetin keskellä olevalla kääntöpalalla voitiin valita, kumpaa pesää käytettiin. Pesät oli mitattu Wenzel-koordinaattimittakoneella ja muottipesien pesäkohtaiset mitat ja geometrisyydet on esitetty taulukossa 4. Mitattuja asioita olivat: pesän syvyys (p_t), pesän pituus (p_lx), pesän leveys (p_ly), tuotteen reikäväli pesässä (p_rv), reikien halkaisijat pesässä (p_d1 ja p_d2), pesän tasomaisuus (p_taso) ja reikien ympyrämäisyys (p_d1ymp ja p_d2ymp) [9, 23]. Liitteessä 1 on mittaraportti, jossa on merkittynä kohdat, mistä mittaukset oli tehty. Pesissä oli päästöt, mutta niiden suuruutta ei ollut saatu tarkasti määritettyä. Kanavan poikkileikkaus oli puoli ympyrä, jonka halkaisija oli 6 mm ja poikkipinta-ala 14,1 mm², ja portin poikkileikkaus oli suorakulmio, jonka pinta-ala oli 6 mm². Kuviossa 19 on tuotekasetin pesien numerointi ja kuviossa 20 on havainnollistettu CAD-mallin avulla tuotekasetti.

Taulukko 4. Tuotekasetin pesien mittoja ja geometrisyyksiä. Mittauskohdat ja lyhenteet löytyvät liitteestä 1. [9, 26]

Muotti pesien mitat (mm), mittaussyvyys 1,01 (mm)									
	p_t	p_lx	p_ly	p_rv	p_d1	p_d2	p_taso	p_d1ymp	p_d2ymp
pesä 1:	2,016	69,975	39,974	17,998	11,903	11,903	0,006	0,006	0,017
pesä 2:	2,015	69,977	39,976	18,000	11,904	11,899	0,007	0,016	0,012

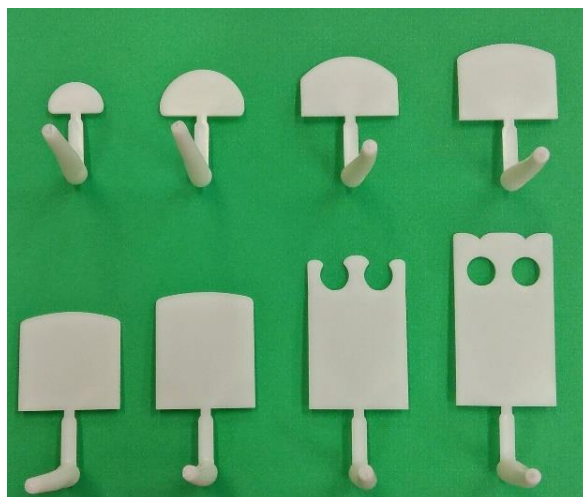


Kuvio 19. Kasettimuotissa käytettävän tuotekasetin liikkuvan puolen tuotekasetissa oli kaksi lähes identtistä pesää. Kuvassa ylempi pesä on pesä 1 ja alempi pesä 2. Opinnäytetyössä käytettiin pesää 1. [9, 23]



Kuvio 20. CAD-malli kasettimuotin tuotekaseteista.

Kasettimuotilla oli aiemmin tehty täyttymissarja polystyreenille ja PolyMIM 316L:lle. Kuviossa 21 on esitetty täyttymissarja polystyreenille. Polystyreenillä sula muovi virtaa portista tasaisena rintamana lopulta täyttäen kappaleen kokonaan. Ruiskutusparametrit löytyvät taulukosta 5.



Kuvio 21. Kasettimuotilla oli aiemmin tehty täyttymissarja polystyreenille. [9, 30]

Kuviossa 22 on esitetty samalla muotilla ja kanavistolla ruiskuvalettu täyttymissarja PolyMIM 316L:lle. Ruiskutusparametrit ovat näkyvillä taulukossa 5. Kuviossa nähdään, että valussa ilmeni voimakas jetting-ilmiö. Sula ryntää ensin matona pesän peräseinään, minkä jälkeen sula muodostaa pussin, jota vasten alkaa muodostua tasaista sularintamaa. Lähdemateriaalissa on käsitelty parametrien vaikutusta valettavuuteen ja päädytty tulokseen, että jettingille ei käytetyllä portilla voida mitään. Näiden tulosten pohjalta päätettiin tässä opinnäytetyössä testata erilaisia porttiratkaisuita, jotka esitellään seuraavassa luvussa.



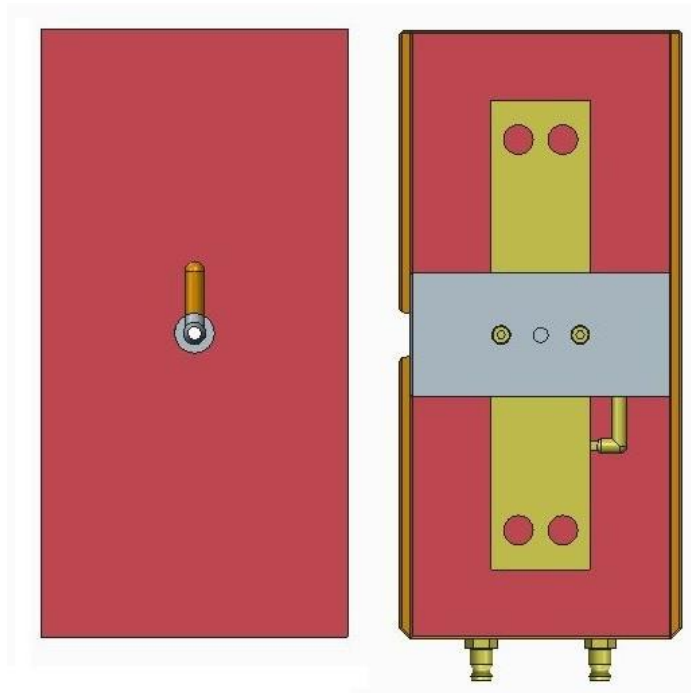
Kuvio 22. Kasettimuotilla oli aiemmin tehty täyttymissarja 316L:llä [9, 31]

Taulukko 5. Polystyreenille ja PolyMIM 316L:lle käytetyt ruiskuvaluparametrit. Ruiskuvalussa käytettiin Engel c100-ruiskuvalukonetta, jonka ruuvin halkaisija oli 30 mm. [9, 27]

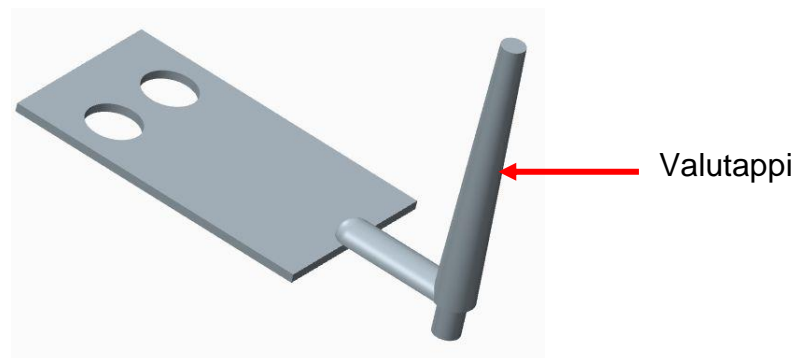
RA = raaka-aine SL = sylinterin lämpötila, v1 = vyöhyke 1, v2 = vyöhyke 2, v3 = vyöhyke 3, v4 = vyöhyke 4, s = suutin ML = muotin lämpötila RN = ruiskutusnopeus AN = annostusnopeus VP = vastapaine					
RA	SL s, v4, v3, v2, v1 (°C)	ML (°C)	RN	AN (m/min)	VP (bar)
Polystyreeni	220, 210, 180, 160	50	42 (cm ³ /s) = 60 (mm/s)	15	3
PolyMIM 316L	185, 183, 180, 175	60	20 (cm ³ /s) = 28 (mm/s)	13	30

4.2 Testattavat portit

Ensimmäisenä päätettiin testata ratkaisua, jossa kanavisto ja portti olivat muotin kiinteällä puolella. Kuviossa 23 on CAD-mallit käytetyistä tuotekaseteista. Kuviossa vasemmalla puolella on kiinteän puolen kasetti ja oikealla liikkuvan puolen kasetti. Alkuperäiseen liikkuvan puolen kasettiin jrsittiin tasku vanhojen kanavien tilalle. Taskuun tehtiin paikkapala, jonka kiinnitykseen käytettiin edellisen kanaviston kääntöpalan kiinnitysreikiä. Kiinteälle puolelle tehtiin uusi kasetti ja suutin, joihin tehtiin uusi kanava. Kanava oli poikkileikkaukseltaan kahdeksan millimetriä ja se meni neljä millimetriä kappaleen päälle. Liikkuvan puolen kasettiin vaihdettiin valutapin ulostyöntöön lohenpyrstöllinen ulostyöntötappi. Kuviossa 24 on esitetty CAD-malli valetusta tuotteesta.



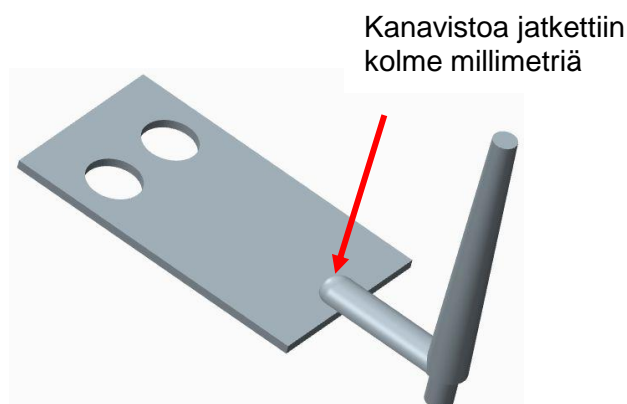
Kuvio 23. Kanavisto ja portti olivat ensimmäisessä koeajossa kiinteällä puolella. Vasemmalla puolella on kiinteän puolen kasetti ja oikealla liikkuvan puolen kasetti.



Kuvio 24. CAD-malli valetusta tuotteesta, jossa kanavisto oli kiinteällä puolella. Suutin oli koeajoissa sisähalkaisijaltaan pienempi kuin mallinnetussa muotissa, joten valutappi oli todellisuudessa pienempi.

Seuraavaksi testattiin ratkaisua, jossa edellistä kiinteän puolen kanavistoa jatkettiin kolmella millimetrillä tuotteen päälle. Lisäksi suutinta avarrettiin 30 mm mat-

kalta pesänpuolelta ja liikkuvan puolen kasettiin vaihdettiin valutapin ulostyöntöön lyhemmällä lohenpyrstöllä oleva ulostyöntötappi. Kuviossa 25 on esitetty CAD-malli valetusta tuotteesta.

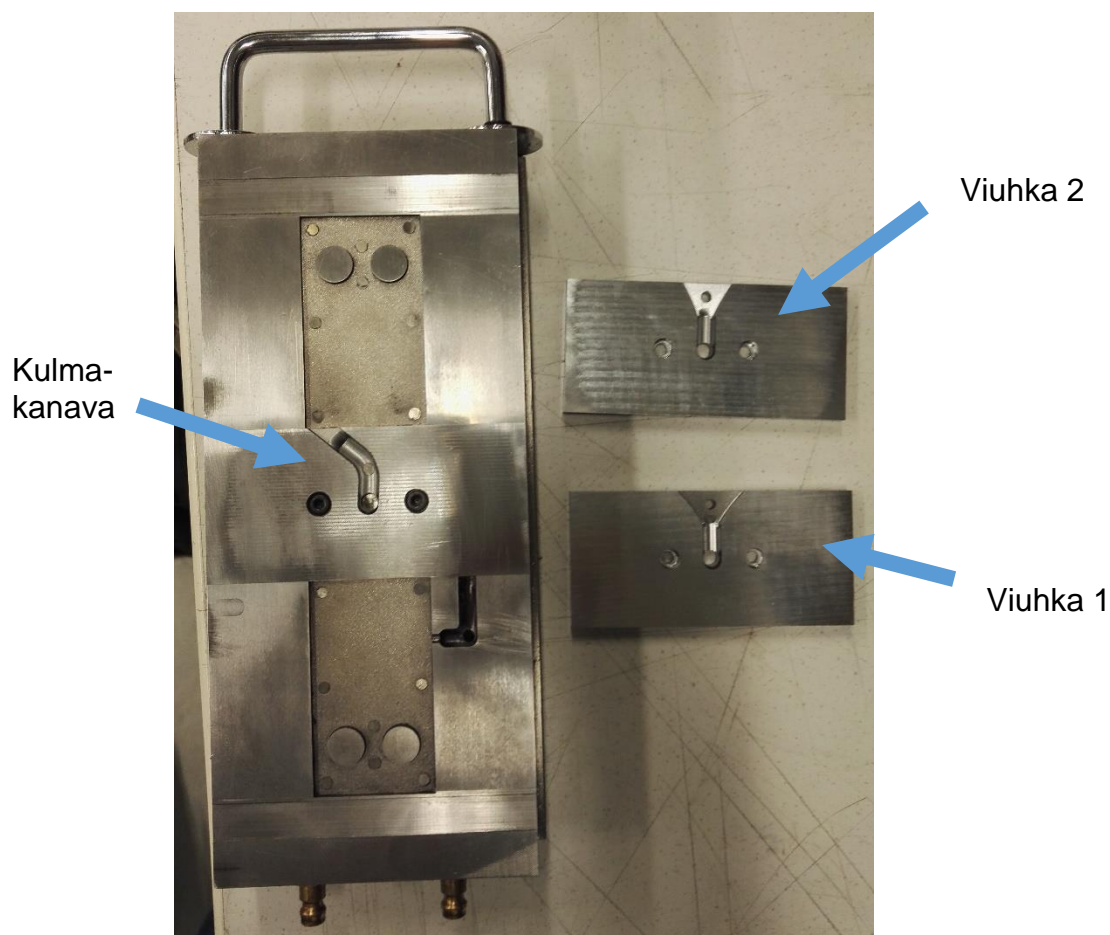


Kuvio 25. CAD-malli valetusta tuotteesta, jossa kanavisto oli kiinteällä puolella samalla tavalla kuin kuvion 24 tilanteessa mutta kanavisto on kolme millimetriä pidempi.

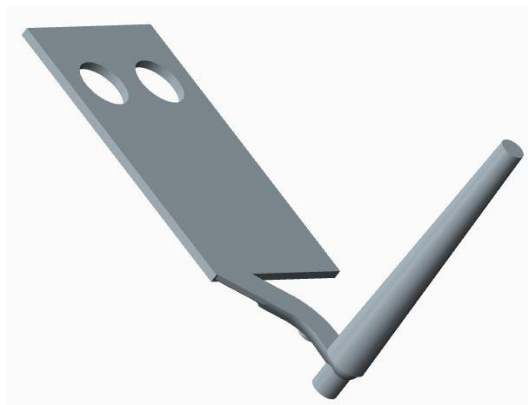
Kiinteän puolen kanaviston lisäksi päätettiin testata erilaisia liikkuvalla puolelle tulevia kanavia. Kanavisto ja portti tehtiin liikkuvan puolen kasettiin ja kiinteälle puolelle vaihdettiin alkuperäinen sileä kasetti ja suutin. Kanavistot tehtiin omille paikkapaloille, jotka pystyttiin vaihtamaan liikkuvan puolen kasetin paikkapalan tilalle. Valutapin ulostyöntöön vaihdettiin lohenpyrstön kanssa ilmenneiden ongelmien vuoksi tasapäinen ulostyöntötappi. Testattavia kanavia ja portteja olivat kulmakanava ja kaksi erilaista viuhkaporttia. Kanavisto oli kaikissa poikkileikkaukseltaan puoliympyrä, jonka halkaisija oli seitsemän millimetriä, jolloin sen poikkileikkauksen pinta-ala oli $19,2 \text{ mm}^2$.

Kulmaportissa sula ruiskutettiin vinosti pesän nurkkaan. Portin poikkipinta-ala oli $10,9 \text{ mm}^2$. Toisessa viuhkassa portin suun poikkipinta-ala oli $27,2 \text{ mm}^2$ eli se oli suurempi kuin kanavan poikkipinta-ala. Tällä oli tarkoitus selvittää, miten MIM-materiaali käyttäytyy, jos sulavirtaus hidastuu portissa. Toisessa viuhkassa portin poikkipinta-ala oli yhtä suuri kuin kanaviston poikkipinta-ala. Tällä oli tarkoitus

selvittää, miten MIM-materiaali käyttäytyy, jos sulavirtauksen nopeus säilyy samana kanavassa ja portissa. Näissä porttiratkaisuissa portin ja pesän välille tuli kynnyks, jonka oli tarkoitus helpottaa valukanaviston poistamista valun jälkeen. Kanavat ja portit ovat nähtävillä kuviossa 26 ja kuvioissa 27–29 on CAD-mallit valetuista tuotteista.



Kuvio 26. Muita testattavia kanavia olivat kulmakanava ja kaksi erilaista viuhkaporattia. Viuhka 1:ssä portin poikkipinta-ala oli suurempi kuin kanavan poikkipinta-ala ja viuhka 2:ssä portin poikkipinta-ala oli yhtä suuri kuin kanavan poikkipinta-ala.



Kuvio 27. CAD-malli valetusta tuotteesta, jossa portti tuli nurkkaan.



Kuvio 28. CAD-malli valetusta tuotteesta, jossa portin poikkipinta-ala oli suurempi kuin kanavan poikkipinta-ala.



Kuvio 29. CAD-malli valetusta tuotteesta, jossa kanavan poikkipinta-ala oli yhtä suuri kuin portin suun poikkipinta-ala.

4.3 Testattavien porttien täyttymissarjat

Edellisessä luvussa esitellyille kanaville ja porteille ruiskuvalettiin täyttymissarjat. Ruiskuvaluun käytettiin Karelia-ammattikorkeakoulun KraussMaffei KM80-160/55CZ Multinjection -ruiskuvalukonetta, jonka ruuvin halkaisija oli 25 mm. Täyttymissarjat ajettiin ilman jälkipainetta ja jäähdytysaika oli viisi sekuntia. Taulukossa 6 on esitetty testattavien kanavien ruiskuvalussa käytetyt parametrit. Täyttymissarjat ajettiin neutraalisella PolyMIM 316L-materiaalilla, jonka teknisen tiedot ovat liitteessä 2. Täyttymissarjassa 1 haettiin annoskoko, jolla pesä alkoi täytyä. Tämän annoskoon löydyttyä lähdettiin annoskoko kasvatamaan 1 mm kerrallaan. Täyttymissarjoissa 2–5 haettiin annoskoko, jolla pesä alkoi täytyä ja tämän annoskoon löydyttyä lähdettiin annoskoko kasvatamaan 2 mm kerrallaan. Annoskoon muuttamisen jälkeen ajettiin yksi ylimääräinen kappale, joka poistettiin, jotta annostus tapahtui koneen ohjauksen annostelemana eikä käsiajolla otetulla annoksella. Kappaleet kerättiin talteen dokumentointia varten.

Taulukko 6. Testattavien porttien ruiskuvaluparametrit.

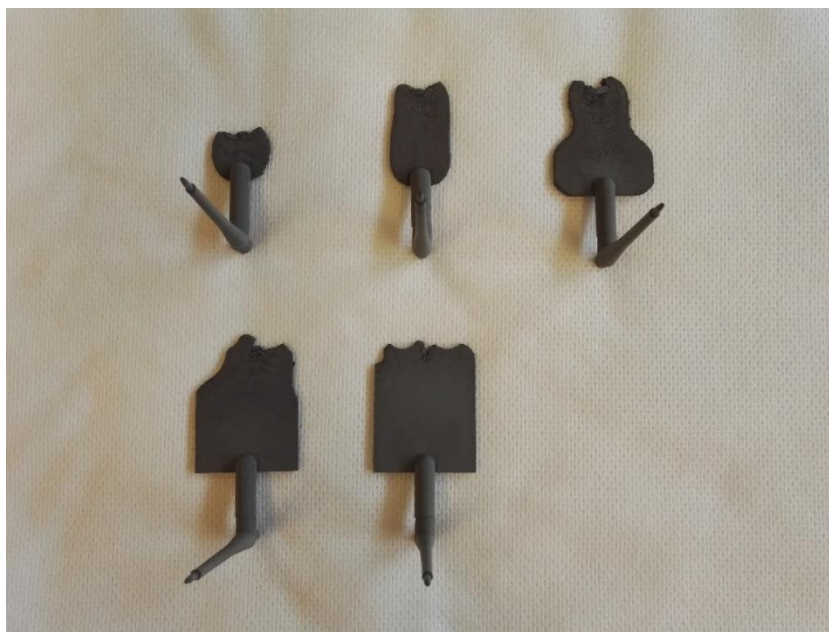
RA = raaka-aine SL = sylinterin lämpötila, v1 = vyöhyke 1, v2 = vyöhyke 2, v3 = vyöhyke 3, v4 = vyöhyke 4, s = suutin ML = muotin lämpötila RN = ruiskutusnopeus AN = annostusnopeus VP = vastapaine						
	RA	SL s, v4, v3, v2, v1 (°C)	ML (°C)	RN	AN (m/min)	VP (bar)
Sarja 1	PolyMIM 316L	185, 183, 180, 175, 170		50 5 (mm/s) = 2,5 (cm ³ /s)		20 2
Sarja 2	PolyMIM 316L	185, 183, 180, 175, 170		50 5 (mm/s) = 2,5 (cm ³ /s)		20 2
Sarja 3	PolyMIM 316L	185, 183, 180, 175, 170		50 6 (mm/s) = 2,9 (cm ³ /s)		20 2
Sarja 4	PolyMIM 316L	185, 183, 180, 175, 170		50 ja 60 6 (mm/s) = 2,9 (cm ³ /s) ja 8 (mm/s) = 3,9 (cm ³ /s)		20 2
Sarja 5	PolyMIM 316L	185, 183, 180, 175, 170		55 8 (mm/s) = 3,9 (cm ³ /s)		20 2

Kuviossa 30 on täyttymissarjan 1 kappaleita. Ruiskutusnopeutena käytettiin 5 mm/s ja muottilämpötilana 50 °C. Portti ja kanavisto olivat muotin kiinteällä puolella ja portti meni neljä millimetriä tuotteen päälle. Muovisula lähti ensin etenevään matona kohti pesän peräseinää, törmäsi reikien keernoihin ja alkoi vastasitten edetä tasaisena rintamana. Tuotekasetin ulostyöntötapin lohenpyrstön muoto oli tuotekasetin ulostyöntömatkaan nähden liian pitkä, jolloin se ei tullut ulostyönnettäessä kokonaan ulos. Tämän seurauksena muotoon jäi ensimmäisen ajon jälkeen materiaalia ja kappaleet jäivät jatkossa kiinteälle puolelle. Ongelmia tuli myös suuttimen kanssa. Suuttimen pienin halkaisija oli vain kolme millimetriä ja siinä oli yhden asteen päästö. Valutapit jäivät tiukasta kiinni suuttimeen ja sarja jäi kesken, kun suutin tukkeutui. Saadusta sarjasta oli nähtävissä täyttymisen vaiheet. Jälkikäteen ajateltuna suurempi muottilämpötila ja ruiskutusnopeus olisivat voineet parantaa tilannetta.



Kuvio 30. Täyttymissarja 1. Valukanavisto ja portti olivat kiinteällä puolella, jolloin sulavirtauma tuli pesän tasoon nähden kohtisuoraan.

Kuviossa 31 on täyttymissarjan 2 kappaleita. Ruiskutusnopeutena käytettiin 5 mm/s ja muottilämpötilana 50 °C. Portti ja kanavisto olivat muotin kiinteällä puolella samalla tavalla kuin sarjassa yksi mutta kanavisto oli kolme millimetriä pidempi. Sulavirtauma lähti tässäkin tapauksessa etenemään nauhana kohti pesän peräseinää ja saavutettuaan reikien keernat se alkoi levitä tasaisena rintamana. Lyhennetyn lohenpyrstön muoto oli tässä tapauksessa liian lyhyt ja kappaleen valutappi murtui muotin avautuessa, jolloin kappaleet jäivät kiinteälle puolelle. Suuttimen kanssa oli sama ongelma kuin täyttymissarjassa 1 suuttimen avarruksesta huolimatta. Täyttymissarja jäi taas kesken suuttimen tukkeutuessa. Sarjasta oli kuitenkin nähtävissä täyttymisen vaiheet.



Kuvio 31. Täyttymissarja 2. Kanavisto ja portti olivat kiinteällä puolella samalla tavalla kuin täyttymissarjassa 1, mutta kanavisto oli 3 mm pidempi.

Kuviossa 32 on täyttymissarjan 3 kappaleita. Ruiskutusnopeutena käytettiin 6 mm/s ja muottilämpötilana 50 °C. Suuremmalla ruiskutusnopeudella alennettiin ruiskutuspainetta. Kanavisto ohjasi sulavirtauman pesän nurkkaan, missä se törmäsi sivuseinään. Tässä tilanteessa ilmeni selvä jetting-ilmiö. Sula eteni matona muottipesän reunoja pitkin ja kiersi täyden kierroksen reikien keernojen alapuolella, minkä jälkeen sula muodosti laajenevan pussin portin lähelle. Suurempi suutin ja ruiskutusnopeus paransivat valettavuutta.



Kuvio 32. Täyttymissarja 3. Kanavisto ohjasi sulavirtauman pesän nurkkaan, missä se törmäsi sivuseinään ja lähti etenemään matona pesän reunoja myöten.

Kuviossa 33 on täyttymissarjan 4 kappaleita. Täyttymissarjassa käytetyn viuhkaportin portin suun poikkipinta-ala oli suurempi kuin kanavan poikkipinta-ala. Ruiskutusnopeutena käytettiin ensin 6 mm/s ja muottilämpötilana 50 °C. Pesän täytyttyä reikiin asti ruiskutusaine saavutti ruiskuvalukoneen painerajan, joten ruiskutusnopeus nostettiin arvoon 8 mm/s ja muottilämpötila nostettiin 60 °C:seen. Ruiskutusaineet laskivat tällöin huomattavasti. Sulavirtauma levisi portissa koko portin levyiseksi ja lähti etenemään aaltoilevana nauhana kohti pesän peräseinää. Törmättyään reikiin sularintama alkoi täyttää pesää tasaisena rintamana.



Kuvio 33. Täyttymissarja 4. Portin poikkipinta-ala oli suurempi kuin kanavan poikkipinta-ala.

Kuviossa 34 on täyttymissarjan 5 kappaleita. Täyttymissarjassa käytetyn viuhkaportin portin poikkipinta-ala oli yhtä suuri kuin kanavan poikkipinta-ala. Ruiskutusnopeutena käytettiin edellisen täyttymissarjan mukaisesti 8 mm/s ja muottilämpötilana 50 °C, sillä 60 °C muottilämpötilalla ruiskuvalussa syntynyt nauha taittui muotin avautuessa. Sulavirtauma levisi portissa koko portin levyiseksi ja lähti etenemään aaltoilevana nauhana kohti pesän peräseinää. Törmättyään reikiin sularintama alkoi täyttää pesää tasaisena rintamana.

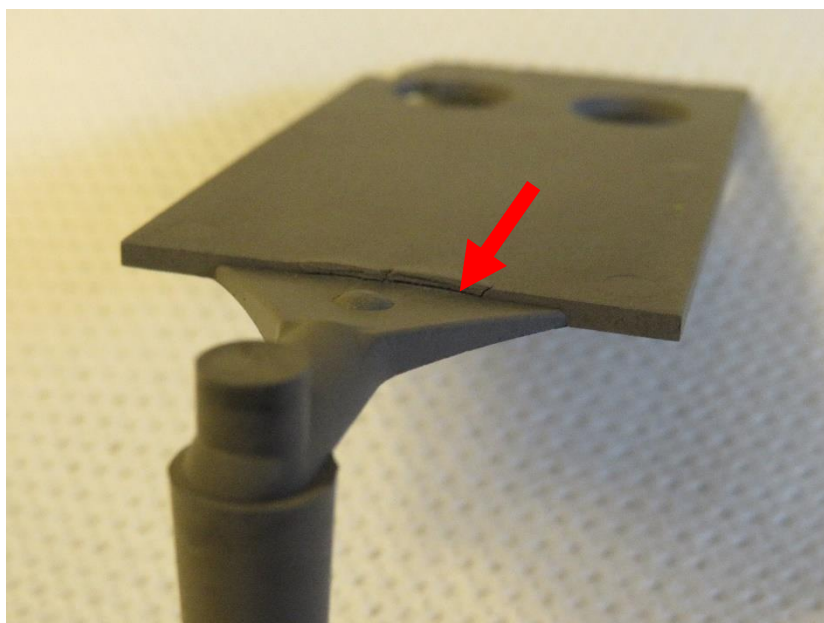


Kuvio 34. Täyttymissarja 5. Portin poikkipinta-ala oli yhtä suuri kuin kanaviston poikkipinta-ala.

4.4 Johtopäätökset porttitestauksesta

Porttitestauksien tuloksissa oli nähtävissä, että materiaali oli hyvin herkkä jetting-ilmille. Kaikissa testatuissa porttiratkaisuissa oli havaittavissa, että sularintama eteni ensin nauhana, kunnes törmäsi reikien keurnoihin tai kiersi kierroksen pesän seinämiä myöten ja lähti vasta sitten täyttämään pesää tasaisesti. Tasaisimmin pesä täyttyi täyttymissarjan 2 portilla. Kappaleet olivat myös ulkonäöllisesti

parempia tasaisemman täyttämisen vuoksi, sillä muiden täyttymissarjojen kappaleissa jetting-ilmiö näkyi tuotteen pinnalla. Kiinteälle puolelle tuleva tasoon nähdessä kohtisuorassa oleva portti olisi tosin vaikea poistaa lopputuotteesta ilman, että siihen jää selvä jälki. Kaikissa paitsi täyttymissarjan 3 tilanteessa täytyminen eteni kuitenkin paremmin kuin tuotekasetin alkuperäisellä kanavistolla. Viuhka-porteissa oli huomioitavaa, että portin lähelle syntyi lähes täysissä ja täysissä kappaleissa murtumia. Näitä murtumia on nähtävissä kuviossa 35. Tämä johtui ilmeisesti pesän ja portin liian suuresta kynnyksestä. Pesä ei täyttynyt portin läheltä koko pesän paksuudelta ennen kuin pesä oli lähes täynnä, jolloin paine työnsi materiaalin portin lähellä pesän pohjaa vasten. Materiaali oli ehtinyt tähän mennessä jo jähmettyä, jolloin se lohkesi. Tämä olisi todennäköisesti vältettävissä, jos portin ja pesän välinen kynnyks olisi pienempi.



Kuvio 35. Portin lähelle syntyi murtumia liian korkean kynnyksen vuoksi.

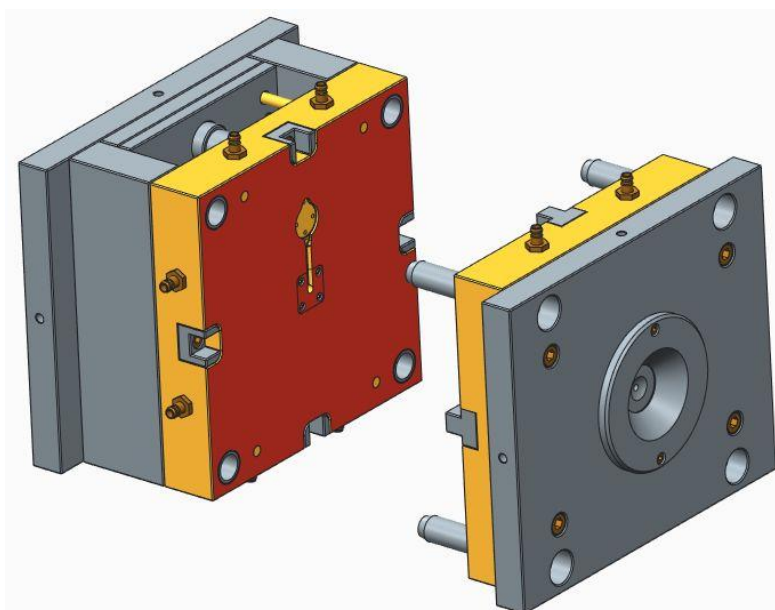
5 Testimuotin suunnittelu, valmistus ja koeajot

5.1 Suunnittelu ja valmistus

Testimuotin muotin suunnittelun lähtökohtana oli, että siinä oli oltava tilaa neljälle pesälle, joista kahden koko olisi noin 60 mmx60 mm ja yhteen tulisi euron kolikon kokoinen tuote. Ruiskuvalettava pesä valittaisiin kiinteälle puolelle tulevalla kääntöpalalla, johon koneistettaisiin kanavan muoto. Muotin tuli olla valettavissa eri asennoissa siten, että pesään syöttö tulisi aina alhaalta ylöspäin. Muotti tulisi testikäyttöön, jolloin sillä ajettaisiin vain pieniä sarjoja. Muotin tuli olla kaksi levyinen ja toiveena oli, ettei kiinteälle puolelle tehdä muotoja.

Muotin mallintamiseen käytettiin Creo Parametric 2.0 3D suunnitteluohjelmaa. Mallinnus tapahtui Meusburgerin muottilevyjen ja komponenttien mukaan ja muotin osat tilattiin myös sieltä. Kuviossa 36 on CAD-malli testimuotista. Muotti koostui kiinnityslevystä, kahdesta muottilevystä, tukipaloista, taaemmasta kiinnityslevystä ja ulostyöntölevyistä. Muottilevyjen materiaaliksi valittiin kulumisen keston vuoksi nuorrutusteräs ja muut levyt olivat rakenneterästä. Muotin sulkeutumisen ohjaukseen valittiin neljä saman kokoista ohjaustappia ja niille ohjausholkit. Tukipalat paikoitettiin takalevyyn ohjaustapeilla. Ulostyöntöpakettin ohjaukseen suunniteltiin symmetrisesti kaksi ohjaustankoa ja niille ohjausholkit. Ohjaustangot ylsivät taaemmasta kiinnityslevystä liikkuvan puolen takapintaan, jolloin ne eivät rajoittaisi ulostyöntöä. Suuttimeksi valittiin muottilevyn paksuuden mukaan suurin saatavissa oleva standardi suutin. Valutapin ulostyöntötappiin suunniteltiin lohenpyrstö, jonka avulla tuote ja valukanavisto jäisivät liikkuvalla puolelle muotin avautuessa. Muotin käsittelyn helpottamiseksi muotin jokaiselle sivulle tuli reiät nostotangon pulteille. Reiät tulivat molemmille kiinnityslevyille, jolloin nostotanko lukitsisi muottipuoliskot toisiinsa.

Jäähdytyksen vesikierrolla ei ollut erityisiä vaatimuksia, sillä muotilla ei ollut tarkoitus ajaa suuria sarjoja. Kiinteälle ja liikkuvalle puolelle tuli erilaiset vesikierrat. Liikkuvan puolen vesikierto sijoitettiin laajalle alueelle kiertämään muottipesät. Vesikierron reiät muodostivat ristikuvio ja jokaiseen reikään tuli nippa. Kiinteän puolen vesikierto toteutettiin kahdella saman suuntaisella eri puolille suutinta tulevalla läpi reiällä, joiden päihin tuli nipat. Nipat liitettäisiin valettaessa toisiinsa letkuilla, liikkuva puoli omaksi piirikseen ja kiinteä puoli omaksi piirikseen. Tällä tavoin temperointilaitteelta tulevat letkut saataisiin liitettyä muottiin halutulta puolelta.



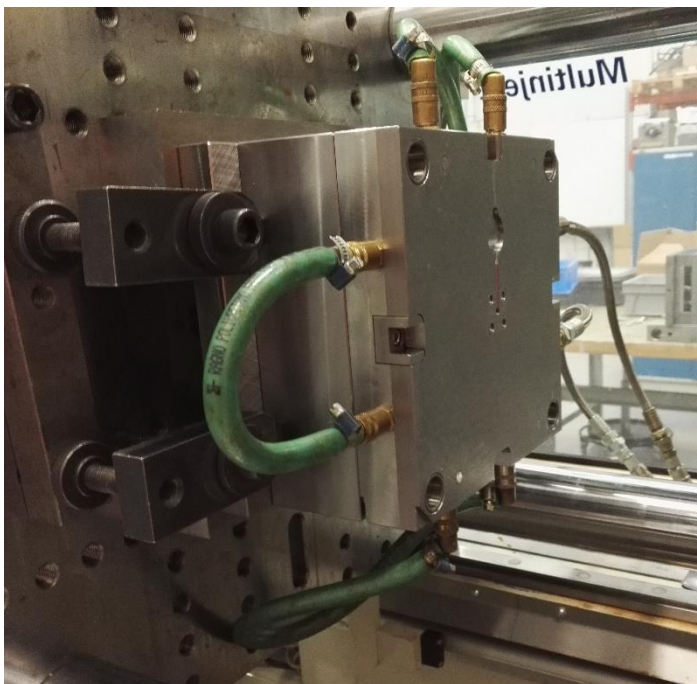
Kuvio 36. Testimuotti mallinnettiin creolla. Muotissa oli tilaa neljälle pesälle mutta opinnäytetyön puitteissa siihen toteutettiin vain yksi tuote.

Opinnäytetyön yhteydessä muottiin toteutettiin yksi tuote. Tuotteeksi valittiin yhden euron kolikon muotoinen tuote, josta voitaisiin tutkia ympyrämäisyyden ja halkaisijan muutosta MIM-prosessin aikana ja jota voitaisiin käyttää esimerkiksi ostokärrien lukkoon. Tuotteen päämitat otettiin euron kolikosta. Näin ollen tuotteen suurin ulkohalkaisija oli 23,2 mm ja paksuus 2,3 mm. Tuotteeseen tuli myös uloke, johon voitaisiin tehdä reikä avainnippuun kiinnittämistä varten.

Kanavisto päätettiin toteuttaa kiinteälle puolelle poikkileikkaukseltaan viisi millimetriä halkaisijaltaan olevalla puoliympyrän muotoisella kanavistolla. Kanavan poikkipinta-ala oli tällöin $9,8 \text{ mm}^2$. Portiksi valittiin viuhkaportti, jonka poikkipinta-ala oli suurempi kuin kanavan poikkipinta-ala. Portin poikkipinta-alaksi tuli $15,2 \text{ mm}^2$ ja sen korkeus oli lähes sama kuin kanavan syvyys. Portin ja pesän välille suunniteltiin $0,4 \text{ mm}$ kynnyksen portin alareunasta muottipesän pohjaan mitattuna. Kynnyksen tarkoitus oli helpottaa kanaviston poistamista tuotteesta valamisen jälkeen. Ulostyöntö suunniteltiin toteutettavaksi kuudella kolme millimetrisellä ulostyöntötapilla. Tuotteeseen suunniteltiin muotista irtoamisen helpottamiseksi neljän asteen päästöt. Kuviossa 37 näkyy CAD-malli ruiskuvaletusta tuotteesta ja kuviossa 38 näkyy, kuinka tuote on sijoitettu muottiin.



Kuvio 37. CAD-malli ruiskuvaletusta testimuotin tuotteesta.



Kuvio 38. Vesikierron nipat yhdistettiin letkuilla.

Muotin osat tilattiin Meusburgerilta ja niihin koneistettiin tarvittavat muodot Karelia-ammattikorkeakoululla, missä muotti myös koottiin. Koeajoja varten muotin taakse laitettiin korokepalat, sillä muotin korkeus oli mitoitettu toisen ruiskuvalukoneen mukaan kuin mitä koeajossa käytettiin. Testimuottiin otettiin kolme nollapalaa toisesta Karelia-ammattikorkeakoulun muotista ja ne sijoitettiin tuotteen pesään nähden molemmille sivuille ja yläpuolelle.

5.2 Testimuotin koeajo

Koeajot toteutettiin samalla ruiskuvalukoneella kuin porttien testauksessa. Tärkeimmät ruiskutusparametrit ovat nähtävillä taulukossa 7. Materiaalina käytettiin PolyMIM 316L-sekoitusta, jossa puolet oli uutta ja puolet kerran käytettyä materiaalia. Kerran käytettyä materiaalia kuivattiin kuivurilla yön yli 60 °C:ssa kosteuden poistamiseksi. Tuotteesta ajettiin täyttymissarja ilman jälkipainetta siten, että ensin haettiin annoskoko, jolla pesä alkoi juuri täyttyä. Tämän jälkeen annosta kasvatettiin 1 mm kerrallaan. Annoskoon muuttamisen jälkeen ajettiin yksi ylimääräinen kappale, joka poistettiin, jotta annostus tapahtui koneen ohjauksen annostelemana eikä käsiajolla otetulla annoksella. Kappaleet kerättiin talteen dokumentointia varten.

Taulukko 7. Testimuotin koeajossa käytetyt parametrit.

RA = raaka-aine SL = sylinterin lämpötila, v1 = vyöhyke 1, v2 = vyöhyke 2, v3 = vyöhyke 3, v4 = vyöhyke 4, s = suutin ML = muotin lämpötila RN = ruiskutusnopeus AN = annostusnopeus VP = vastapaine					
RA	SL s, v4, v3, v2, v1 (°C)	ML (°C)	RN	AN (mm/s)	VP (bar)
PolyMIM 316L	185, 183, 180, 175, 170		60 6 (mm/s) = 2,9 (cm ³ /s)	20	2

Kuviossa 39 on esitetty testimuotin tuotteen täyttymissarja. Sula lähti portista kanaviston muotoisena matona ja törmäsi pesän peräseinään. Syntyvä mato laskeutui koko pesän mitalta ja vasta sitten muotti täyttyi tasaisesti.



Kuvio 39. Testimuotin tuotteen täyttymissarjassa ilmeni selvä jetting-ilmio.

Täyttymissarjan jälkeen valettiin 10 täyttä kappaletta 35 bar jälkipaineella. Nämä kappaleet numeroitiin ja niistä mitattiin suurin halkaisija, suurimman halkaisijan ympyrämäisyys, paksuus ja tasomaisuus prosessin eri vaiheissa eli ruiskuvalun jälkeen, sideaineen poistamisen jälkeen ja sintrauksen jälkeen. Halkaisijan ja ympyrämäisyyden mittaamiseen käytettiin Karelia-ammattikorkeakoulun kuvion 40 SmartScope FOV-videomittakoneella. Mittauksessa tuotteen suurimman halkaisijan kehältä otettiin kahdeksan pistettä kuvion 41 osoittamista kohdista. Mittaustulokset ovat nähtävillä liitteessä 3.

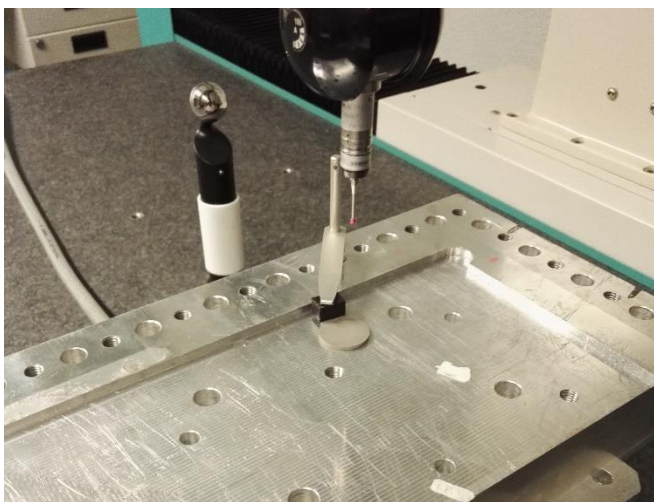


Kuvio 40. Halkaisijat ja ympyrämäisyys mitattiin videomittakoneelle.

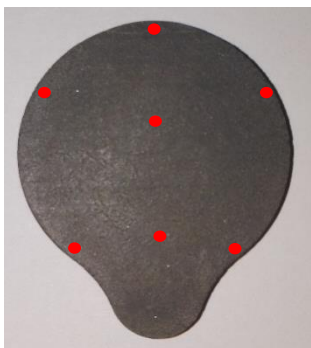


Kuvio 41. Halkaisijoita mitattaessa mittauspisteet otettiin suurin piirtein punaisella merkityistä kohdista.

Paksuuden ja tasomaisuuden mittaamiseen käytettiin Karelia-ammattikorkeakoulun Wenzel-koordinaattimittakonetta. Mittauksessa kappaleet tuettiin kuvion 42 mukaisesti kevyesti muovin palan avulla alustaan ja tuotteen pinnalle määritettiin taso seitsemällä pisteellä. Pisteiden mittauskohdat ovat esitetty kuviossa 43. Paksuus määritettiin kappaleen pinnan tason ja alusta tason välisellä etäisyydellä. Mittaustulokset ovat nähtävillä liitteessä 3.



Kuvio 42. Paksuuden ja tasomaisuuden mittaukseen käytettiin koordinaattimittakonetta. Kappaleet kiinnitettiin hellästi alustaan, että ne eivät päässeet liikkumaan.



Kuvio 43. Tasoa mitattaessa mittauspisteet otettiin suurin piirtein punaisella merkityistä kohdista.

Sideaineen poisto tapahtui materiaalitoimittajan ohjeen mukaisesti vesihauhteessa. Veden lämpötila oli noin 50 °C ja pitoaika seitsemän tuntia. Sideaineen poiston järjestelyt ovat esitetty kuviossa 44. Sideaineen poistamisen jälkeen kappaleita kuivattiin kiertoilmauunissa yön yli 80 °C:ssa, minkä jälkeen kappaleet mitattiin toisen kerran ja sintrattiin.

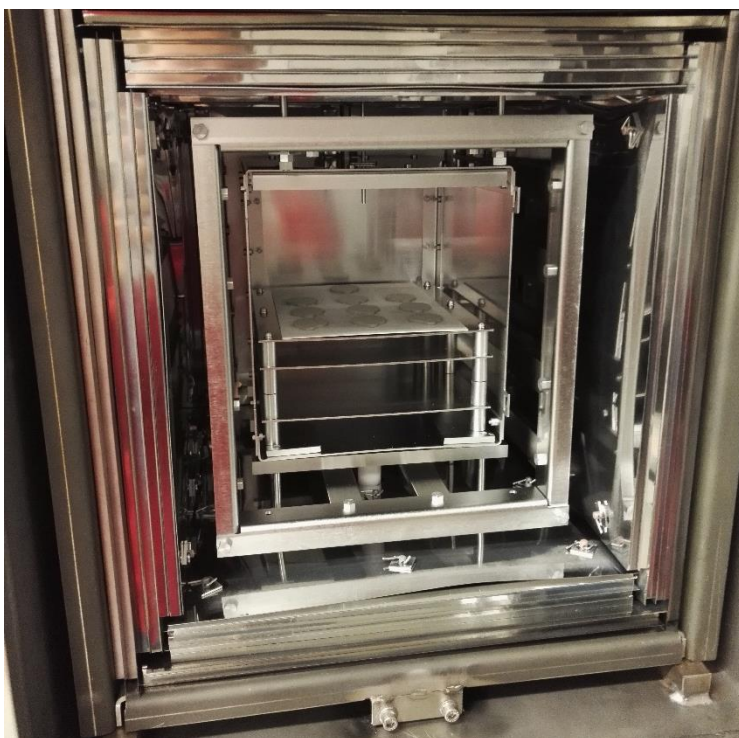


Kuvio 44. Sideaine poistettiin vesihauhteessa. Veden lämpötila oli noin 50 °C ja kappaleita pidettiin hauteessa seitsemän tuntia.

Sintraus toteutettiin Karelia-ammattikorkeakoulun sintrausuunilla, joka on näkyvillä kuviossa 45. Kuviossa 46 on esitetty, kuinka kappaleet sijoitettiin uuniin. Sintrausohjelma luotiin materiaalitoimittajan ohjeen mukaan. Uunin lämpötila nostettiin ensin 600 °C:seen nopeudella 3 K/min ja pidettiin siinä lämpötilassa kaksi tuntia. Tämän jälkeen lämpötila nostettiin 1360 °C:seen nopeudella 5 K/min ja pidettiin siinä lämpötilassa kaksi tuntia. Lopuksi uunin lämpötila laskettiin lämpötilaan 80 °C nopeudella 15 K/min.

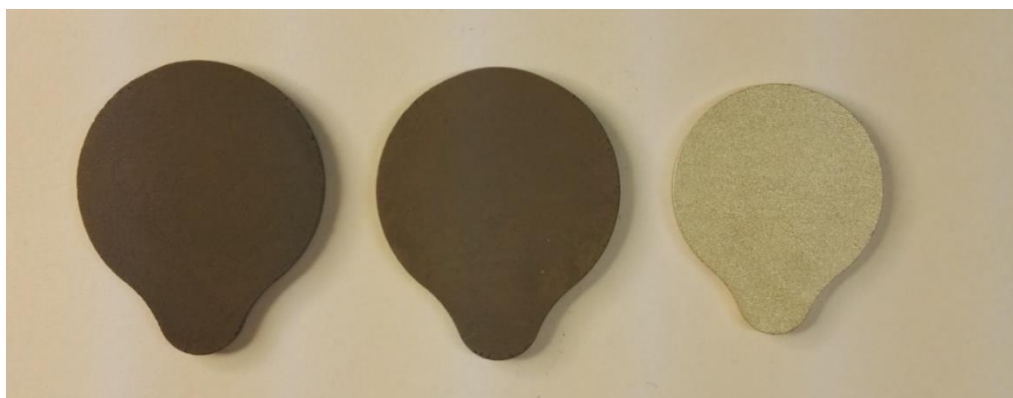


Kuvio 45. Sintrauksessa käytettiin Karelia-ammattikorkeakoulun sintrausuunia.



Kuvio 46. Kappaleet sijoitettiin uuniin tasojen päälle.

Kuviossa 47 on esitetty tuotteet MIM-prosessin eri vaiheissa. Vasemmanpuoleisin on ruiskuvalun jälkeinen tuote, keskimmäisestä tuotteesta on poistettu sideaine ja oikeanpuoleisin on sintrattu tuote. Kuvioista näkee, että kappaleen väri muuttuu sideaineen poiston yhteydessä. Kuvioista näkee myös, että sintrattu kappale on huomattavasti pienempi kuin valettu tai sideainepoistettu kappale.



Kuvio 47. Tuotteen väri ja mitat muuttuivat MIM-prosessin eri vaiheissa. Vasemmanpuoleisin on ruiskuvalun jälkeinen tuote, keskimmäisestä tuotteesta on poistettu sideaine ja oikeanpuoleisin on sintrattu tuote.

Kappaleista mitattiin myös tiheys, jolloin nähtiin, että kappaleet olivat sintrautuneet täysin, eivätkä ne olleet jääneet huokoisiksi. Tiheys määritettiin noste menetelmällä, jossa kappaleen massa mitattiin ensin ilmassa ja sitten nesteessä. Nesteenä käytettiin Etax A-etanolia. Nesteen lämpötila mitattiin mittauksen aikana 0,1 asteen tarkkuudella etanolin tarkan tiheyden määrittämiseksi. Mitatut massat ja etanolin tiheys sijoitettiin Sartoriuksen AC 211P-vaa'an käyttöohjeista löytyvään kaavaan [10, 1-69]:

$$\rho = \frac{W(a) \cdot \rho(fl) - \rho(a)}{0,99983 \cdot G} + \rho(a)$$

missä $W(a)$ = näytteen massa ilmassa

$$G = W(a) - W(fl)$$

$W(fl)$ = näytteen massa nesteessä

$\rho(\text{fl})$ = nesteen tiheys

$\rho(\text{a}) = 0,0012 \text{ g/cm}^3$ = ilman tiheys standardiolosuhteissa.

Kuviossa 48 on kuvattu mittausjärjestelyt. Mittaustulokset ovat nähtävissä taulukossa 8. Materiaalitoimittajan materiaalille antama tiheys oli vähintään $7,9 \text{ g/cm}^3$. Taulukosta näkee, että luvattu tiheys saavutettiin, joten kappaleet sintrautuivat täysin.



Kuvio 48. Tiheys määritettiin nostemenetelmällä, jossa kappaleen massa mitattiin ensin ilmassa ja sitten nesteessä.

Taulukko 8. Tiheyden mittaustulokset. Oikeanpuoleisimmassa sarakkeessa on kappaleille lasketut tiheydet. Materiaali toimittajan antama tiheys oli $7,9 \text{ g/cm}^3$.

Kappale	W(a) (g)	G (g)	T (°C)	Rhofl (g/cm ³)	Rho (g/cm ³)
1	6,84	0,69	20,8	0,80626	7,98
2	6,84	0,69	20,6	0,80643	7,98
3	6,87	0,70	20,6	0,80643	7,91
4	6,86	0,70	20,6	0,80643	7,89
5	6,87	0,70	20,6	0,80643	7,91
6	6,88	0,70	20,6	0,80643	7,92
7	6,83	0,69	20,6	0,80643	7,97
8	6,88	0,70	20,6	0,80643	7,92
9	6,86	0,70	20,6	0,80643	7,89
10	6,89	0,70	20,6	0,80643	7,93

5.3 Johtopäätökset testimuotista

Koeajossa muotti toimi pääosin hyvin mutta kieron ulostyöntösyylinterin ja muotin välisen tangon vuoksi ulostyöntö jumittui alussa. Tilanne korjautui, kun tilalle vaihdettiin suurempi tanko. Täyttymissarjan perusteella muotin täytyminen ei kuitenkaan ollut tasaista vaan täyttymisessä ilmeni selvä jetting-ilmiö. Tämä todennäköisesti johtui siitä, että portin suu oli lähes samankorkuinen kuin kanava, jolloin sula virtasi kanavan poikkileikkauksen muotoisena matona portin läpi ja täytti portin vasta, kun mato alkoi laskostua. Pesä täyttyi kuitenkin kokonaan ja täysiä kappaleita saatiin ajettua, mutta jettingin kuvio näkyi valmiissa kappaleissa.

Liitteen 3 mittaustuloksista on nähtävissä, että valmiin eli sintratun tuotteen mitat ovat hieman pienemmät kuin mitä suunnitellut mitat. Suunniteltu halkaisija oli 23,2 mm mutta testimuotin tuotteen suurin halkaisija mitatuissa kappaleissa oli 22,83–22,88 mm. Suunniteltu korkeus puolestaan oli 2,3 mm ja testimuotin tuotteen korkeus mitatuissa kappaleissa oli 2,00–2,07 mm. Mittaerot johtuvat siitä, että muotin pesän mallinnuksessa pesän mittoihin käytettiin väärää tuoteversiota, jossa oli vain karkea mitoitus. Mittojen eroista huolimatta tuote täyttää suunnittelu

lähtökohtien vaatimukset eli siitä voidaan tutkia ympyrämäisyyttä ja halkaisijan muutosta prosessin aikana ja sitä voi käyttää esimerkiksi ostoskärrien lukossa.

Tuotteista mitattujen suurimman halkaisijan ympyrämäisyyksien (liite 3) perusteella tuotteiden ympyrämäisyydet olivat hyviä. Ympyrämäisyys oli yhtä kappaletta lukuun ottamatta alle 0,04. Ympyrämäisyyden muutokset prosessin aikana jäivät myös pieniksi. Tuotteiden tasomaisuus oli myös hyvä. Tasomaisuus muuttui hieman prosessin aikana, sillä se huononi valun ja sintrauksen välillä keskimäärin 0,01. Muutos on pieni ja johtui todennäköisesti sintrausuunin tasojen taipumisesta, joka aiheutui uunin kulumisesta.

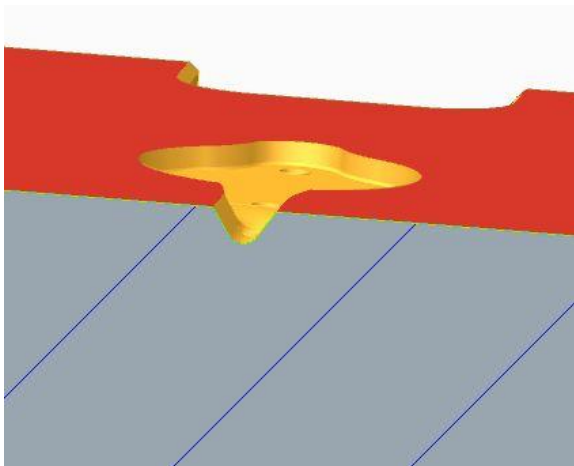
Valamisessa käytetty seossuhde osoittautui ongelmalliseksi, sillä kerran käytetyn materiaalin viskositeetti oli laskenut, mikä aiheutti sen, että materiaali pyrki työntymään ulos ruiskutusyksiköstä omia aikojaan. Tästä syystä tasaisen annoskoon saaminen oli haastavaa. Uusi ruiskuvalujakso täytyi saada tehtyä mahdollisimman nopeasti edellisen loputtua, ettei materiaalia ehtinyt tulla pois ruiskutusyksiköstä. Tilanne olisi parantunut kasvattamalla uuden materiaalin määrää seoksessa.

6 Testimuotin kehitysehdotus

Testimuotin koeajon pohjalta testimuotille suunniteltiin muutokset, joilla täyttymistä voitaisiin parantaa. Suunnitelmaa ei tämän opinnäytetyön puitteissa toteutettu.

Suunnitelmassa on syventää testimuotin kanavistoa siten, että se on korkeampi kuin portin suu. Näin sularintama litistyy porttiin tullessaan ja täyttää ensin portin. Uusi kanavisto jyrksitään muottilevyyn ja kääntöpalaan vanhan kanavan päälle. Uuden kanavan poikkileikkaus on parabolinen. Sen korkeus on 3,2 mm ja pinta-ala on 12,2 mm². Portti säilyy ennallaan, joten kanavan poikkipinta-ala on edel-

leen pienempi kuin portin poikkipinta-ala. Kanaviston ulostyöntötappeja täytyy lyhentää 0,7 mm. Kuviossa 49 on kuvattu uuden kanaviston poikkileikkaus muottilevyssä ja kuviossa 50 on CAD-malli uudella kanavistolla valetusta ruiskuvalutuotteesta.



Kuvio 49. Uusi kanavisto jyrsitään vanhan kanaviston päälle. Uusi kanavisto on poikkileikkaukseltaan parabolinen ja sen korkeus on 3,2 mm.



Kuvio 50. CAD-malli uudesta tuotteesta.

7 Pohdinta

7.1 Opinnäytetyön aihe ja prosessinkulku

Opinnäytetyön aiheena metalliruiskuvalumuotin suunnittelu oli haastava. Muottisuunnittelusta löytyi teoksia ja siihen sain Karelia-ammattikorkeakoulun henkilökunnalta ohjeita. Metalliruiskuvalusta puolestaan tiedon löytäminen oli työläämpää. Aiheesta oli vain muutamia aiempia opinnäytetöitä ja suomenkielistä materiaalia ei juurikaan ollut.

Opinnäytetyön teoriaosion tarkoituksena oli etsiä tietoa metalliruiskuvalusta. Painopiteenä oli metalliruiskuvalutuotteiden suunnittelu. Itse MIM-prosessista löytyi hyviä englanninkielisiä artikkeleita ja tutkimuksia mutta tuotesuunnittelusta löytyi varsin suppeasti tietoa. Metalliruiskuvalutuotteen suunnittelu ilmeni tosin hyvin samanlaiseksi kuin muovituotteiden suunnittelu, joten osa teoriaosion tuotesuunnitteluohjeista on muovituotteita käsittelevistä lähteistä.

Toiminnallisen osion toimeksiantona oli suunnitella ruiskuvalumuotti testikäyttöön. Alun perin oli tarkoitus opinnäytetyön puitteissa toteuttaa muottiin neljä tuotetta mutta opinnäytetyön aikana päädyttiin rajaamaan toteutettavien tuotteiden määrä yhteen ja päätettiin testata eri porttiratkaisuita. Tarkoituksena oli testata toisessa opinnäytetyössä suunniteltu porttiratkaisu ja tutkia, kuinka materiaali käyttäytyy erilaisilla porteilla. Kokeellisen osion aikana käytetty kasettimuotti osoittautui todella haastavaksi metalliruiskuvaluaa.

7.2 Tulosten hyödynnettävyys ja uudet tutkimuskohteet

Opinnäytetyön aikaisista ongelmista huolimatta pidän opinnäytetyötäni hyödyllisenä jatkoon kannalta. Opinnäytetyö antoi lisätietoa MIM-materiaalin käyttäytymisestä ja valmistetulla testimuottia voidaan jatkossa käyttää tuotteen mittojen ominaisuuksien tutkimiseen. Aiheesta löytyisi paljon uusia tutkimuskohteita erityisesti

mittojen hienosäädön ja kutistumien parissa. Myös lujuusominaisuuksissa olisi myös paljon tutkittavaa. Erityisesti miten materiaalin kierrätys ja jetting vaikuttavat ominaisuuksiin. Testimuottiin onkin tarkoitus tulevaisuudessa toteuttaa lisää tuotteita, joilla päästään tutkimaan MIM-osien ominaisuuksia.

7.3 Oma oppiminen

Ennen opinnäytetyötä minulla ei ollut juurikaan tietoa metalliruiskuvalusta ja muotin suunnittelusta. Muoviruiskuvalusta ja muovituotesuunnittelusta oli opintojen aikana tullut vain hieman perusteita eikä ruiskuvalukoneen käytöstä ollut juurikaan käytännön kokemusta. Opinnäytetyön aikana pääsin osallistumaan Karelia-ammattikorkeakoulun MIM-koulutuksiin, joista pääsin käsiksi aiheeseen.

Toiminnallinen osa antoi itselle todella paljon uutta osaamista. Opinnäytetyön aikana pääsin opettelemaan muottisuunnittelun perusteet ja ruiskuvalukoneen käytön perusteet. Iso kiitos näistä kuuluu Karelia-ammattikorkeakoululla tuolloin harjoittelijana olleelle kanssa opiskelijalle Matti Pölöselle sekä Karelia-ammattikorkeakoulun Jukka Tuloselle. Näistä taidoista voi tulevaisuudessa olla hyötyä työelämässä.

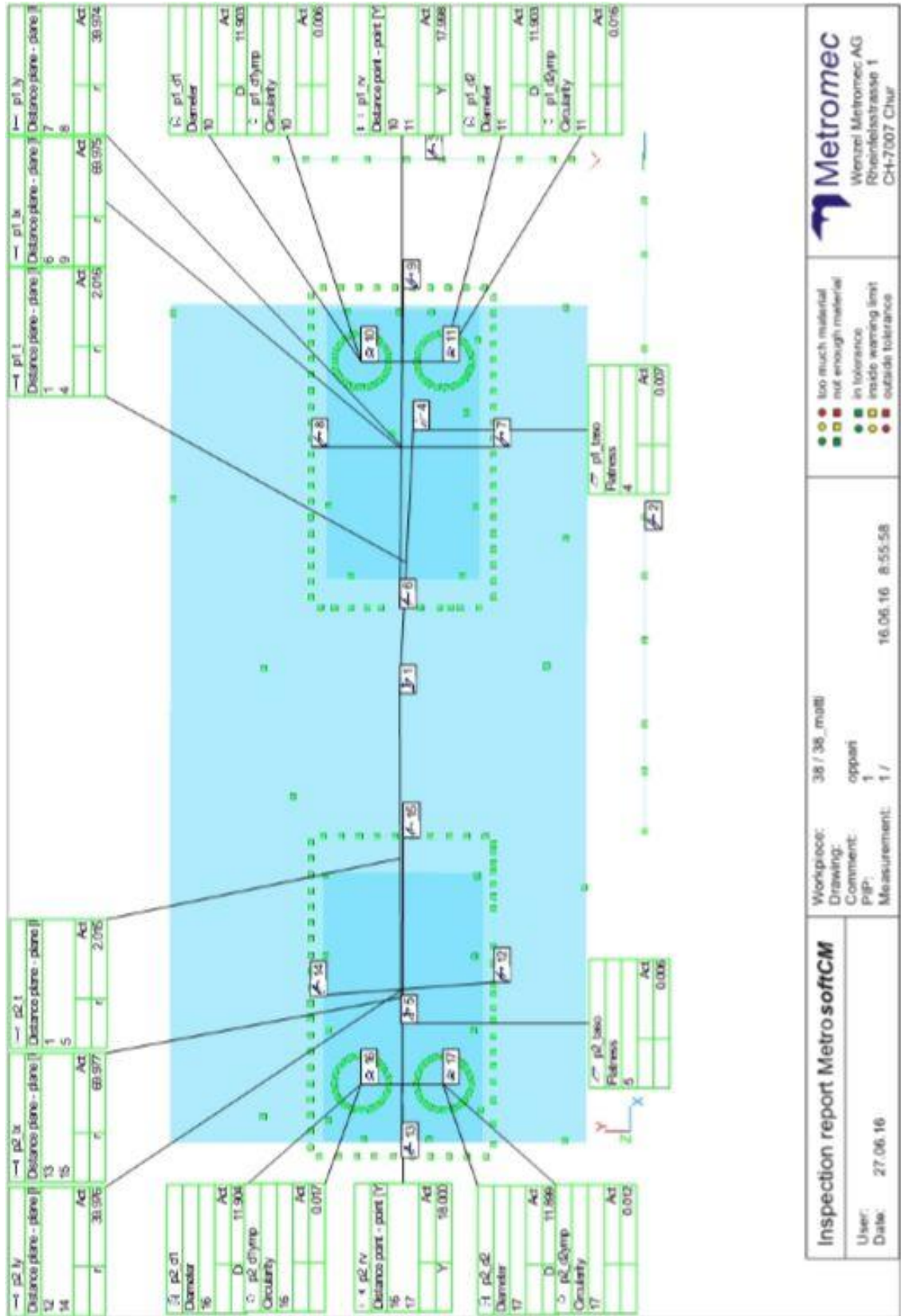
Lähteet

1. Karelia-ammattikorkeakoulu. Demonstraatioympäristö MIM-tekniologian uusiin ja haasteellisiin kokeiluihin. 2016. [Viitattu 8.10.2016]. Saatavissa: <http://www.karelia.fi/fi/tutkimus-kehitys/projektit>
2. Randall M. German. Metal Injection Molding. A Comprehensive MIM Design Guide. New Jersey: Metal Powder Industries Federation. 2011.
3. Toshiko Osada, Fujio Tsumori, Kentaro Kudo, Ryuichi Hashikawa & Hideshi Miura. Control The Deformation Of MIM Parts By The Powder Size Distribution. 2016.
4. Piotter V. Tutorial. Powder Injection Molding (PIM). Karlsruher Institut für Technologie. 2016.
5. Heaney Donald F. Handbook of metal injection molding. USA: Woodhead Publishing. 2012.
6. Kuitinen J. Metallien mikroruiskuvalu. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu. Muovitekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. 2005.
7. European powder metallurgy association. Metal injection moulding. A Manufacturing Process for Precision Engineering Components. 2013. [Viitattu 8.3.2017]. Saatavissa: <http://www.epma.com/249-metal-injection-moulding-brochure/file>
8. Cambo E. Alfredo. The Complete Part Design Handbook. For Injection Molding of Thermoplastics. Hanser. 2006.
9. Pölönen M. MIM-kappaleiden ruiskuvalettavuuden parantaminen. Karelia-ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. 2017.
10. Sartorius AG. Sartorius IAC.Integrated Applications Computer. User's Manual. Saksa. 1994.

Liitteet

1. Kasettimuotin tuotekasetin muottipesien mittaraportti
2. PolyMIM 316L-tietolomake
3. Mittaustulokset prosessin eri vaiheista
4. Testimuotin osalista

Kasettimuotin tuotekasetin muottipesien mittaraportti [9, liite 5]



<p>Inspection report MetrosoftCM</p> <p>User: _____ Date: 27.06.16</p>		<p>Workpiece: 38 / 38 .multl Drawing: oppart Comment: 1 PiP: 1 / Measurement: 1 /</p>	<p>Metrotec Wenzel Metrotec AG Reinholdstrasse 1 CH-7007 Chur</p>
		16.06.16 8:55:58	

PolyMIM 316L-tietolomake

**Data Sheet - polyMIM® 316L**

Version 05 / 07.2011

Am Gefach
55566 Bad Sobornheim
Telefon: +49 6751 85769-0
Telefax: +49 6751 85769-5300
info@polymim.com
www.polymim.com

Product <i>Produkt</i>	polyMIM® 316L D 120E									
Product description <i>Produktbeschreibung</i>	Feedstock for metal injection moulding.									
Oversize factor* <i>Aufmaßfaktor</i>	Min. 1,1627	Average 1,1669	Max. 1,1711							
All specified dimensions must be multiplied by this rate.										
MVR [cm³/10min] <i>Schmelzvolumenrate</i>	Min. 15,0	Average 40,0	Max. 65,0	DIN EN ISO 1133 (190°C/10kg)						
Typical Composition <i>(as sintered in % by weight)</i> <i>Typische Zusammensetzung</i>		Fe	C	Ni	Cr	Mo	Mn	Si	S	P
>	-	-	10,0	16,0	2,0	-	-	-	-	-
<	Bal.	0,03	14,0	18,5	3,0	2,0	1,0	0,03	0,045	
Typical properties <i>Typische Eigenschaften</i>			as sintered	heat treated						
Density <i>Dichte</i>	≅	7,90 g/cm ³								
Yield strength Rp02 <i>Streckgrenze</i>	≅	140 MPa								
Tensile strength Rm <i>Zugfestigkeit</i>	≅	450 MPa								
Elongation A10 <i>Bruchdehnung</i>	≅	40 %								
Hardness <i>Härte</i>	≅	120 HV1								
Injection process <i>Spritzgußprozess</i>	Cylinder temperature <i>Zylindertemperatur</i>	Zone 1 170°C	Zone 2 175°C	Zone 3 180°C	Zone 4 183°C	Nozzle 185°C				
	Tool temperature <i>Werkzeugtemperatur</i>	40-60°C								
	Injection speed <i>Einspritzgeschwindigkeit</i>	3-20 cm ³ /s								
	Screw circumferential speed <i>Schneckenumfangsgeschwindigkeit</i>	5-20 m/min								
	Injection speed <i>Einspritzdruck</i>	550-700 bar								
	Hold pressure <i>Nachdruck</i>	400-650 bar								
	Back pressure <i>Staudruck</i>	20-30 bar								
Debinding process <i>Entbinderungsprozess</i>	Solvent <i>Flüssigkeit</i>	Water or distilled water								
	Additive <i>Badzusatz</i>	Corrosion inhibitor: Inhibitor 4000 (Zschimmer & Schwarz, Quantity added : 2Vol%)								
	Debinding temperature <i>Entbinderungstemperatur</i>	40- 60°C								
	Debinding time <i>Entbinderungszeit</i>	depending on part thickness (e.g. 4mm part approx. 10 h at 60°C)								
	Drying <i>Trocknung</i>	to constant weight, approx. 2 h at 100°C (drying under vacuum preferable)								
	Weight loss <i>Gewichtsverlust</i>	> 3,6 weight%								
	Equipment <i>Anlagentechnik</i>	Water bath or debinding equipment								
Sintering process <i>Sinterprozess</i>	Sintering atmosphere <i>Sinteratmosphäre</i>	100% dry hydrogen								
	Sintering substrata <i>Sinterunterlage</i>	Non-metallic base (e.g. Al ₂ O ₃)								
	Sinterzyklus <i>Sintering cycle</i>	RT – 3K/min – 600°C, 2h hold 600°C – 5K/min – 1360°C, 2,0h hold 1360°C – 15K/min – 80°C, cooling								

Mittaustulokset prosessin eri vaiheista

Kappale		Tasomai- suus	Paksuus	Halkaisija	Ympyrämäi- syys
1	Valettu	0,012	2,34	26,62	0,036
	Sideainepoistettu	0,006	2,33	26,64	0,019
	Sintrattu	0,016	2,00	22,85	0,031
	Kutistuma (%)		14,33	14,17	
2	Valettu	0,007	2,35	26,63	0,012
	Sideainepoistettu	0,006	2,34	26,65	0,023
	Sintrattu	0,017	2,04	22,86	0,024
	Kutistuma (%)		13,34	14,18	
3	Valettu	0,007	2,33	26,64	0,013
	Sideainepoistettu	0,013	2,32	26,63	0,014
	Sintrattu	0,018	2,01	22,88	0,027
	Kutistuma (%)		14,06	14,13	
4	Valettu	0,006	2,34	26,65	0,021
	Sideainepoistettu	0,013	2,33	26,64	0,021
	Sintrattu	0,020	2,03	22,86	0,027
	Kutistuma (%)		13,38	14,21	
5	Valettu	0,005	2,33	26,63	0,027
	Sideainepoistettu	0,012	2,33	26,64	0,021
	Sintrattu	0,018	2,07	22,87	0,026
	Kutistuma (%)		11,24	14,11	
6	Valettu	0,004	2,33	26,63	0,032
	Sideainepoistettu	0,008	2,33	26,64	0,012
	Sintrattu	0,013	2,01	22,88	0,028
	Kutistuma (%)		14,01	14,08	
7	Valettu	0,007	2,35	26,64	0,010
	Sideainepoistettu	0,011	2,33	26,65	0,014
	Sintrattu	0,026	2,03	22,83	0,029
	Kutistuma (%)		13,51	14,30	
8	Valettu	0,010	2,33	26,62	0,036
	Sideainepoistettu	0,008	2,33	26,64	0,023
	Sintrattu	0,018	2,00	22,88	0,034
	Kutistuma (%)		14,16	14,05	
9	Valettu	0,013	2,33	26,64	0,028
	Sideainepoistettu	0,004	2,33	26,65	0,015
	Sintrattu	0,033	2,00	22,87	0,015
	Kutistuma (%)		14,08	14,16	
10	Valettu	0,009	2,33	26,63	0,030
	Sideainepoistettu	0,011	2,33	26,64	0,036
	Sintrattu	0,013	2,05	22,88	0,067
	Kutistuma (%)		12,19	14,08	

Testimuotin osalista

Muottilevyt ja komponentit ovat yritykseltä Meusburger Georg GmbH & Co KG ja nollapalat ovat yritykseltä Fodesco Oy.

Tuote/osa	lkm
Muottilevyt:	
F 50/246 246/46/2311	2
F 80/246 246/172/12/1730	1
F 85/246 246/172/17/1730	1
F 70/246 246/36/76/1730	2
F 10/246 246/27/1730	1
F 15/246 246/27/1730	1
Komponentit	
E 1000/20- 46/55	4
E 1100/20- 46	4
E 11202/24- 17/22	2
E 1513/24x80	2
E 1160/26x30	4
E 1270/M8/20	1
E 1362/120/90/36x18	1
E 1605/24x46/5	1
E 1710/3/125	6
E 1710/6x125	1
E 1710/8x125	4
E 2000/9/14	12
Nollapalat:	
z1621/18x30	4
Pultit:	
M3x10, ISO 4762 (DIN 912)	4
M5x10, ISO 4762 (DIN 912)	2
M8x12, ISO 4762 (DIN 912)	4
M8x16, ISO 4762 (DIN 912)	4
M8x30, ISO 4762 (DIN 912)	2
M8x35, ISO 4762 (DIN 912)	4
M8x80, ISO 4762 (DIN 912)	2
M10x30, ISO 4762 (DIN 912)	4
M10x100, ISO 4762 (DIN 912)	4
Nostotanko:	
30 mmx20 mmx215 mm, rakenneteräs	1