

**Joonatan Liedes**

**VALURAUTAISEN MOOTTORINOSAN 3D-MALLINNUS JA SYÖT-  
TÖJÄRJESTELMÄN SIMULOINTI**

**Opinnäytetyö  
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Kone -ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Maaliskuu 2018**

**TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ**

<b>Centria-ammattikorkeakoulu</b>	<b>Aika</b> Lokakuu 2016-Maaliskuu 2018	<b>Tekijä/tekijät</b> Joonatan Liedes
<b>Koulutusohjelma</b> Kone -ja tuotantotekniikka		
<b>Työn nimi</b> Valurautaisen moottorinosan 3D-mallinnus ja syöttöjärjestelmän simulointi		
<b>Työn ohjaaja</b> Mika Kumara	<b>Sivumäärä</b> 34	
<b>Työelämäohjaaja</b> Jyrki Hänninen		
<p>Opinnäytetyö tehtiin Hänninen Engineering Oy:lle ja sen tarkoituksena oli 3D-mallintaa valurautainen moottorinosa 2D-piirustusten pohjalta. Mallintamiseen käytettiin SolidWorks suunnitteluohjelmistoa. Mallintamisen jälkeen kappaleeseen suunniteltiin syöttöjärjestelmä silmämääräisesti ja verrattiin sitä laskemalla saatuihin syöttöjärjestelmiin Flow-3D Cast valusimulointiohjelmiston avulla.</p> <p>Tulosten perusteella saatiin selville, että silmämääräisesti tehty syöttöjärjestelmä poikkesi toimintatavaltaan laskentapohjalta tehdystä järjestelmästä. Silmämääräisesti tehdyllä syöttöjärjestelmällä kappaleeseen muodostui vikoja, mikä todettiin valusimuloinnin avulla. Luotettavan syöttöjärjestelmän suunnittelussa on tärkeää hyödyntää siihen tarkoitettuja laskelmia.</p>		
<b>Asiasanat</b> 3D-mallinnus, 3D-tulostaminen, Hiekkavalu, Malliton valu, SolidWorks		

**ABSTRACT**

<b>Centria University of Applied Sciences</b>	<b>Date</b> October 2016 – March 2018	<b>Author</b> Joonatan Liedes
<b>Degree programme</b> Machine and production technology		
<b>Name of thesis</b> 3D-modelling of a cast iron part and simulation of the feeding system		
<b>Instructor</b> Mika Kumara	<b>Pages</b> 34	
<b>Supervisor</b> Jyrki Hänninen		
<p>The thesis was made to Hänninen Engineering Oy and its purpose was the 3D modeling of a cast iron part based on 2D drawings. SolidWorks design software was used for modeling. After modeling, the feeding system was designed on a visual base and then compared to calculation-based design with the Flow-3D Cast software.</p> <p>Based on the results, it was found that the system designed on a visual base differed from the calculation-based system of operation. Visually generated feeding system had faults in the body, which were found by cast simulation. It is important to utilize the calculations to achieve a reliable feeding system.</p>		

<p><b>Key words</b> 3D-modeling, 3D-printing, Sand cast, formless cast, SolidWorks</p>
--

## KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

3D-mallinnus	3D tarkoittaa kolmiulotteisuutta ja se on peräisin englannin kielen sanasta three dimensional. 3D-mallinnus on tietokoneavusteista suunnittelua, jossa luodaan suunniteltavasta kappaleesta kolmiulotteinen malli suunnitteluohjelmistoa käyttäen. (Tunturimedia 2015.)
3D-tulostaminen	3D-tulostamisessa tietokoneavusteisesti tuotettu malli voidaan tulostaa fyysiseksi esineeksi. 3D-tulostimissa voidaan käyttää useita erilaisia materiaaleja. Kaikissa materiaaleissa perus periaate on kuitenkin sama, materiaalia pursotetaan kerroksittain tavoitellun mallin mukaisesti. (3D Formtech 2014.)
Heatmap	Kaksiulotteinen graafinen esitys datasta, jossa eri arvoja edustavat eri värit.
Hiekkavalu	Hiekkavalu on valumenetelmä, jossa valu tehdään sideaineella käsitellystä hiekasta valmistettuun muottiin. Muotissa voidaan käyttää joko keraamisia irtokeernoja tai hiekasta valmistettuja keernoja kappaleen muotojen valmistamisessa ja muotin vahvistamisessa. (Meskanen & Höök 2015.)
Malliton valu	Malliton valu on muotti menetelmä, jossa muottia ei valmisteta kaavamalla. Mallittomassa valussa muotti voidaan valmistaa esimerkiksi 3D-tulostamalla. (Meskanen & Höök 2015.)
SolidWorks	SolidWorks on suunnitteluohjelmisto, jonka avulla voi 3D-mallinnusta hyödyntämällä luoda ja simuloida kolmiulotteisia malleja. SolidWorksia käytetään koneiden, laitteiden ja yksittäisten kappaleiden mallintamisessa. (SolidWorks 2017.)

**TIIVISTELMÄ  
ABSTRACT  
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY  
SISÄLLYS**

<b>1 JOHDANTO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 OY HÄNNINEN ENGINEERING AB .....</b>	<b>2</b>
<b>3 3D-MALLINNUS .....</b>	<b>3</b>
3.1 Suunnitteluohjelmiston valinta .....	3
3.2 SolidWorks .....	3
3.3 Mallinnuksen toteuttaminen.....	4
<b>4 SYÖTTÖJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU .....</b>	<b>9</b>
4.1 Suunnittelun vaiheet.....	9
4.1.1 Syöttömatkaehto .....	11
4.1.2 Jähmettymisaikaehto .....	12
4.1.3 Metallimääräehto.....	12
4.2 Valukanaviston laskeminen valuraudalle .....	14
<b>5 SIMULAATION TARKASTELU .....</b>	<b>17</b>
5.1 Syöttökanaviston simulaatiotulokset.....	17
5.2 Syöttökupujen simulaatiotulokset.....	26
<b>6 POHDINTA .....</b>	<b>33</b>
<b>LÄHTEET .....</b>	<b>34</b>
<b>LIITTEET</b>	

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on 3D-mallintaa Wärtsilän dieselgeneraattorin öljypumpun kansi ja suunnitella sille muotti syöttöjärjestelmineen. Työssä mallinnukseen valikoitui SolidWorks-suunnitteluohjelmisto Autodesk Inventorin sijaan, koska se on tutumpi opinnäytetyön työelämäohjaajalle ja muutenkin käytetympi työmaailmassa.

Työn aihe on Oy Hänninen Engineering Ab firman vanha työtilaus Wärtsilältä. Oikean työtilauksen tekeminen ei olisi ollut mahdollista, sillä valmiin tuotteen tulisi olla asiakkaalla noin kahden viikon kuluttua tilauksesta. Työssä tehtävänä on mallintaa Wärtsilän 4R20 diesel generaattorin öljypumpun kansi 2D-piirrustusten pohjalta.

Valukanavisto ja syöttökuvut 3D-mallinettiin ilman laskentaa ja vertailtiin niitä laskennallisesti saatuihin tuloksiin virtaus- ja jäähtymiskuvioiden avulla. Näin laskennallisen prosessin tärkeys tuli esille.

## 2 OY HÄNNINEN ENGINEERING AB

Insinööritoimisto Hänninen Engineering Oy aloitti toimintansa vuonna 2006. Yritys on alusta alkaen keskittynyt hiekkamuottiin valettavien metallivalujen ja niiden toteuttamiseen tarvittavien valujärjestelmien suunnitteluun ja kehittämiseen, sekä proto- ja varaosavaluihin.

Valumateriaaleina ovat pääsääntöisesti eri rautalaadut ja alumiinit johtuen yrityksen asiakaskunnasta, joihin kuuluvat mm. Kone, Konecranes, ABB Motors and Generators, Wärtsilä, Agco SisuPower, Agco Valtra, BRP Recreational Products.

Liikeideana on keskittyä vain omaan ydinosaan. Siksi on luonnollista tehdä yhteistyötä valumuottien valmistuksessa Hetitec Oy:n hiekkamuottien 3D-tulostuspalvelun, sekä valittujen valimo- ja koneistamokumppaneiden kanssa.

Yritys haluaa tuoda työn laadun esille osaavana prototyyppi- ja piensarjavalujen toimittajakumppanina. Palvelun tärkeitä elementtejä ovat toiminnan nopeus ja laatu kaikissa projektin vaiheissa.

Hänninen Engineering Oy keskittyy yksittäisiin ja piensarjavaluihin. Yrityksen työkalut ovat alansa huippuluokkaa. Siksi käytössä on Siemens NX ja Siemens I-Deas 3D-ohjelmistot ja Flow-3D Cast-valusimulointiohjelma, jotka ovat maailmalla huippuluokkaa ja teknologiateollisuudessa arvostettuja työkaluja. (Hänninen 2018.)

### **3 3D-MALLINNUS**

3D-mallinnus on prosessi, jolla luodaan 3D-esitys mistä tahansa pinnasta tai kappaleesta monistamalla polygoneja, reunoja ja leikkauspisteitä simuloitussa 3D-tilassa. 3D-mallinnusta voidaan manuaalisesti käyttää tähän tarkoitettuun 3D-ohjelmistolla, jonka avulla suunnittelija voi luoda ja purkaa moniulotteisia pintoja. 3D-mallinnusta käytetään useilla eri aloilla, kuten suunnittelussa, elokuvissa, pelinkehityksessä ja kaupallisessa mainonnassa. (Slick 2017.)

Rakenne- ja tuotesuunnittelussa käytetään yleisesti 3D-mallinnusta ja -malleja. 3D-mallinnusta käytetään nykyään myös usein markkinoinnissa ja asiakkaan tuotteiden esittelyssä esimerkiksi asuntojen esittelyissä. (Tunturimedia 2015.) Tässä työssä 3D-mallinnusta käytettiin 2D-piirustuksen pohjalta mallintamiseen ja valumuotin suunnitteluun.

#### **3.1 Suunnitteluohjelmiston valinta**

Suunnitteluohjelmistoa valittaessa minulla oli mielessäni kaksi vaihtoehtoa, jotka olivat Autodesk Inventor 2015 ja SolidWorks 2015. Autodesk Inventoria olimme käyttäneet opintojen yhteydessä 3D-suunnitteluohjelmistot-kurssilla, joten tämä ohjelma oli tutumpi. Päädyin kuitenkin valitsemaan ohjelmistoksi SolidWorksin, koska se on ohjelmistona tunnetumpi ja käytetympi työelämässä. SolidWorks oli myös tutumpi työelämäohjaajalleni ja minulla oli myös jonkin verran kokemusta sen käytöstä.

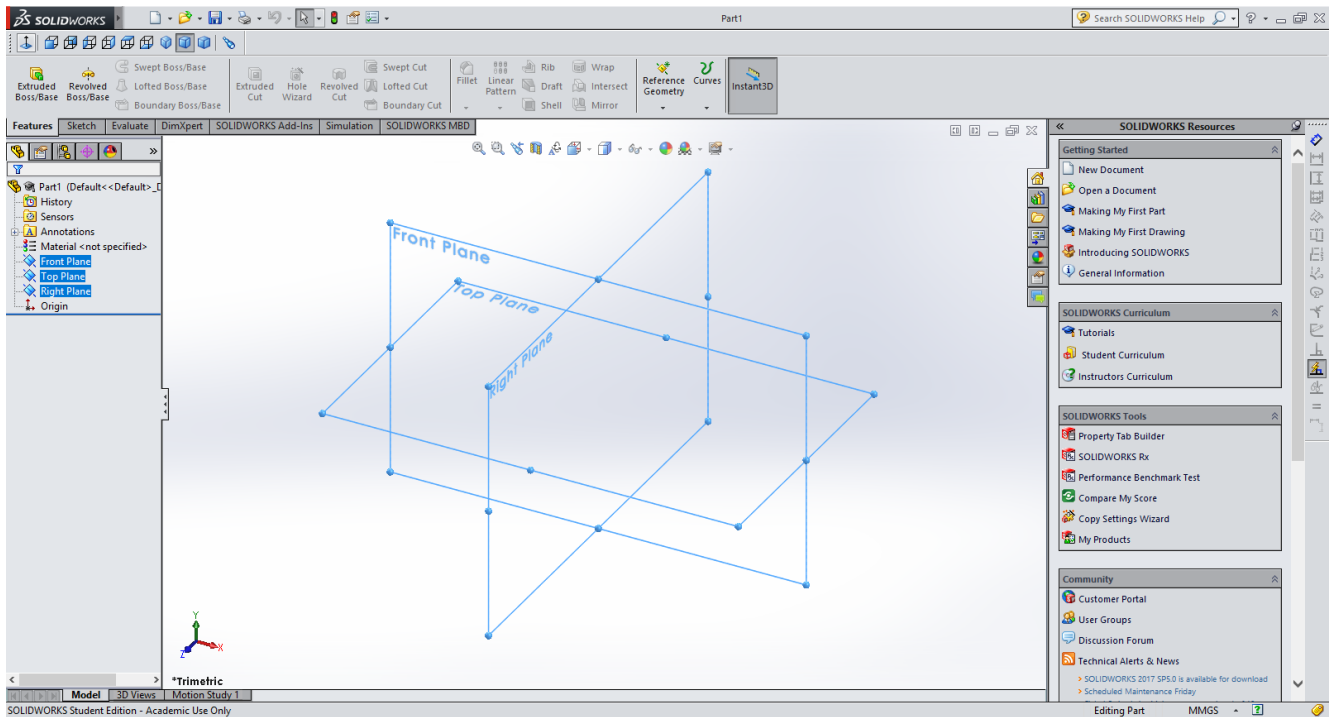
#### **3.2 SolidWorks**

SolidWorks on vuonna 1993 Ranskassa perustettu yritys, joka tarjoaa laajan käyttäjäystävällisen ohjelmistoympäristön. SolidWorksin avulla voi luoda 2D- ja 3D-malleja, jotka ovat yhteensopivia myös muiden suunnitteluohjelmistojen kanssa. (SolidWorks 2017.) Tässä työssä käytettiin SolidWorks 2015-suunnitteluohjelmistoa jonka avulla 2D-piirustus (LIITE 1.) mallinnettiin kolmiulotteiseksi.



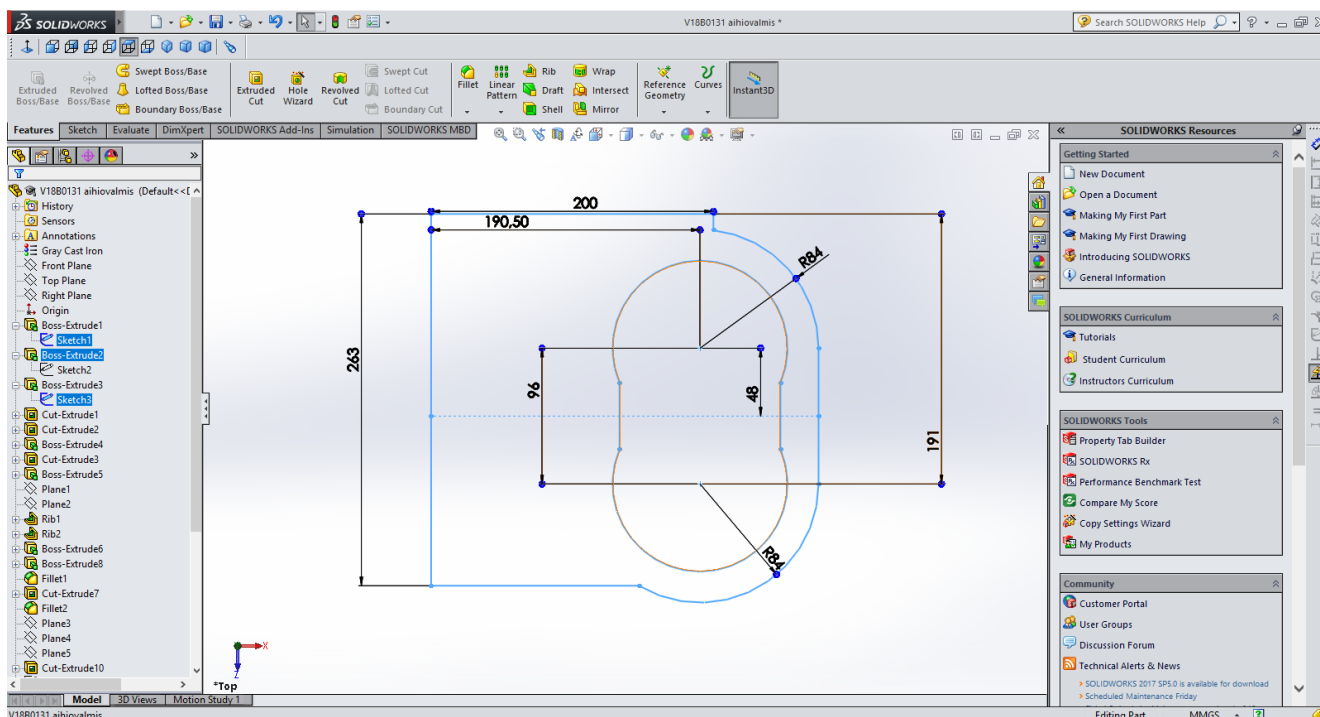
### 3.3 Mallinnuksen toteuttaminen

Suunnittelu lähti liikkeelle piirustuksen tarkastelusta ja siitä, mistä pinnalta mallinnus on järkevintä aloittaa. Päätin, että mallinnus aloitetaan piirustuksessa (LIITE 1.) näkyvältä tasopinnalta A ja edetään sitä kautta. Tämän jälkeen aloitin mallintamisen SolidWorks 2015-ohjelmalla. Seuraavissa kuvissa on kuvattuna mallinnuksen eri vaiheita.



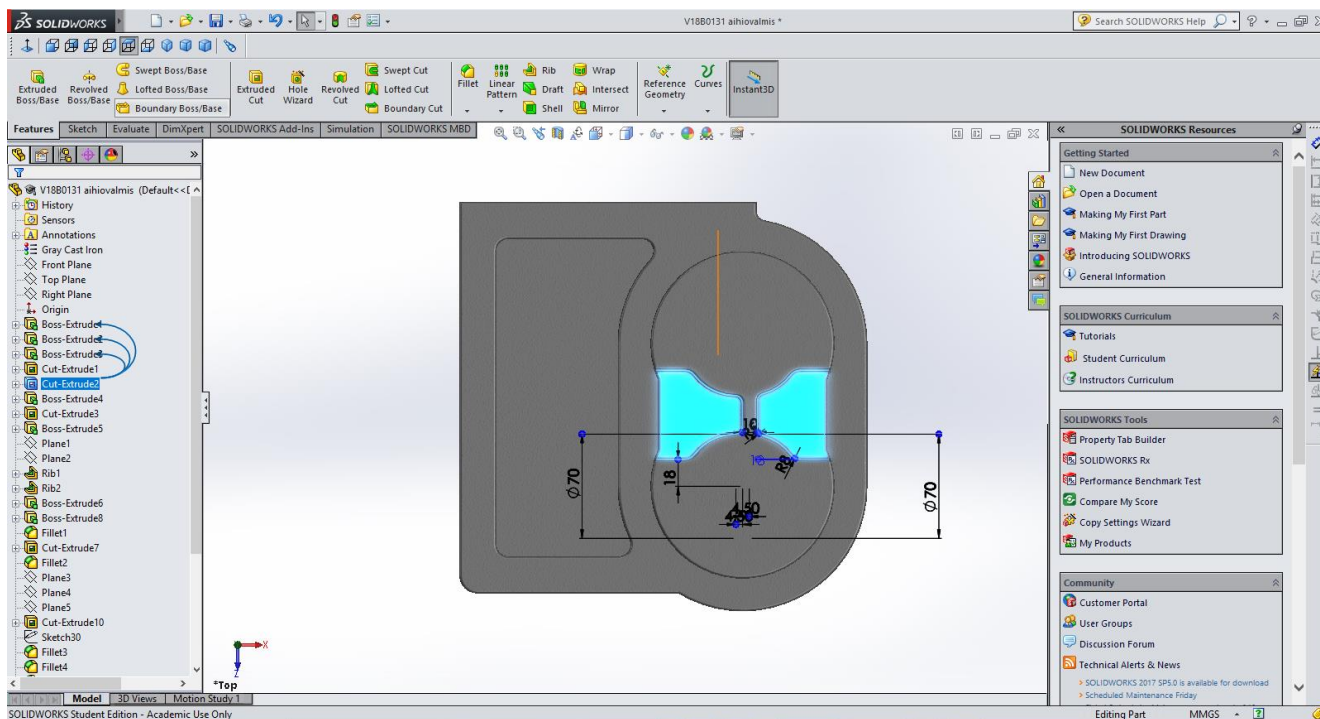
KUVA 1. SolidWorks 2015 aloitusnäkö (SolidWorks 2015)

Kuvassa 1 on kuvattuna SolidWorks 2015 ohjelmiston alkutasovalikko, jossa voidaan valita mille xyz-koordinaatiston tasoista piirtäminen aloitetaan.



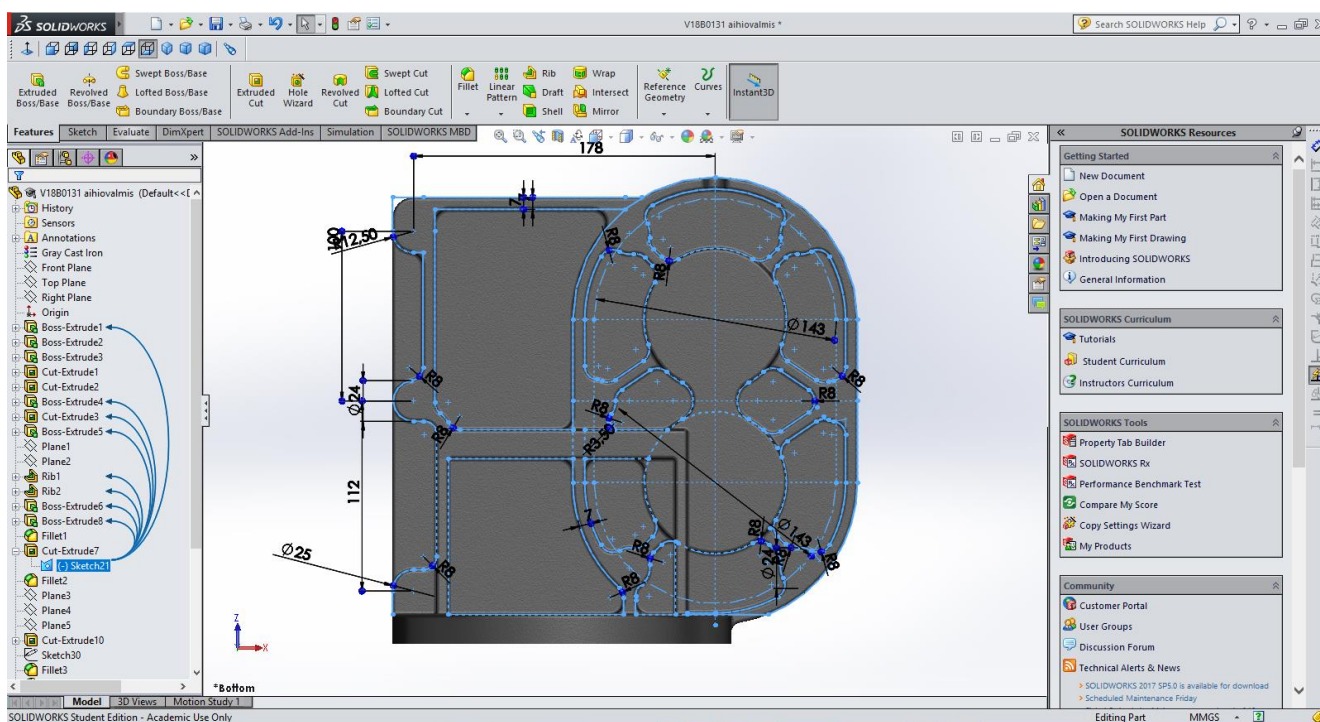
KUVA 2. Ensimmäisen tasopinnan piirros mitoitettuna

Kuvassa 2 on kappaleen perusmittoja hahmoteltuna x-koordinaatistolle. Tästä suunnasta katsottuna kappaleella oli eniten tasomaisia pintoja, joten koin helpoimmaksi aloittaa mallintamisen siitä.



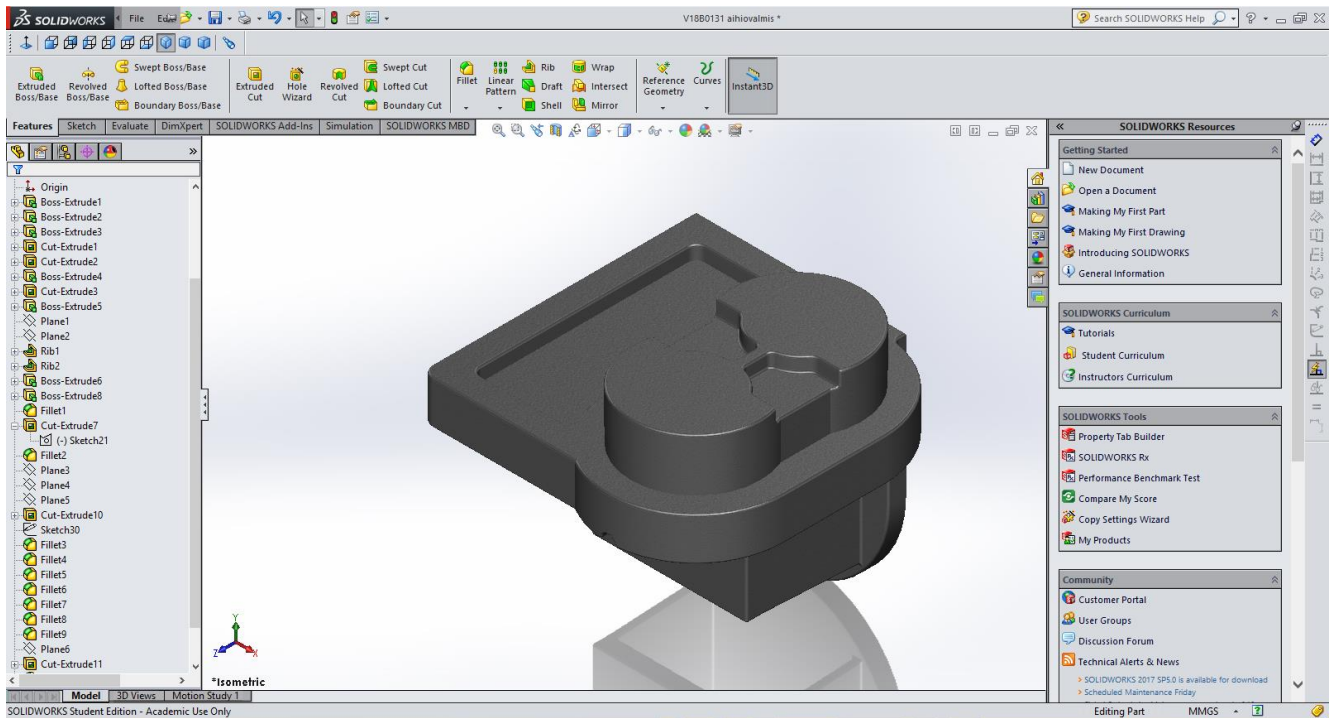
KUVA 3. Ensimmäisen tasopinnan pursotus

Kuvassa 3 näemme kuvassa 2 esiintyvät piirrokset pursotettuna kolmiulotteiseksi. Lisäksi kuvasta on nähtävissä pyöristysten mitat.

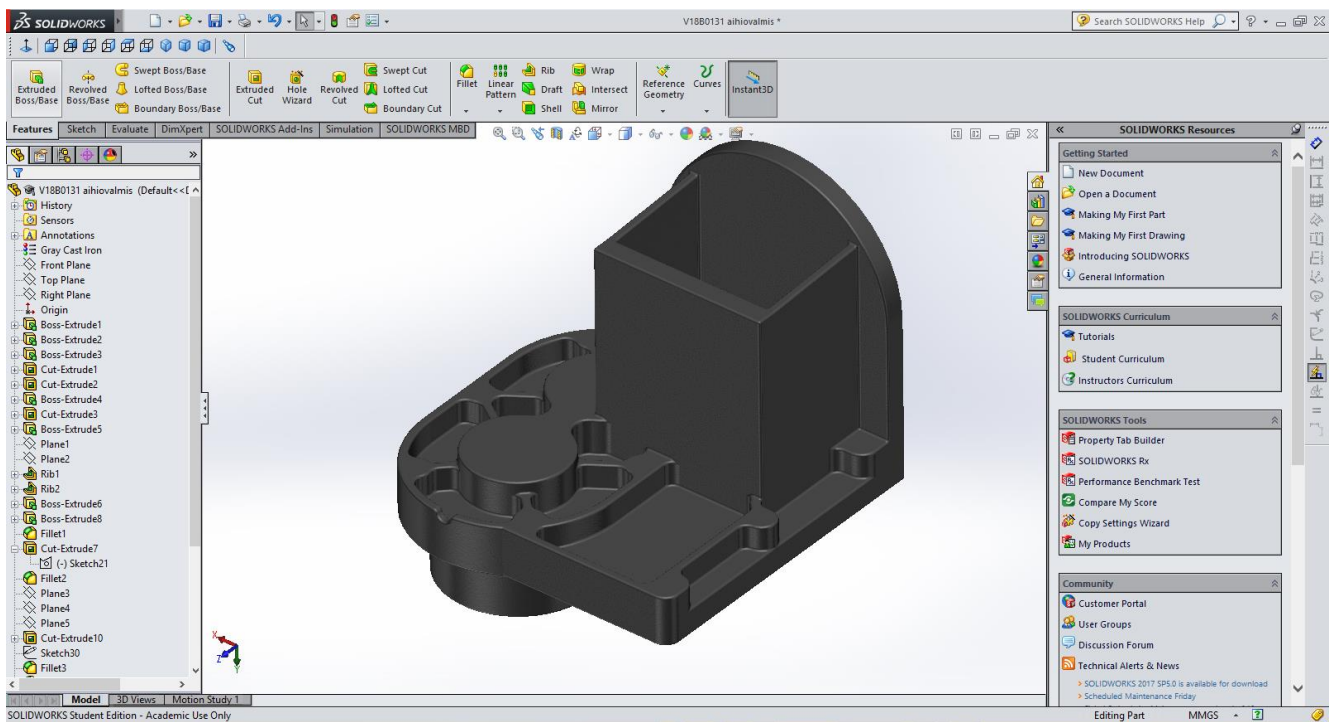


KUVA 4. Pohjan haastavat jäykisteet ja niiden pyöristykset

Kuvassa 4 on sinisellä värillä kuvattuna pohjan jäykisteiden mittoja ja pyöristyksiä. Näiden mitoitus osoittautui haasteelliseksi.

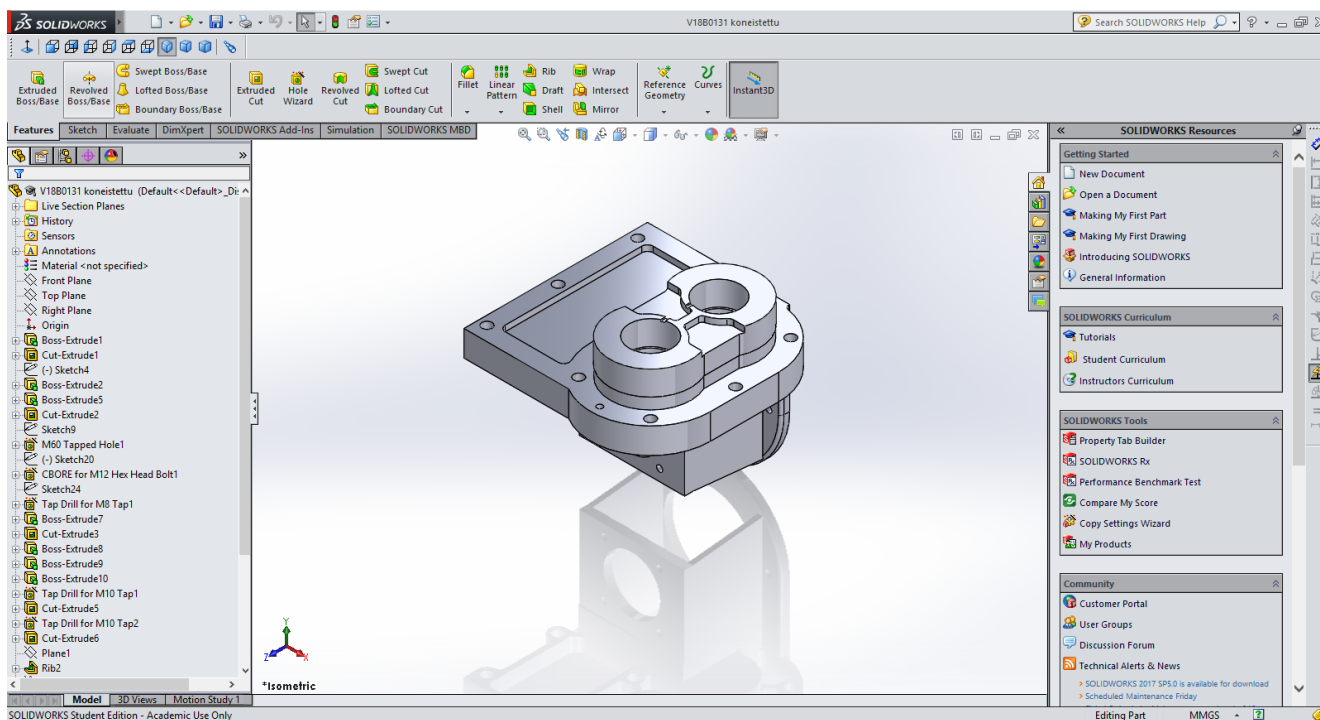


KUVA 5. Valmis valuaihio suunta 1

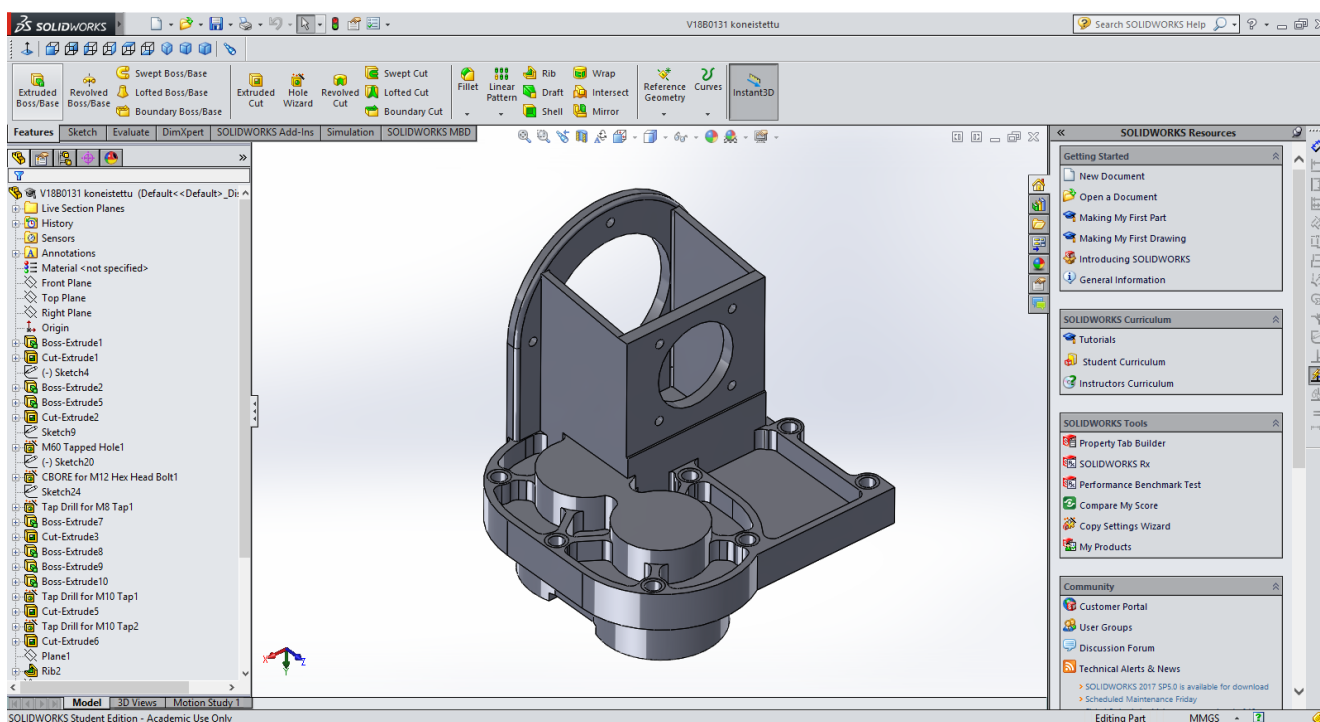


KUVA 6. Valmis valuaihio suunta 2

Kuvissa 5 ja 6 on nähtävissä valukappale kahdesta eri suunnasta sellaisena, kuin se todellisuudessa olisi muotista pois otettuna.



KUVA 7. Valmis kappale koneistettuna suunta 1



KUVA 8. Valmis kappale koneistettuna suunta 2

Kuvissa 7 ja 8 on nähtävissä mallinnettu kappale kahdesta suunnasta sellaisena, kuin se todellisuudessa olisi koneistamisen jälkeen. Koneistuksessa kappaleeseen tehtäisiin reiät ja viisteet, sekä tasoitettaisiin pinnat valun jälkeen.

## 4 SYÖTTÖJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU

Syöttöjärjestelmän suunnittelu alkaa yleensä tarkastelusta, jonka tarkoitus on etsiä kohdat jotka tarvitsevat syöttömetallia. Kun tarkastelu on valmis, sijoitetaan valokseen tarpeeksi suuri syöttökupu. (Niemi 2010.)

Syöttöjen mitoituksen ja sijoituksen tulee toimiakseen täyttää kolme ehtoa: syöttömatkaehto (syöttöalueet ja suunnattu jähmettyminen), jähmettymisaikaehto (modulisuhteet) ja metallimääräehto (syöttökuvun massa). (Niemi 2010.)

Modulilla tarkoitetaan valukappaleen tilavuuden ja pinta-alan suhdetta. Kun muotti on täyttynyt sulasta metallista, muottiin tuotua lämpö määrää edustaa valukappaleen tilavuus. Valukappaleen pinta-ala kuvaa lämpöä poisjohtavan virran poikkipinta-alaa. (Niemi 2010.)

Metalli kutistuu jäähtyessään ja sinne muodostuu kutistumia, jotka aiheuttavat kappaleeseen vikoja. Syöttökuvuilla estetään kutistumaonteloiden syntymistä kappaleeseen syöttämällä sulaa metallia. (Niemi 2010.)

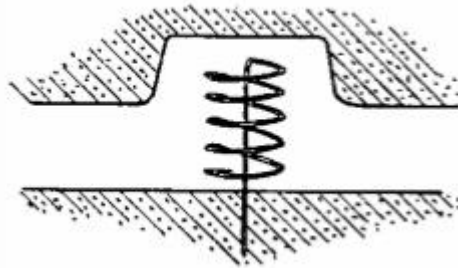
Tässä työssä ei lasketa syöttöjärjestelmälle oikeita arvoja, eli työssä käytetyt syöttökuvut ja syöttökanavat on mallinnettu silmämääräisesti ilman laskettuja arvoja. Tämän jälkeen vertaillaan syöttöjärjestelmän toimivuutta lasketuilla arvoilla saatuihin tuloksiin. Seuraavaksi käydään kuitenkin läpi syöttöjärjestelmän suunnittelun teoriaa.

### 4.1 Suunnittelun vaiheet

Syöttökupujen suunnitteluvaiheessa tutkitaan niiden syöttötehokkuutta valukappaleeseen seuraavien vaiheiden mukaisesti. Syöttökuvun tarkastelu aloitetaan laskemalla syöttökuvulle moduuli ja tarkistamalla sen syöttömatkaehto (Heuversin ympyräsääntö). Tämän jälkeen lasketaan lämpötilarinne, tarkastetaan jähmettymisaikaehto ja tutkitaan, että syöttökupu pysyy sulana niin kauan kuin syöttömetallia tarvitaan. (Niemi 2010.)

$$\text{Syöttökuvun modulin laskenta kaava} = \frac{V}{A} = \frac{\text{Tilavuus}}{\text{Pinta - alalla}}$$

Kappaleen jäähtymistä voidaan nopeuttaa tai hidastaa lisäämällä muottiin ulkoisia tai sisäisiä jäähdytyskappaleita. Näitä voivat olla esimerkiksi sirotteet, vaipat, täytteet ja voimakkaasti jäähdyttävät hiekkaseokset. (Niemi 2010.)



KUVA 9. Sisäinen jäähdytyskappale valumuotissa (Niemi 2010)

Jäähdytyskappaleilla voidaan vaikuttaa syöttökupujen hyötysuhteeseen. Eristämättömien syöttökupujen hyötösuhde on noin. 14 %, lämmön poistumista estävillä eristeillä hyötysuhde kasvaa noin. 34 %:iin ja eksotermisillä eli lämpöä luovuttavilla saavutetaan jopa 67% hyötysuhde. Hyötysuhteeseen vaikuttaa myös syöttökuvun muoto ja itse syöttöjärjestelmä. Avokuvut eivät ole lämpötaloudellisesti yhtä hyviä, kuin umpikuvut. (Niemi 2010.)

Käytettäessä umpinaisia syöttökupuja niiden yläosaan on sijoitettava keerna, jonka tarkoitus on päästää ilmanpainetta syöttökupuun. Tällä ehkäistään kuoren muodostuminen, joka muodostuessaan heikentäisi syöttöä suuresti. (Niemi 2010.)

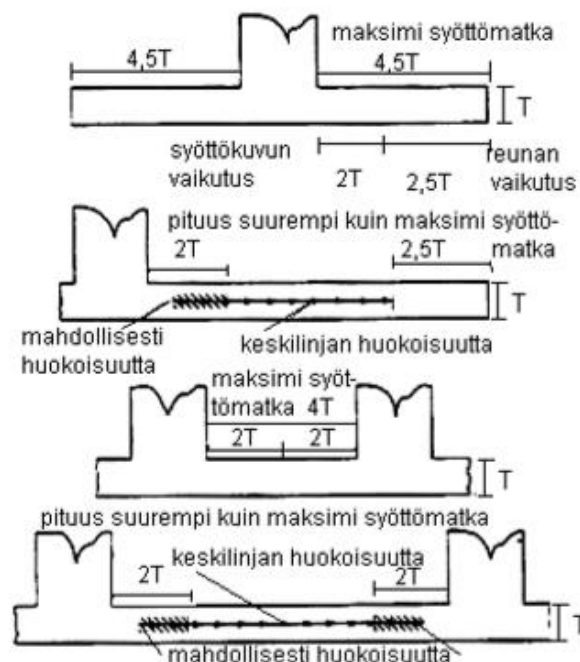
Syöttökupuja suunniteltaessa on huomioitava sen muotoa, kokoa ja sijoitusta ja muuttamalla niitä tarvittaessa mahdollisimman taloudelliseksi. Syöttökupu tulee pystyä kaavaamaan, se ei saa estää valoksen kutistumista ja se tulee voida irrottaa helposti, kuvun sijoittamista pinnalle jota ei saa työstää on vältettävä, jos kyseessä on iso valo, suositellaan avoimia kupuja, joissa kuvun pinta voidaan peittää eristävällä massalla tai kaataa kupuun tarvittaessa lisää metallia. (Niemi 2010.)

### 4.1.1 Syöttömatkaehto

Aluksi valettavalle kappaleelle tehdään valusimulointi oikeanlaisessa valuasennossa kokonaan ilman kupua tai käyttäen standardikupua. Simulaation tuloksena saadusta jähmettymisaikakuvasta saadaan selville alueet, jotka vaativat syöttöjärjestelmän. (Niemi 2010.)

Syöttökupujen toistensa syöttämisen välttämiseksi, syöttöalueet on erotettava toisistaan. Jos näin ei tehdä, syötön tarve ei välttämättä täyty tai syötettävää metallia varautuu liikaa toisen kuvun syöttämiseen. (Niemi 2010.)

Syöttömatkaehdon avulla kyetään määrittelemään syöttöalueen koko. Syöttömatkaehdon ideana on, että syöttökupujen syöttämä alue kattaa valoksen jokaisen kohdan. Kuvassa 10 tarkastellaan syöttökupujen sijainnin merkitystä ja niiden toimivuutta jäähtymisessä. Sijainnin merkitys tulee esille kuvasta siten, että kupu syöttää maksimissaan kaksi kertaa kappaleen ainevahvuuden verran ( $2T$ ) kaikkiin suuntiin. Yhdistettynä reunan vaikutukseen ( $2,5T$ ) kupu syöttää siis  $4,5$  kertaa ainevahvuutensa verran ( $4,5T$ ) aluetta kaikkiin suuntiin. Näitä hyödyntäen voidaan kupu sijoittaa optimaalisesti siten, ettei kappaleeseen synny huokoisuutta. Kuvassa on esitettyä myös kohtia, joissa huokoisuutta syntyy syöttömatkan riittämättömyyden vuoksi.



KUVA 10. Syöttökupujen ja reunojen vaikutus syöttömatkoihin teräslevyssä (Niemi 2010)



#### 4.1.2 Jähmettymisaikaehto

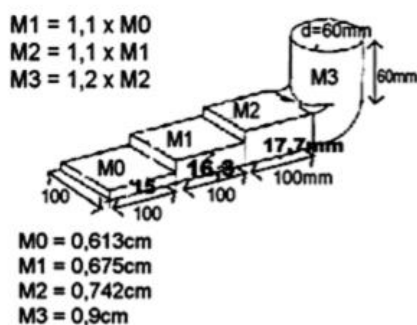
Syöttökuvun tulee pysyä sulana pidempään, kuin valettavan kappaleen. Tämän toteutumiseksi tulee kappaleen moduulin olla pienempi, kuin syöttökuvun moduulin. (Niemi 2010.)

$$\text{Moduuli [cm]} = \frac{\text{Tilavuus [cm}^3\text{]}}{\text{Pinta - ala [cm}^2\text{]}} = \frac{\text{Poikkipinta - ala [cm}^2\text{]}}{\text{Piiri [cm]}}$$

Laskettaessa moduulia syöttökuvulle on otettava huomioon, että syöttöalueen moduulin tulee olla pienempi kuin syöttökuvun kaulan. Syöttökuvun tulee pysyä sulana koko sen ajan, kun sulaa tarvitaan valettavaan kappaleeseen, sillä sen tehtävänä on olla sulan metallin varastona. Syöttökuvut tulee sijoittaa sellaiseen kohtaan valoksessa, joka jähmettyy viimeisenä ja ne tulee mitoittaa niin, että valos jähmettyy ennen syöttökupuja. (Niemi 2010.)

#### 4.1.3 Metallimääräehto

Kappaleessa tapahtuvan kiteytymiskutistuman kompensoimiseksi, on syöttökuvun pystyttävä luovuttamaan tarpeeksi metallia kappaleeseen. Esimerkiksi pallografiittiraudan jäähtyessä, se kutistuu noin 1,1–2,0 %/100 °C ja kovettuessaan noin 4,0–1,0%. Yhteiskutistumana voidaan käyttää tällöin 3,2 %. Esimerkiksi massaltaan 5 kg oleva syöttöalue vaatii syöttömetallia  $5 \text{ kg} \times 0,032 = 0,16 \text{ kg}$ . (Niemi 2010.)

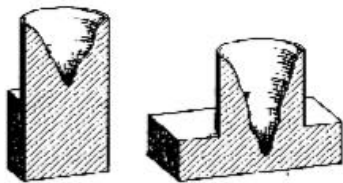


KUVA 11. Suunnattu jähmettyminen (Niemi 2010)

Kuvassa 11 on kuvattuna, kuinka syöttävän osan moduulin on oltava vähintään 1,1 kertaa suurempi kuin syötettävän osan moduuli. Kuvassa M3 syöttää M2:sta, M2 syöttää M1:stä ja M1 syöttää M0: llaa.

Normaalisti syöttökupu kykenee luovuttamaan 15% massastaan syöttöalueelle, eli jotta saadaan 0,16kg metallia syötettyä, tarvitaan noin 1,1kg painava syöttökupu. Syöttökuvun tulee kyetä luovuttamaan tarpeeksi suuri määrä sulaa, jotta jähmettymis- ja sulakutistumat saadaan korvattua. (Niemi 2010.)

Jos kappaleeseen syntyy imuonkalo jähmettymisen aikana, se ei saa ulottua kappaleeseen tai se on viallinen. Tilanteessa, jossa kahdella kappaleella on sama jähmettymismoduuli, syöttömetallin tarve ei kuitenkaan ole sama, sillä tämän määrittelee kappaleen tilavuus. Seuraavassa kuvassa on esimerkki tällaisesta tilanteesta, jossa toisen kappaleen tilavuus on suurempi, jolloin se tarvitsee suuremman syöttökuvun, ettei kappaleeseen muodostu imuonteloa. (Niemi 2010.)



KUVA 12. Valoksen tilavuus ja niiden syöttömetallin tarve samalla jähmettymismoduulilla (Niemi 2010)

Metallimääräehdon täyttymisen tarkastamiseksi on tiedettävä valoksen tilavuudesta sula- ja jähmettymiskutistumien summa tilavuusprosentteina. Tulee myös selvittää, kuinka ison osan tilavuudestaan kupu syöttää. Osa syöttökuvun tilavuudesta menee sen itsensä syöttämiseen. Jos valittu syöttökupu ei täytä valettavan kappaleen tarvitsemaa metallimäärää, tarvitaan suurempi syöttökupu, on parannettava kupujen hyötysuhdetta tai lisättävä niitä. (Niemi 2010.)

## 4.2 Valukanaviston laskeminen valuraudalle

Valukanaviston suunnittelu toteutetaan siten, että lasketaan valettavien kappaleiden yhteispaino, määritetään valukanavistojen sijainti ja määritetään valuaika. Valuaika voidaan määrittää joko, pienimmän ainepaksuuden mukaan, käytännön kokemuksen perusteella tai laske-  
malla jos käytössä on automaattikaavaus. (Niemi 2010.)

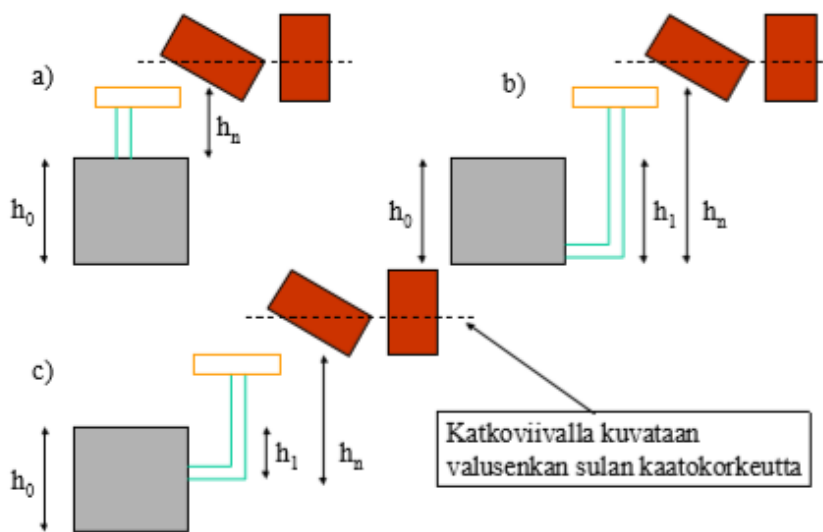
Automaattikaavauksessa käytettävän valuaajan laskemisen kaava on seuraava:

$$t = 3,4G^{0,42}$$

Missä  $t$  = valuaika ja  $G$  = kappaleen massa. Tällöin 50 kg kappaleelle saadaan valuajaksi:

$$t = 3,4G^{0,42} = 3,4(50)^{0,42} = 17,6s$$



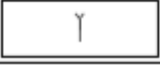
Tämän jälkeen selvitetään sulankaatokorkeus ( $H$ ).



KUVA 13. Valun kaatokorkeuden vaikutus virtausnopeuteen (Niemi 2010)

Kuvassa 13 on kuvattuna erilaisia valutapoja. Kohdassa a) on kyseessä päältävalu, kohdassa b) altavalu ja kohdassa c) valukanavisto on sijoitettu muotin kylkeen. Harmaa laatikko kuvaa muottia, punainen laatikko on valusenkka.

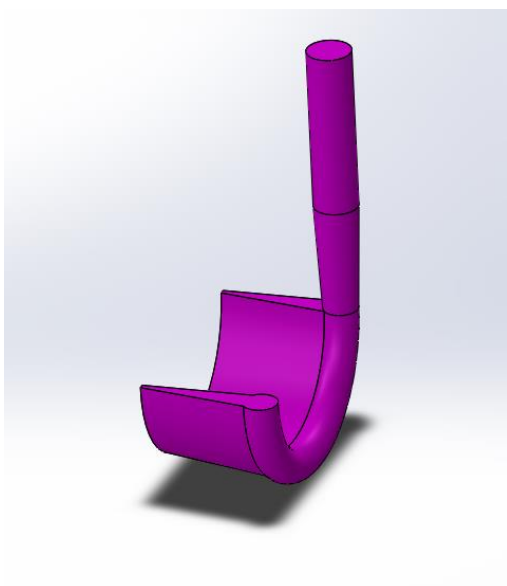
Seuraavaksi selvitetään oikea kanavan korkeus ja kanaviston virtaushäviökerroin, joka voidaan rautavaluissa katsoa taulukoista (esim. Valimotekniikka 2 tai Valu Atlas). Tämän jälkeen selvitetään kanavistoille virtaushäviökerroin ja osahäviöt. (Niemi 2010.)

Kanaviston tyyppi	Häviökerroin ( $\alpha$ )	
	ilman kaatoallasta	kaatoaltaalla
	0,40	0,35
	0,45	0,45
	0,80	0,55

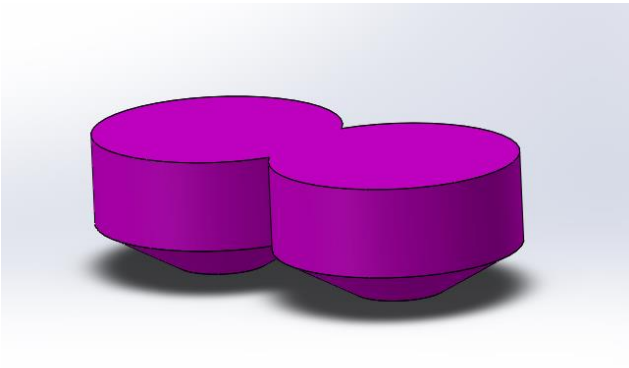
KUVA 14. Valurautavalun virtaushäviökertoimia kaatoaltaan ja kanavistotyypistä riippuen (Niemi 2010)

Lopuksi lasketaan koko valukanaviston pituus ja päätetään sen paksuus. Lasketaan kanavan poikkipinta ala, kaatokanavan ja jakokanavan mitat, valitaan kaatokanavan läpimitta valukanavien määrän perusteella ja mitataan jakokanavan pituus. Lopuksi lasketaan häviökerroin ja tarkastellaan, ovatko valinnat onnistuneita. Jos eivät, valitaan toinen valukanavisto ja tarkastetaan asiat uudestaan. (Niemi 2010.)

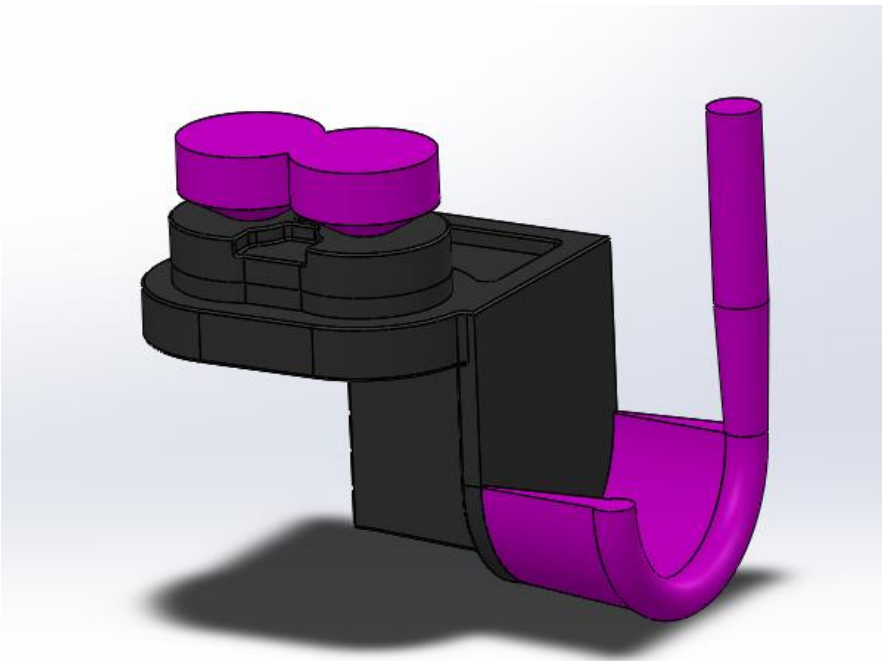
Omaan työhöni käytettävää syöttökanavistoa ei ole mitoitettu, vaan se on tehty silmämääräisesti alkuperäisen toimivan syöttökanaviston pohjalta. Lopuksi tarkastellaan simuloinnin avulla kanaviston toimivuutta käytännössä.



KUVA 15. Opinnäytetyön syöttökanavisto



KUVA 16. Opinnäytetyön syöttökuvut



KUVA 17. Opinnäytetyössä valettava kappale syöttöjärjestelmän kanssa

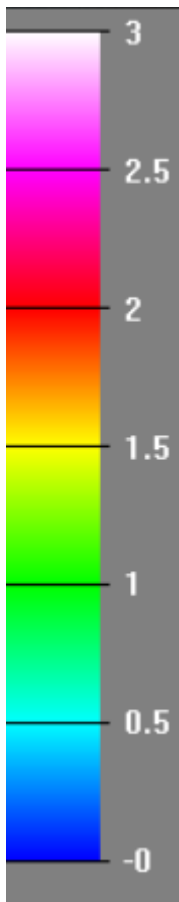
Kuvissa 15 ja 16 on 3D-mallinnettuna tekemäni syöttökanavisto ja syöttökuvut. Kuvassa 17 ne on sijoitettu valettavaan kappaleeseen niille paikoille, joissa ne muotissa tulisivat olemaan.

## 5 SIMULAATION TARKASTELU

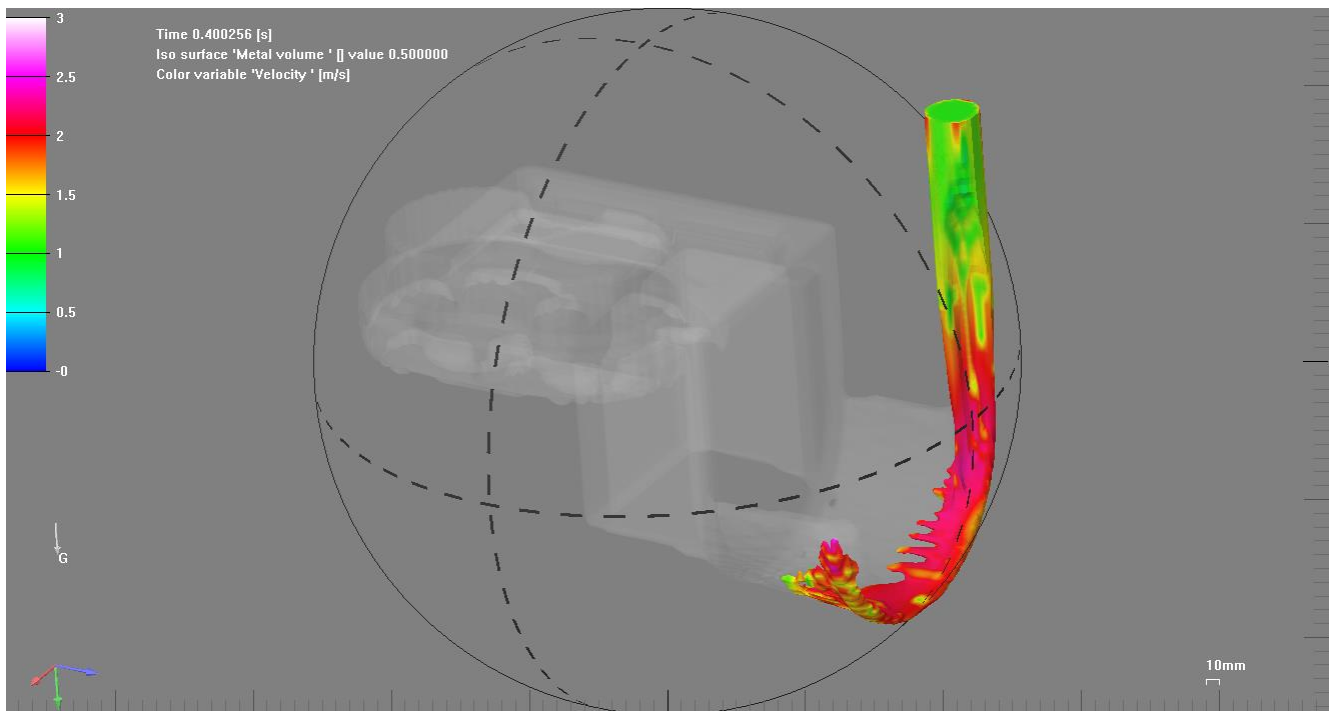
Syöttökanaviston toimivuutta tarkasteltiin Flow-3D Cast-valusimulointiohjelmalla. Tässä verrataan silmämääräisesti tehtyjen syöttökupujen ja kanaviston toimivuutta alkuperäisiin.

### 5.1 Syöttökanaviston simulaatiotulokset

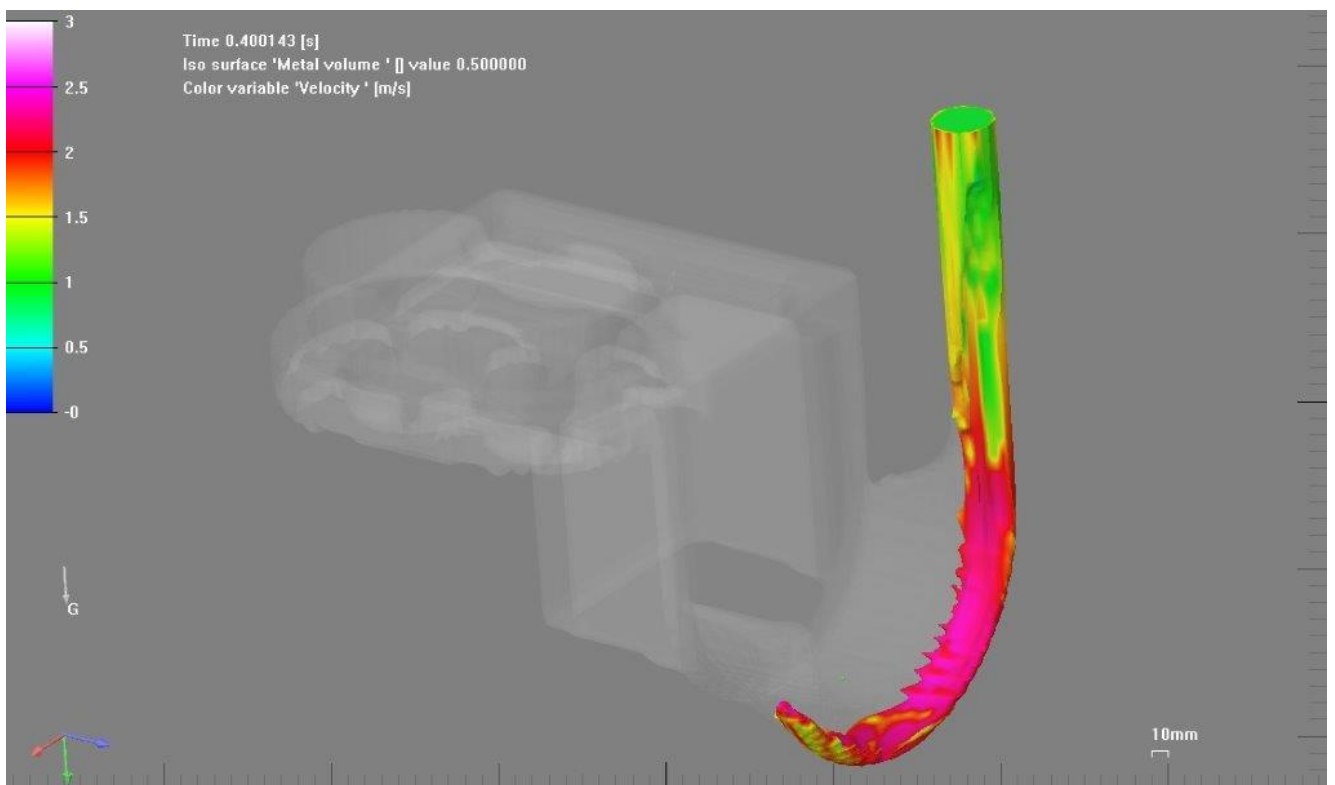
Seuraavaksi tarkastelen syöttökanaviston simulaatiotuloksia värikaavioiden avulla. Kuvissa eri värit kuvaavat sulan metallin virtausnopeutta muotissa. Värejä kuvataan heatmapin värikartaston avulla, jossa yläpäässä on korkein nopeus kriittisenä 3 m/s nopeutena ja alhaalla sinisenä nopeus 0m/s. Virtausnopeus ei saisi ylittää 2,5 m/s, sillä se voi aiheuttaa muotin murenemistä ja täten hiekkasulkeumia valukappaleeseen. Kuvassa 18 näkyvää heatmappia käytetään virtausnopeuden tulkitsemiseen.



KUVA 18. Heatmap, joka kuvaa sulan virtausnopeutta

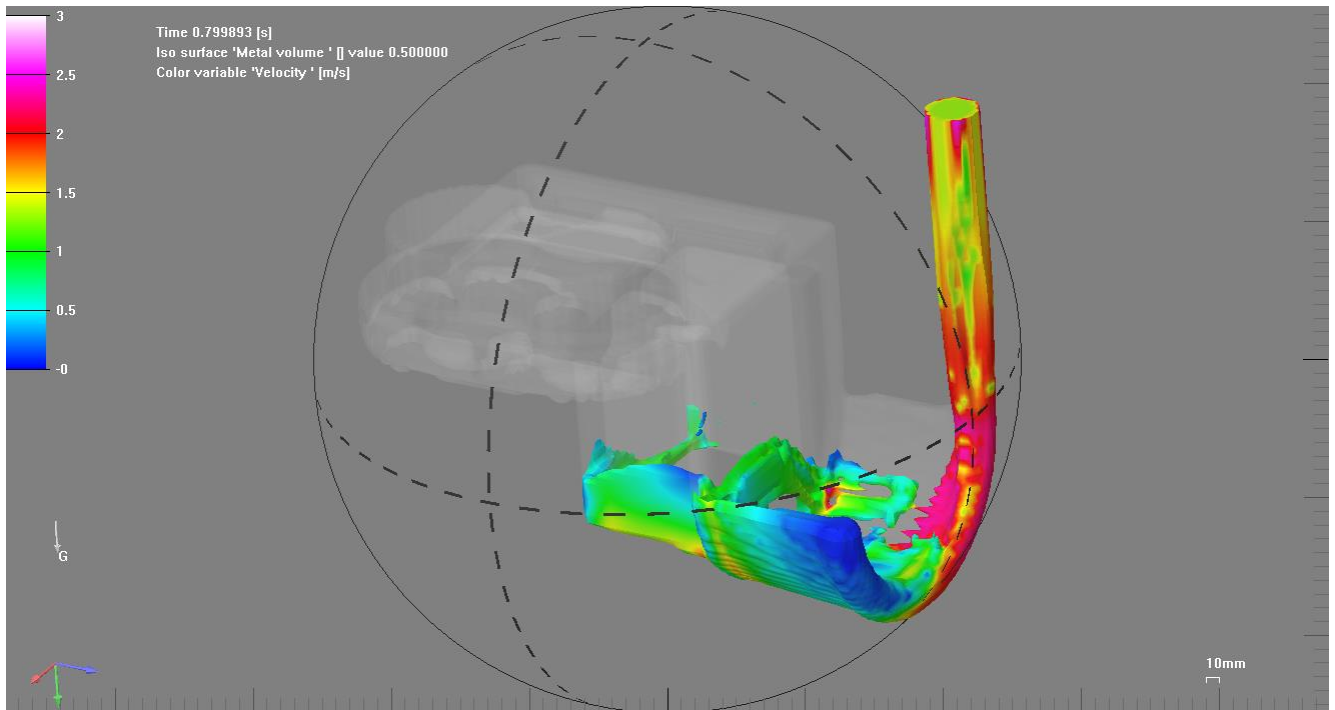


KUVA 19. Sulan virtaus 0,4 s:n kohdalla kaatamisesta minun tekemässäni syöttökanavassa



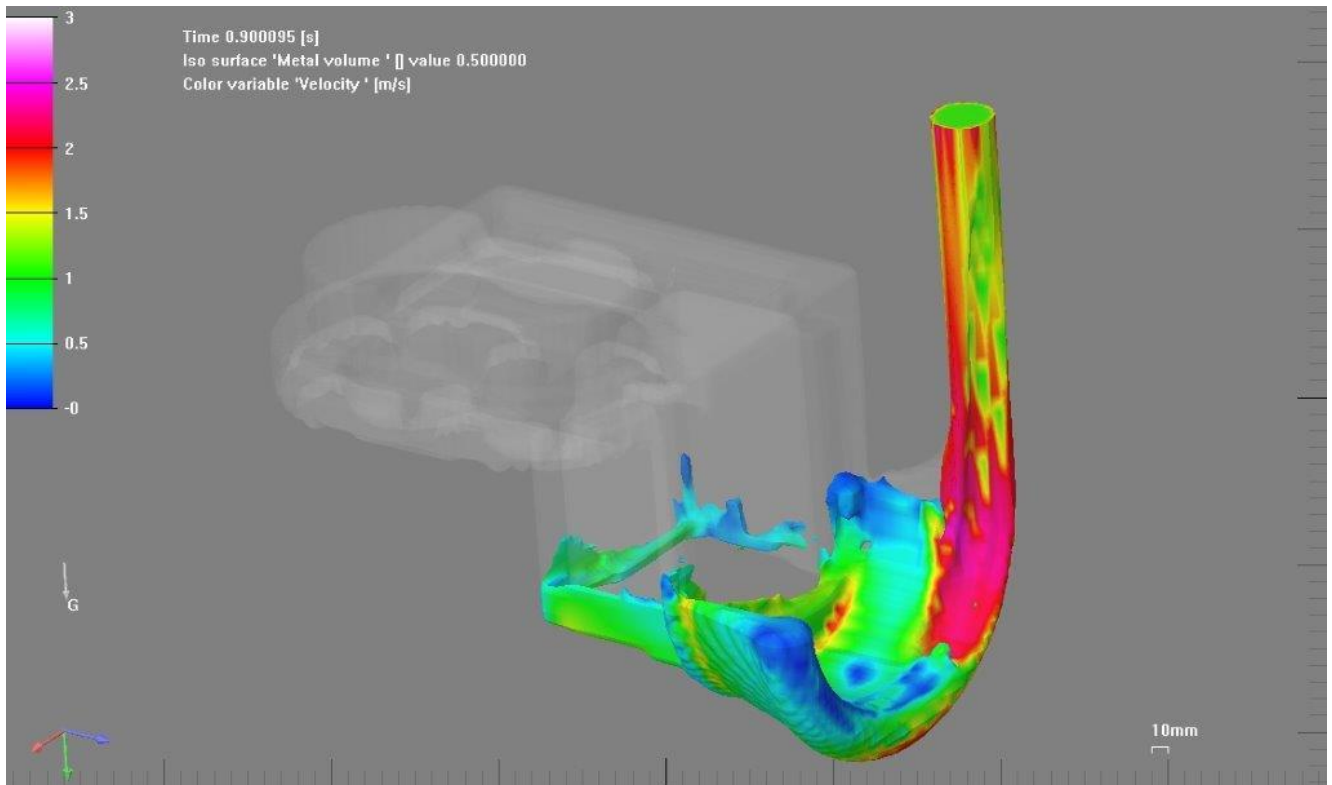
KUVA 20. Sulan virtaus 0,4 s:n kohdalla alkuperäisessä syöttökanavassa

Kuvissa 19 ja 20 näkyy 0,4 sekunnin kohdalla, että sulan virtaaminen on molemmissa kanavistoissa lähes identtistä, eikä niiden toimivuudessa voi havaita mitään merkittäviä eroja. Sulan virtausnopeus on suurimmillaan reilut 2 m/s.



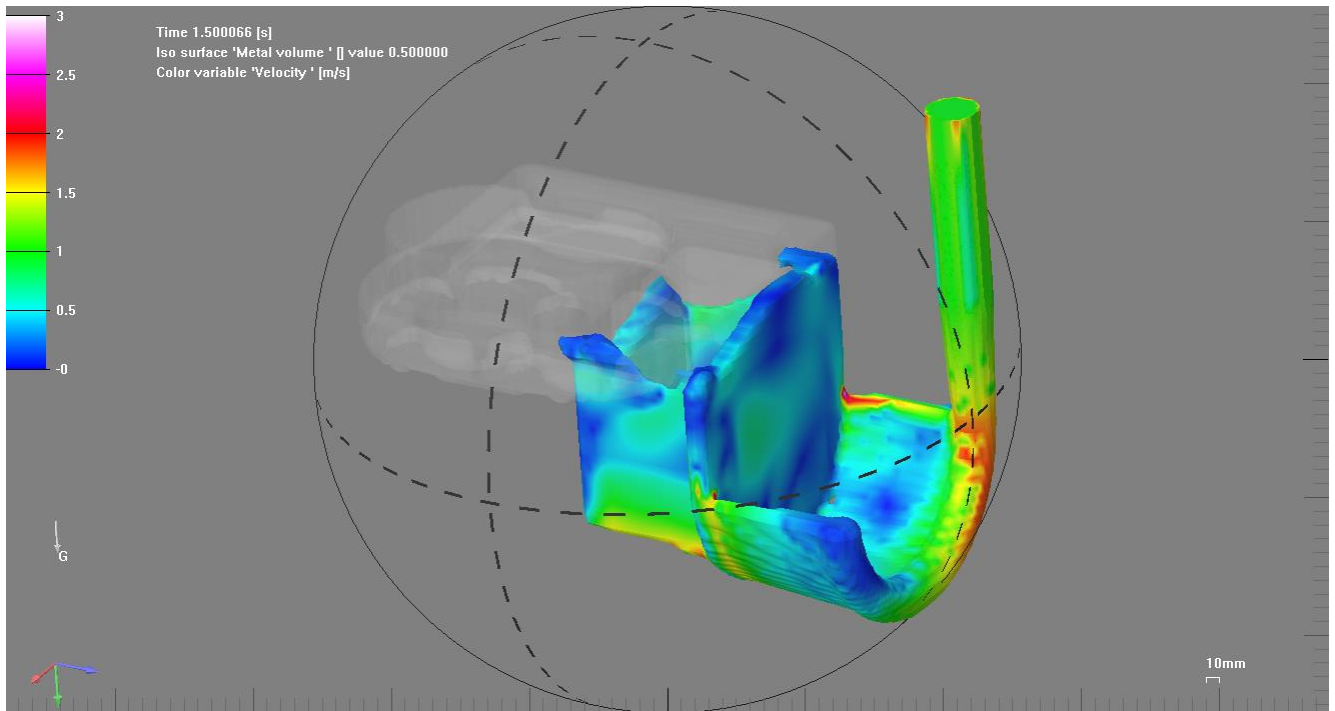
KUVA 21. Sulan virtaus 0,8 s:n kohdalla minun tekemässäni kanavistossa



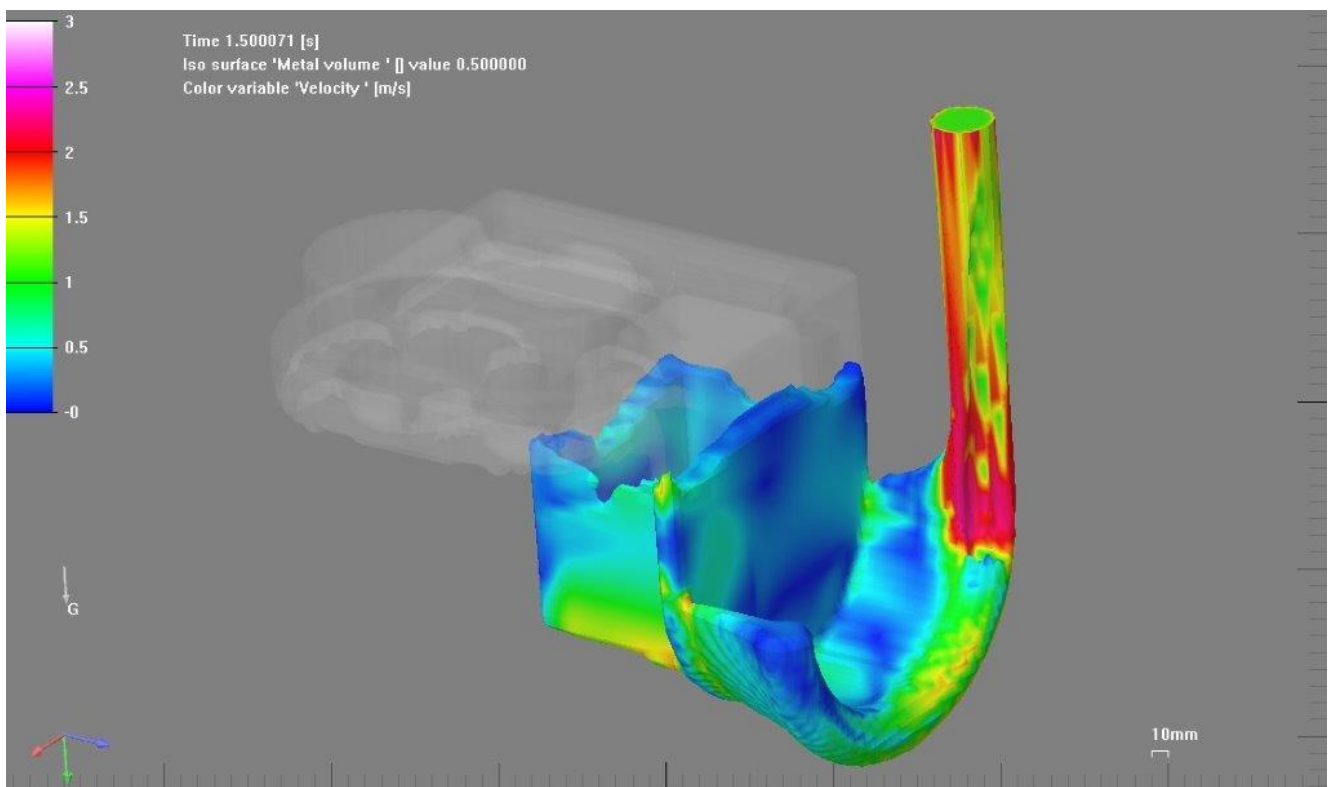


KUVA 22. Sulan virtaus 0,9 s:n kohdalla alkuperäisessä kanavistossa

Kuvissa 21 ja 22 nähdään, ettei 0,9 sekunnin kohdallakaan voida huomata juuri mitään eroa sulan käyttäytymisessä kanavien välillä. Virtausnopeus ei ole kasvanut liian suureksi ja kaikki näyttää hyvältä.

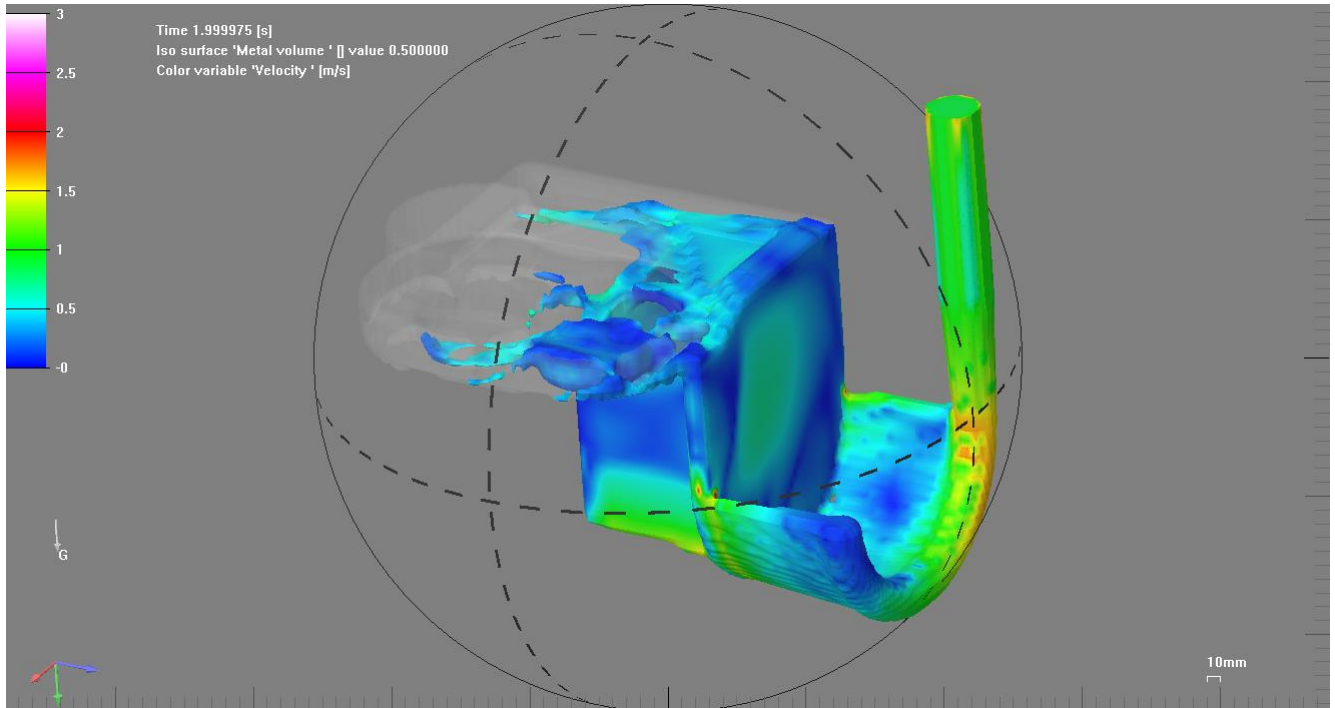


KUVA 23. Sulan virtaus 1,5 s:n kohdalla minun tekemässäni kanavistossa

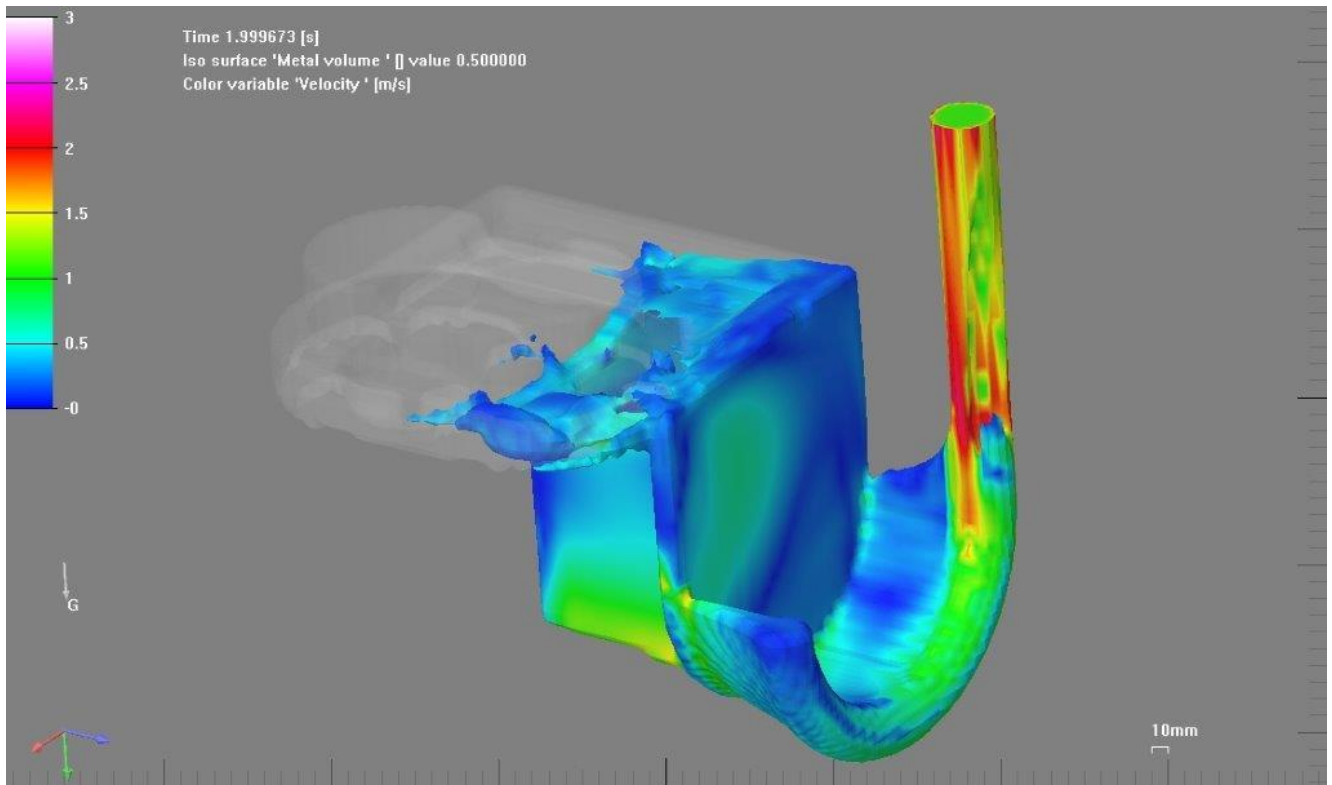


KUVA 24. Sulan virtaus 1,5 s:n kohdalla alkuperäisessä kanavistossa

Kuvissa 23 ja 24 ei ole havaittavissa kriittisiä muutoksia sulan virtausnopeudessa. Alkuperäisessä kaatokanavassa virtausnopeus on suurempi kuin minun tekemässäni, mutta sillä ei ole merkitystä muotin täyttymisen kannalta.

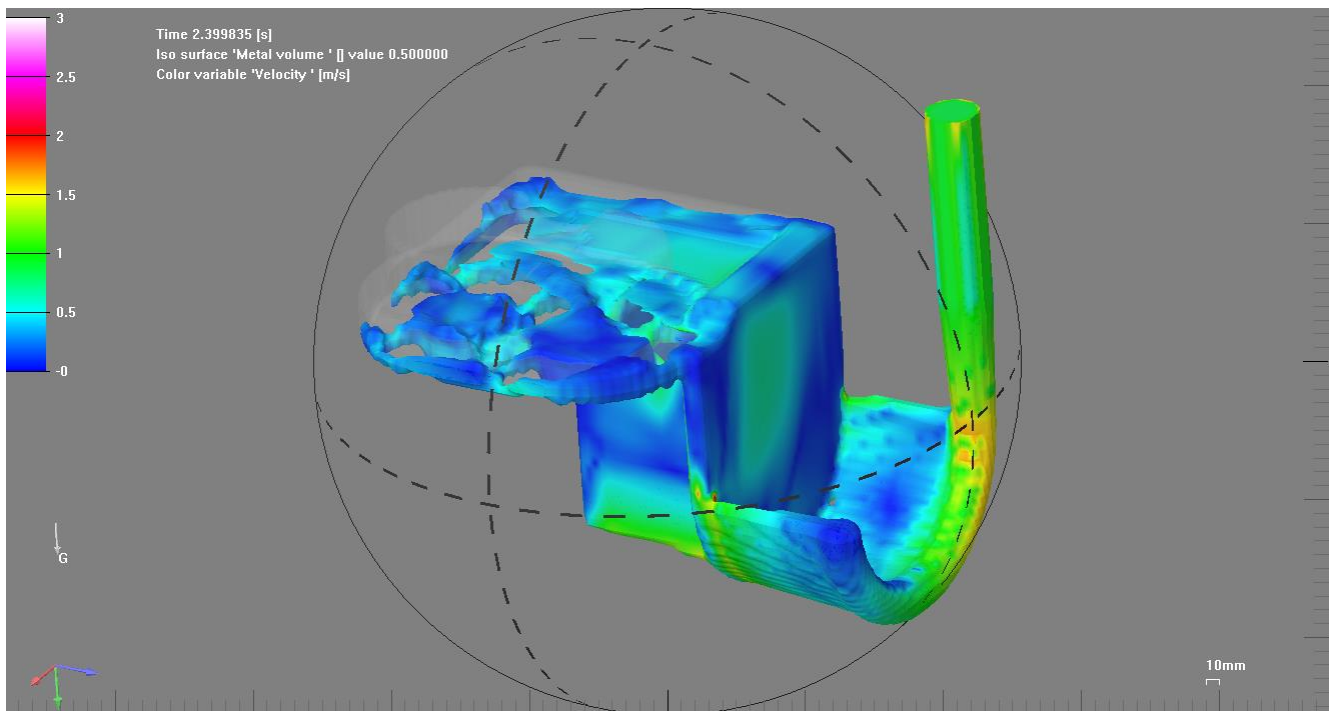


KUVA 25. Sulan virtaus 2,0 s:n kohdalla minun tekemässäni kanavistossa

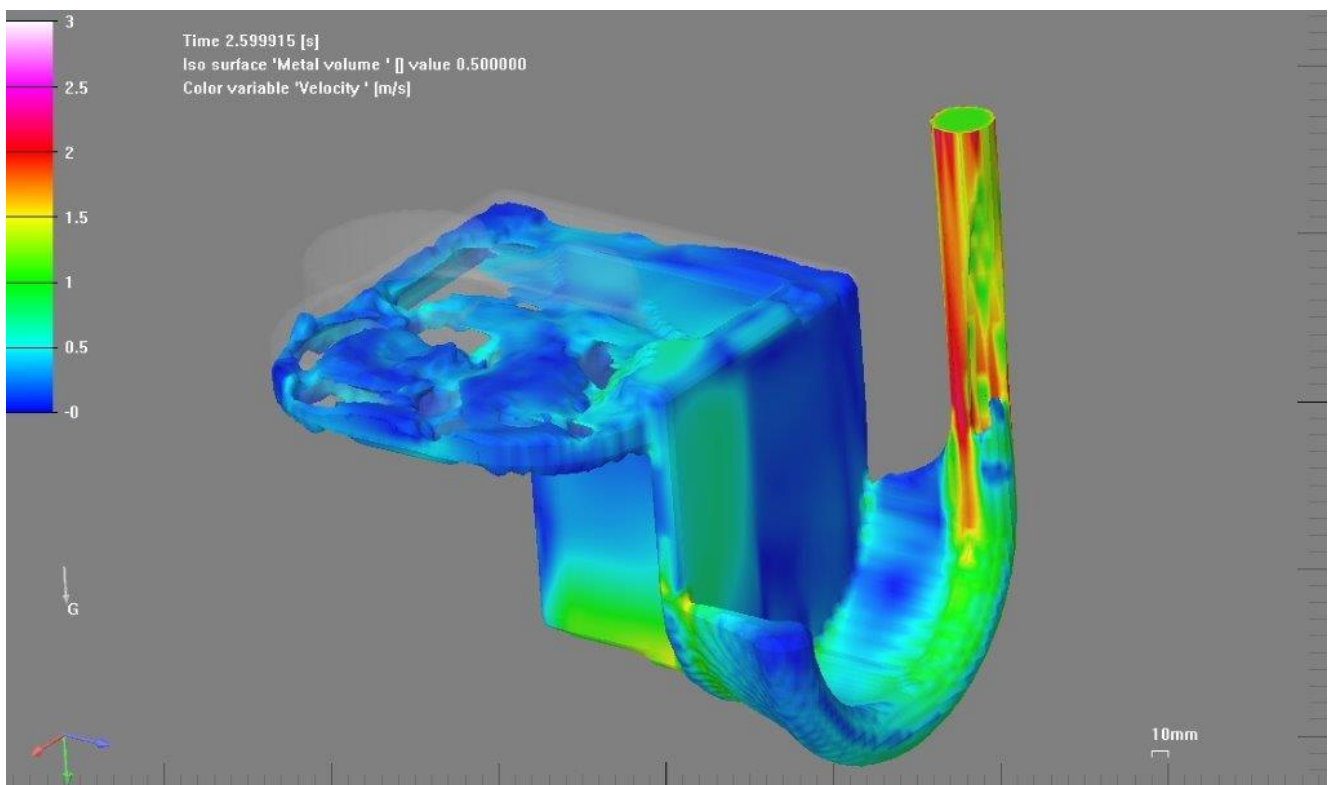


KUVA 26. Sulan virtaus 2,0 s:n kohdalla alkuperäisessä kanavistossa

Kuvista 25 ja 26 nähdään, kuinka kahden sekunnin kohdalla kanavistot toimivat yhä lähes identtisesti. Ainut ero niiden välillä tässä vaiheessa on, että minun tekemälläni kanavistolla muotti on täyttynyt hiukan enemmän, kuin alkuperäisellä kanavistolla.

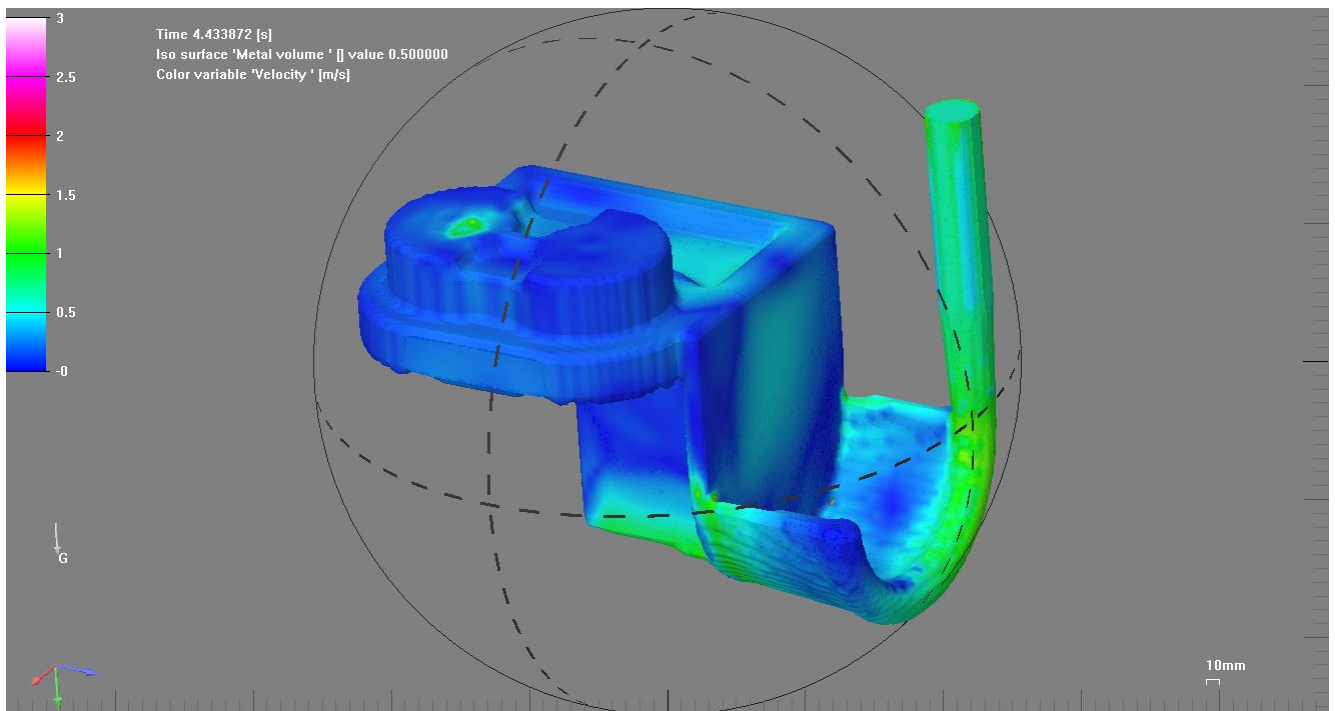


KUVA 27. Sulan virtaus 2,4 s:n kohdalla minun tekemässäni kanavistossa

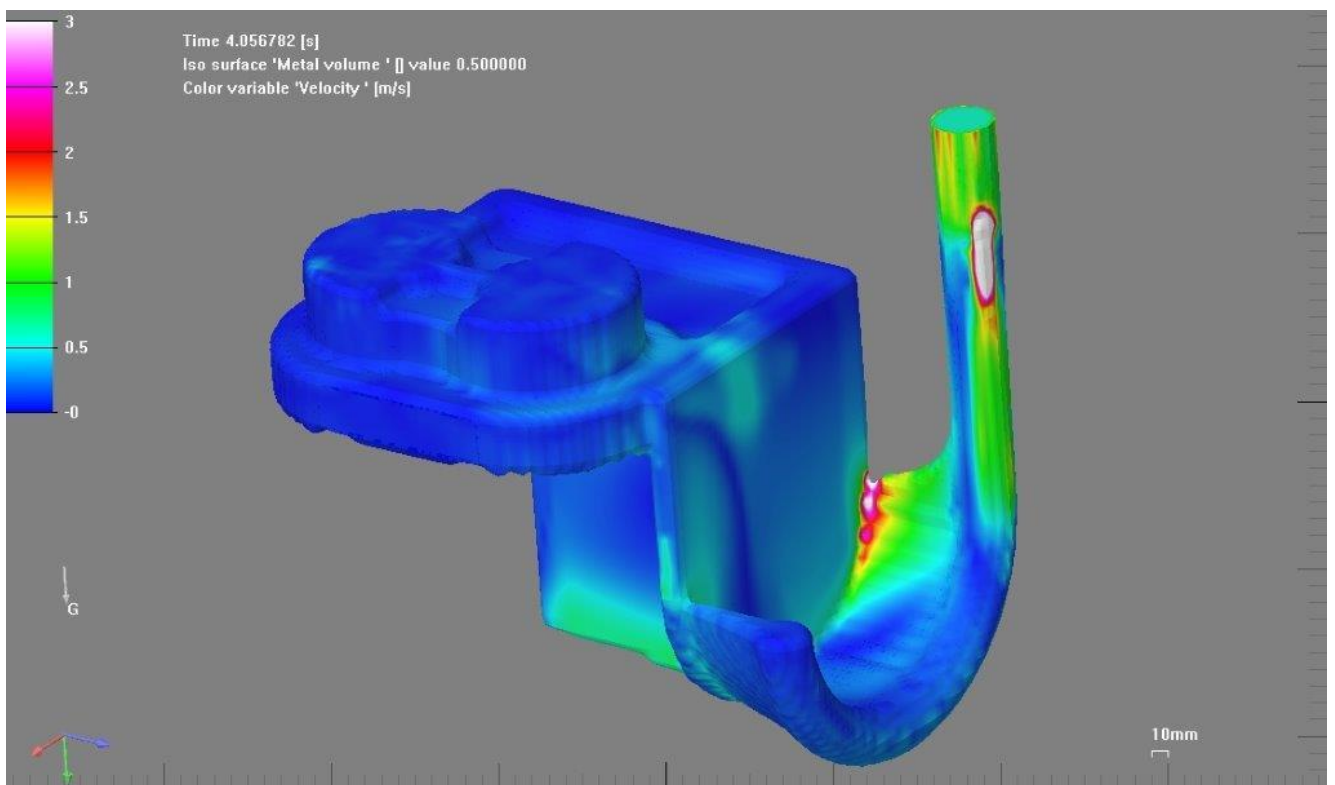


KUVA 28. Sulan virtaus 2,6 s:n kohdalla alkuperäisessä kanavistossa

Kuvissa 27 ja 28 nähdään, että muotti täyttyy sopivalla nopeudella. Muotit ovat täyttyneet lähes samaa vauhtia.



KUVA 29. Sulan virtaus, kun muotti on täyttynyt tekemässäni kanavistossa

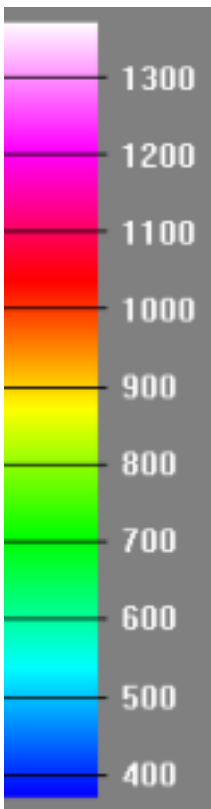


KUVA 30. Sulan virtaus muotin täytyttyä alkuperäisessä kanavistossa

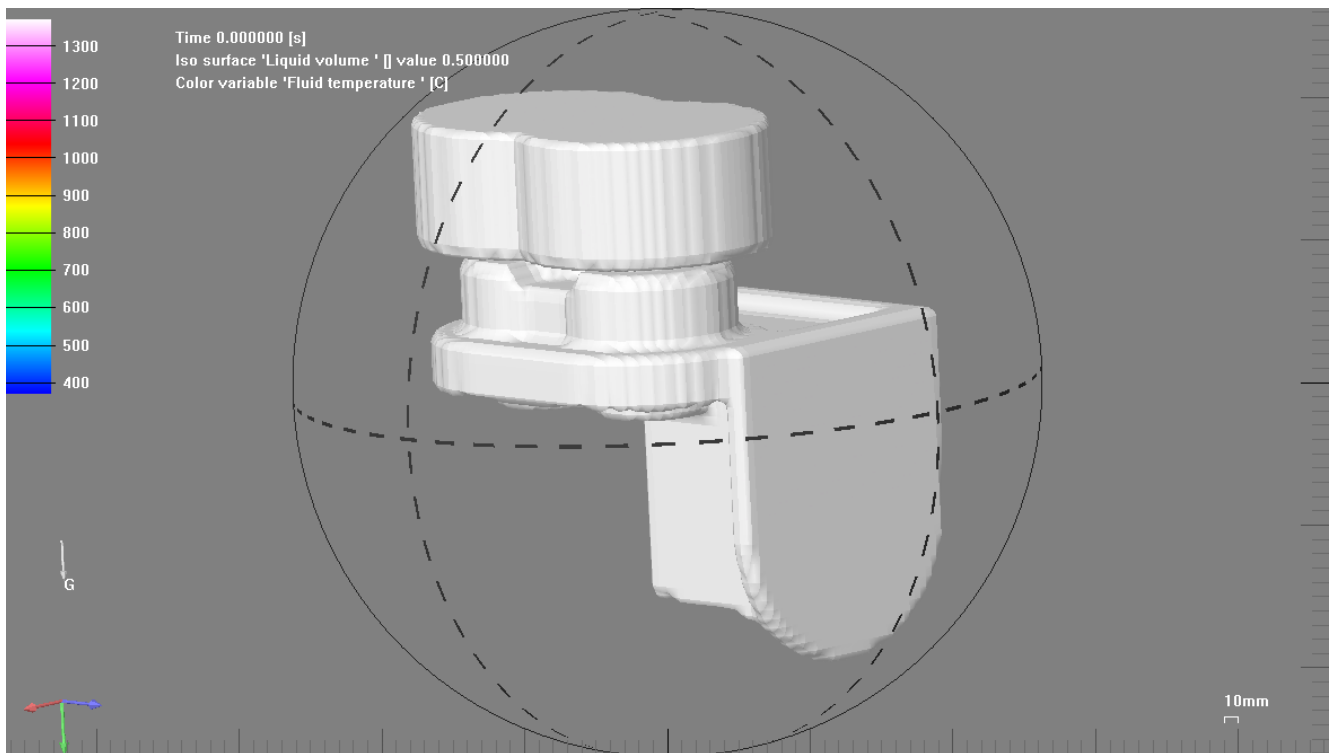
Kuvista 29 ja 30 voidaan todeta, ettei syöttökanavistojen toimivuudessa ollut juurikaan eroa ja silmämääräisesti tehty syöttökanavisto olisi toiminut ihan yhtä hyvin kuin alkuperäinen kanavisto. Kuvassa 30 nähdään valkoisesta väristä kaatokanavassa, että nopeus on noussut melko suureksi (3 m/s), mutta muotti on jo täyttynyt, joten tällä ei ole merkitystä lopputulokseen.

## 5.2 Syöttökupujen simulaatiotulokset

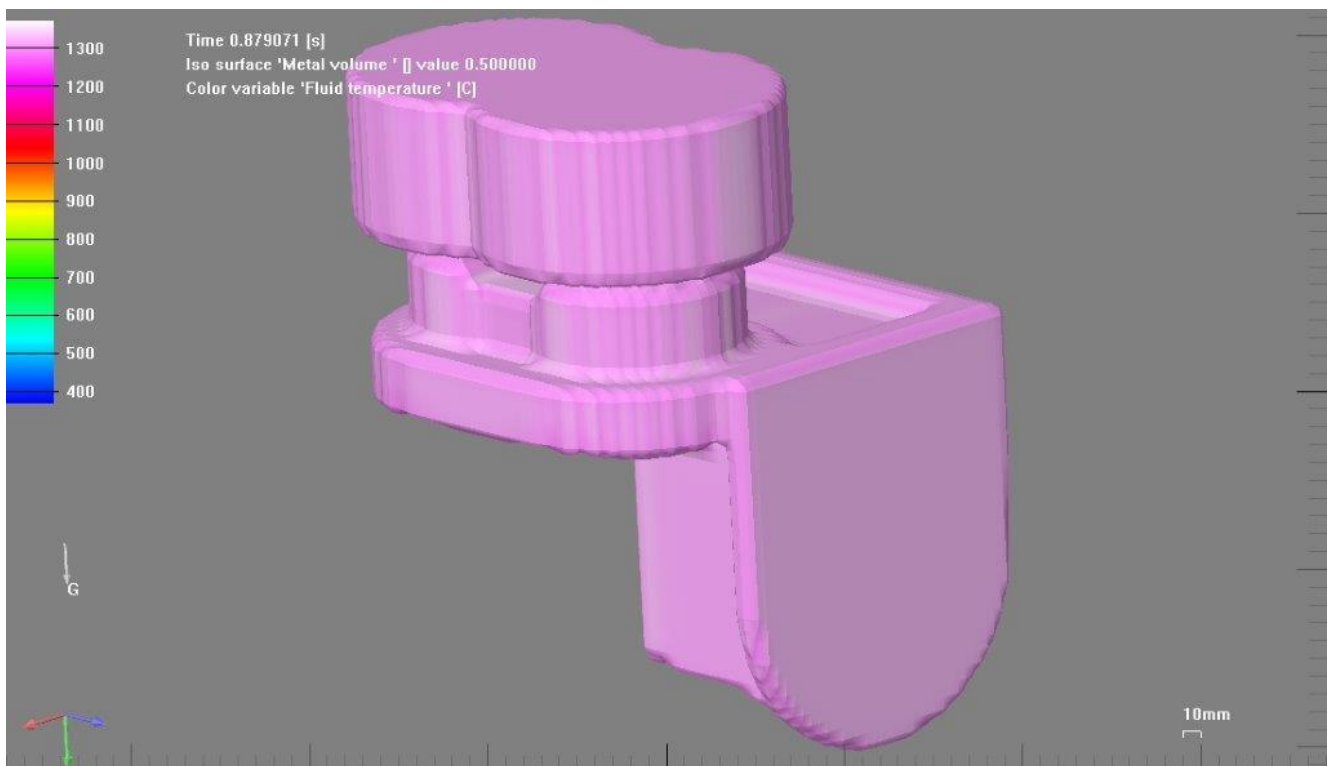
Seuraavaksi tarkastelen syöttökupujen simulaatiotuloksia. Simulaatiokuvissa värit kuvaavat jäähtyvän sulan lämpötilaa heatmapin avulla. Simulaatiossa tarkasteltavana on, että sulaa metallia ei jäisi yksittäisiin saarekkeisiin kappaleen sisälle. Näin vältetään kappaleeseen tulevat imut, eikä kutistumaonteloita synny. Kuvan 31 heatmap kuvaa sulan metallin lämpötilaa celsius asteina.



KUVA 31. Heatmap, joka kuvaa sulan metallin lämpötilaa



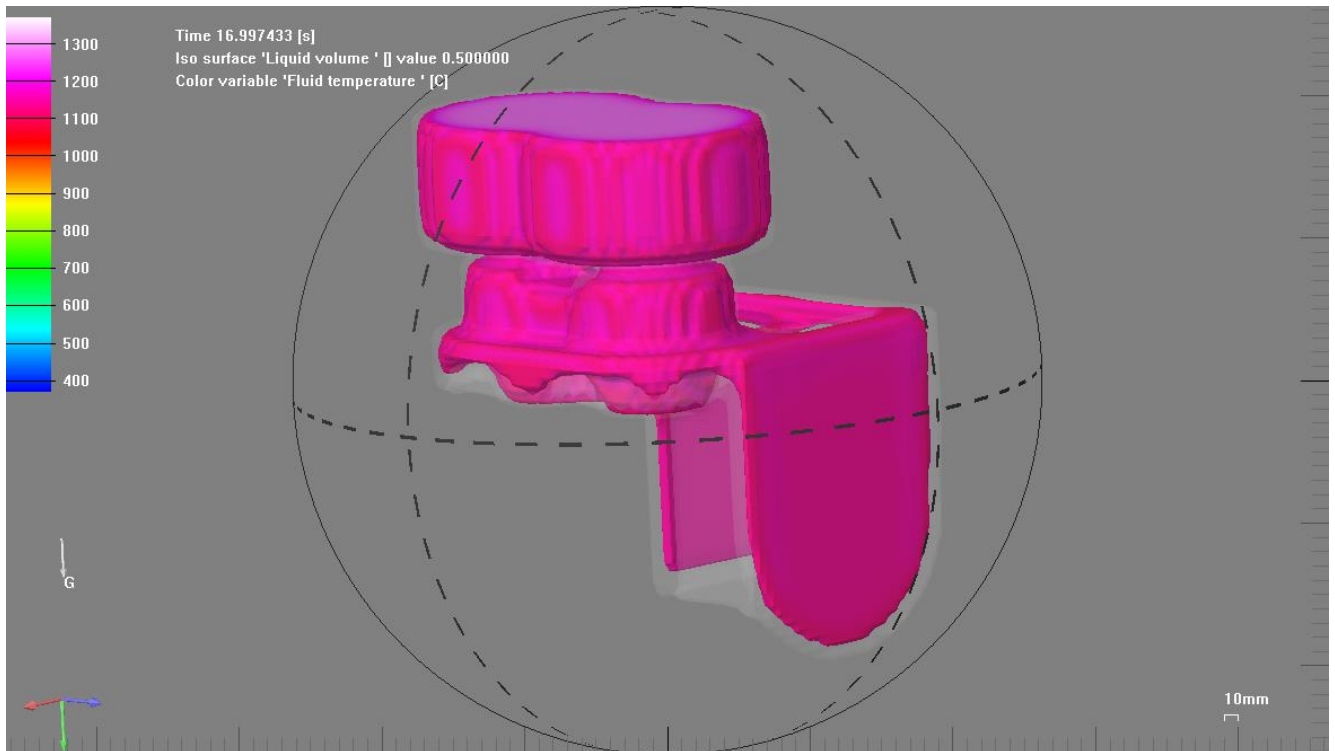
KUVA 32. Jäähtymisen alkuvaihe tekemissäni syöttökuvuissa



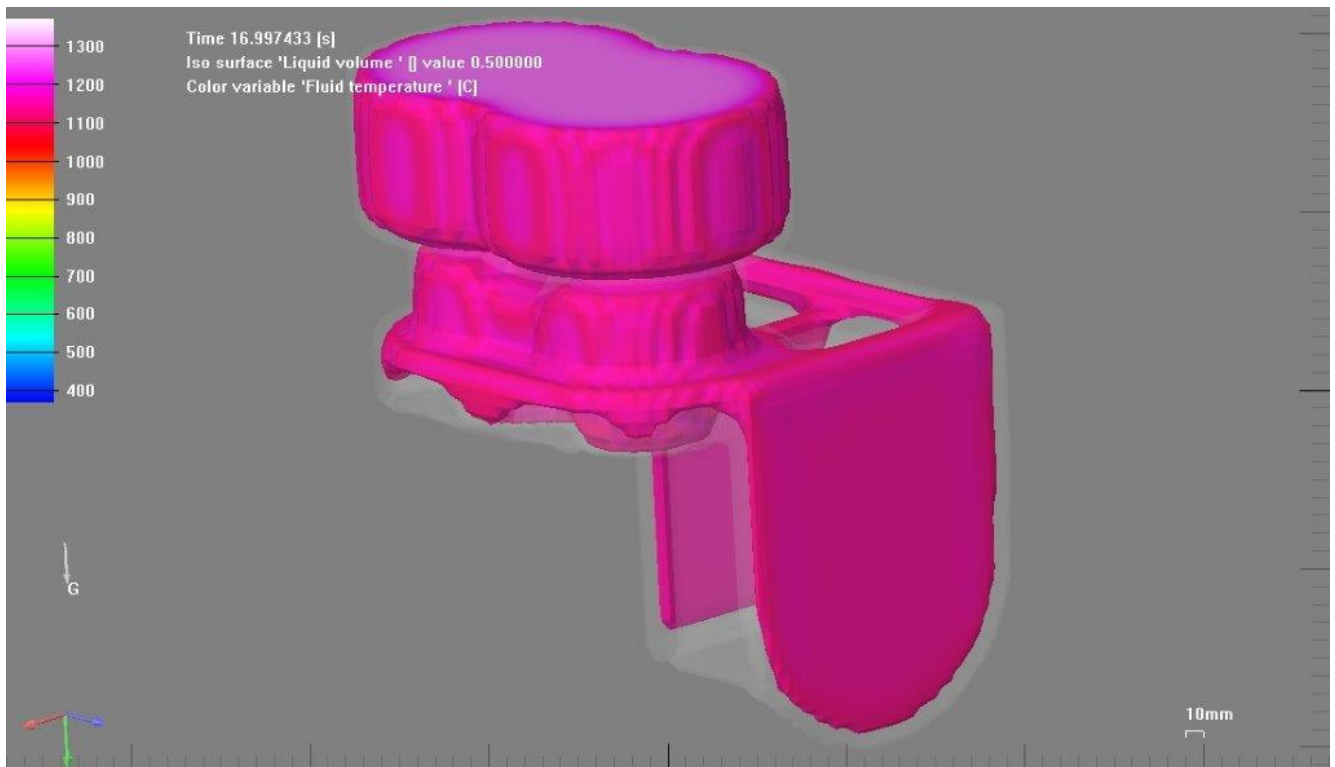
KUVA 33. Jäähtymisen alkuvaihe alkuperäisillä syöttökuvuilla

Kuvissa 32 ja 33 nähdään muotin sulan lämpötila jäähtymisen alkuvaiheessa ja se on molemmissa kappaleissa eli noin 1300 astetta.



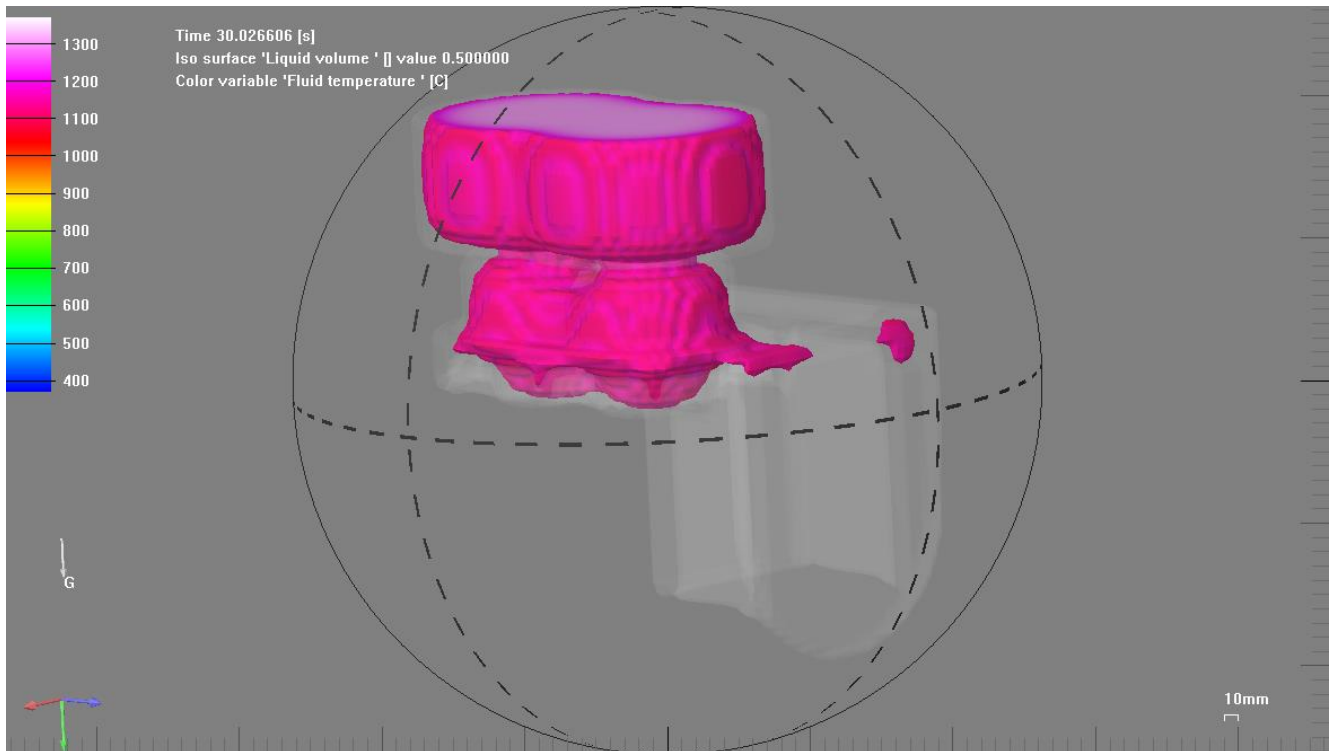


KUVA 34. Jäähtyminen 17 sekunnin kohdalla tekemissäni syöttökuvuissa

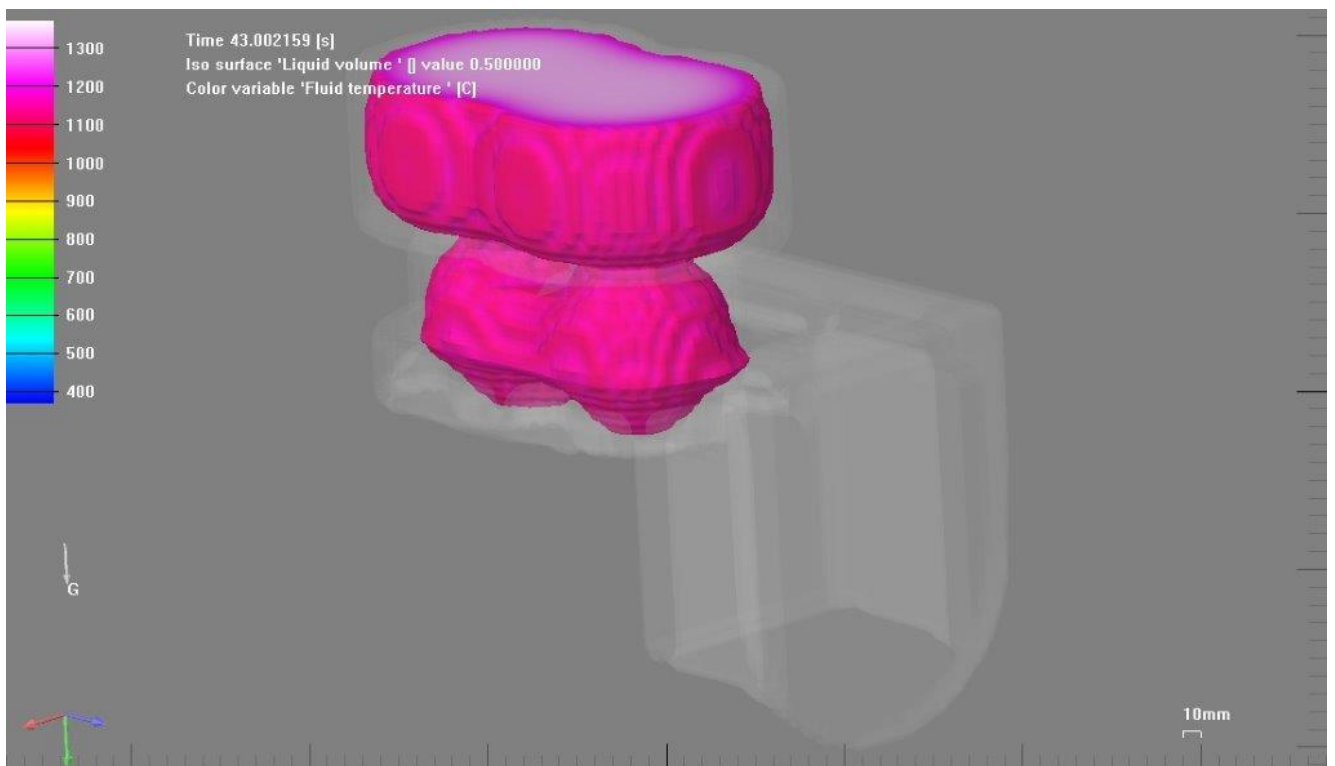


KUVA 35. Jäähtyminen 17 sekunnin kohdalla alkuperäisissä syöttökuvuissa

Kuvissa 34 ja 35 muotissa olevan sulan lämpötila on noin 1100-1200 astetta. Kappaleeseen ei ole muodostunut yksittäisiä saarekkeita, jotka aiheuttaisivat kutistumia.



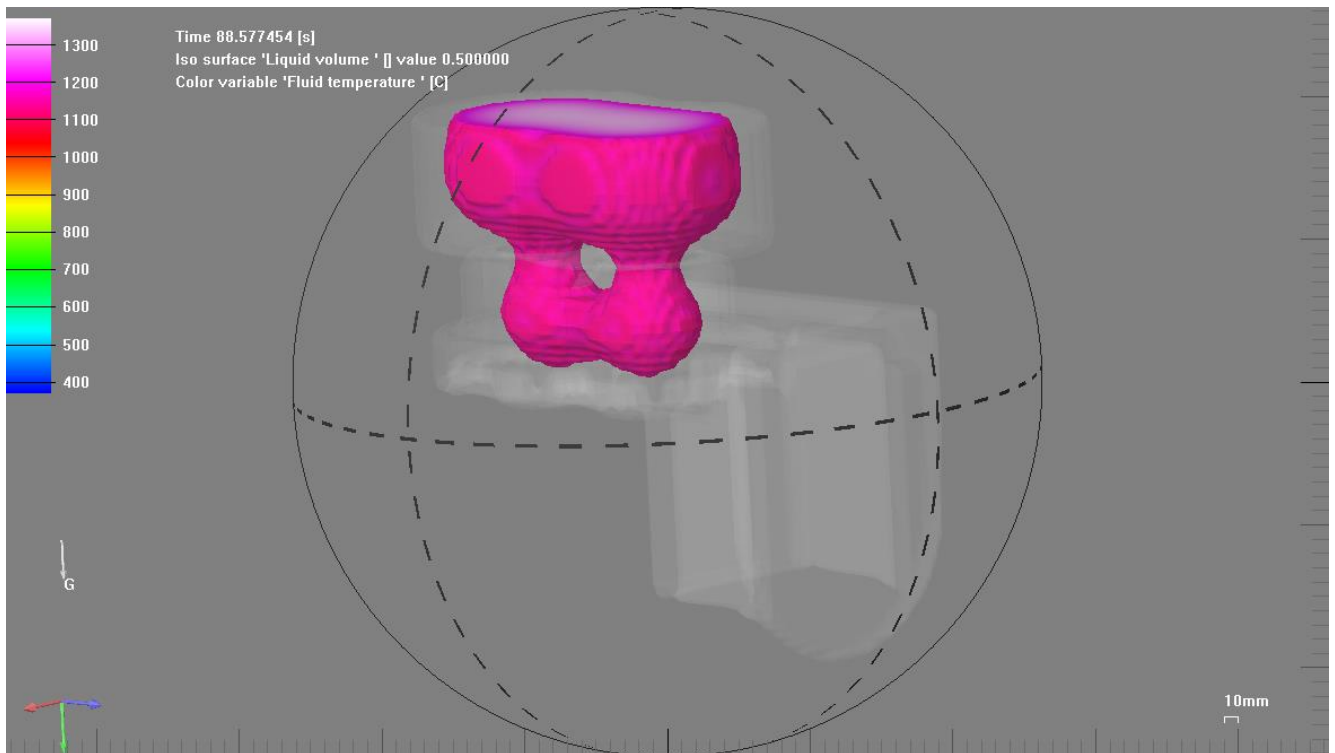
KUVA 36. Jäähtyminen 30 sekunnin kohdalla tekemissäni syöttökuvuissa



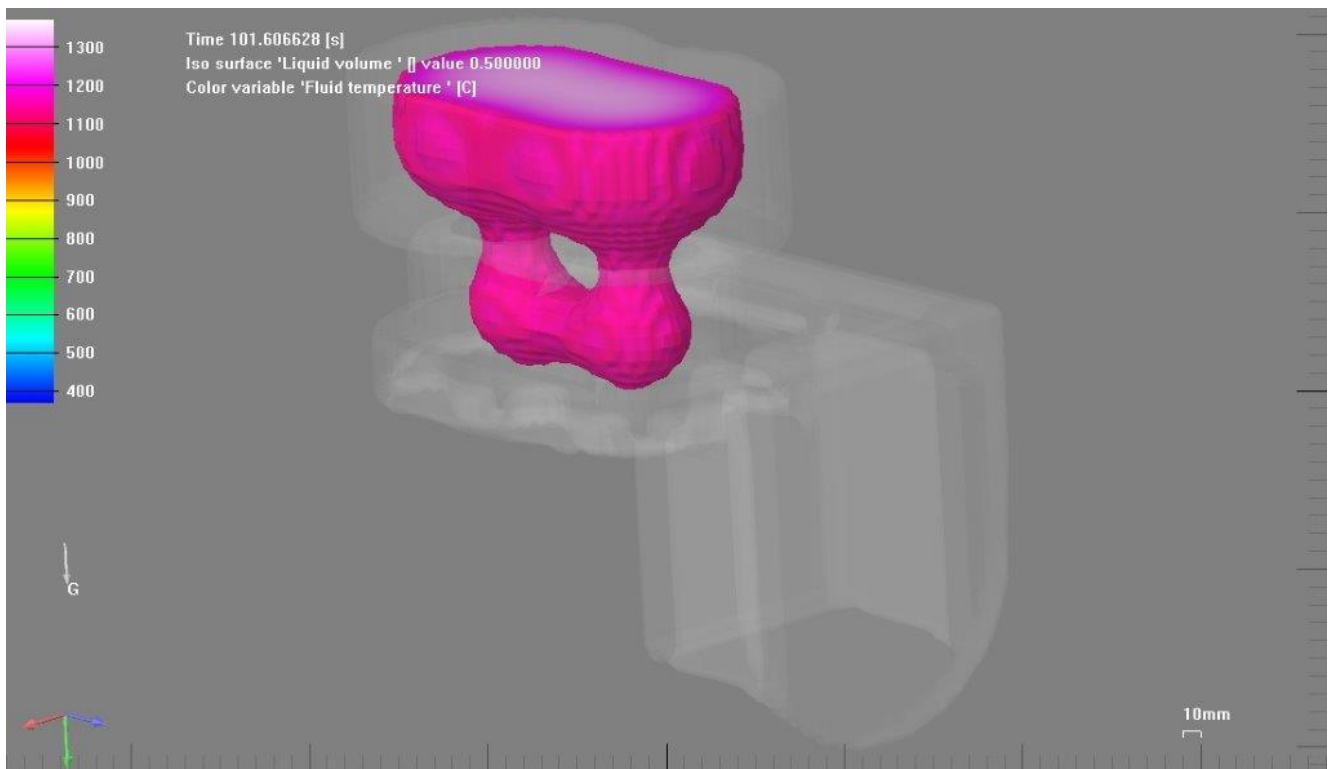
KUVA 37. Jäähtyminen 43 sekunnin kohdalla alkuperäisissä syöttökuvuissa

Kuvasta 36 nähdään kuinka tekemäni syöttökupu ei syötä kappaletta tarpeeksi. Kappaleen reunaan muodostuu kutistuma, mikä voidaan havaita irrallaan olevana sulana alueena, joka

on kuvattuna pinkillä värillä. Kuvasta 37 voidaan nähdä, että alkuperäisellä syöttökuvuilla tätä ongelmaa ei ole.

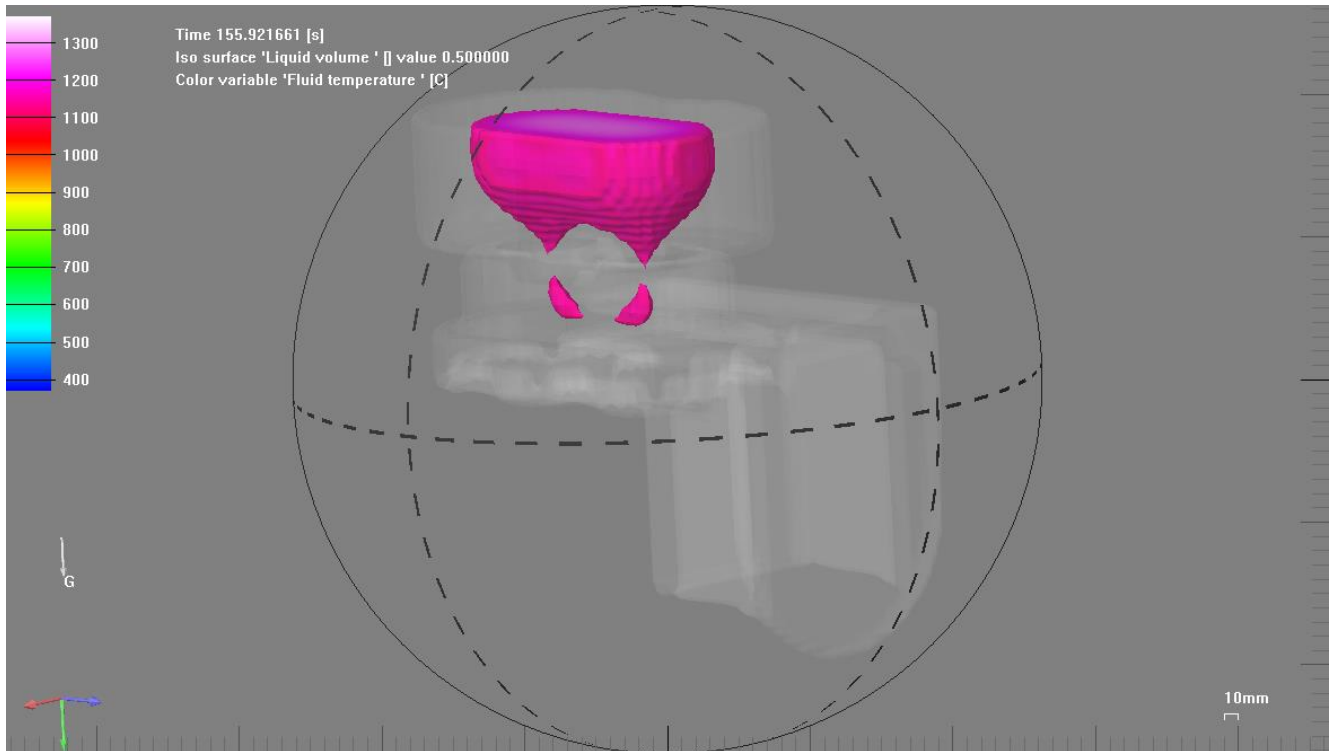


KUVA 38. Jäähtyminen 88 sekunnin kohdalla tekemissäni syöttökuvuissa

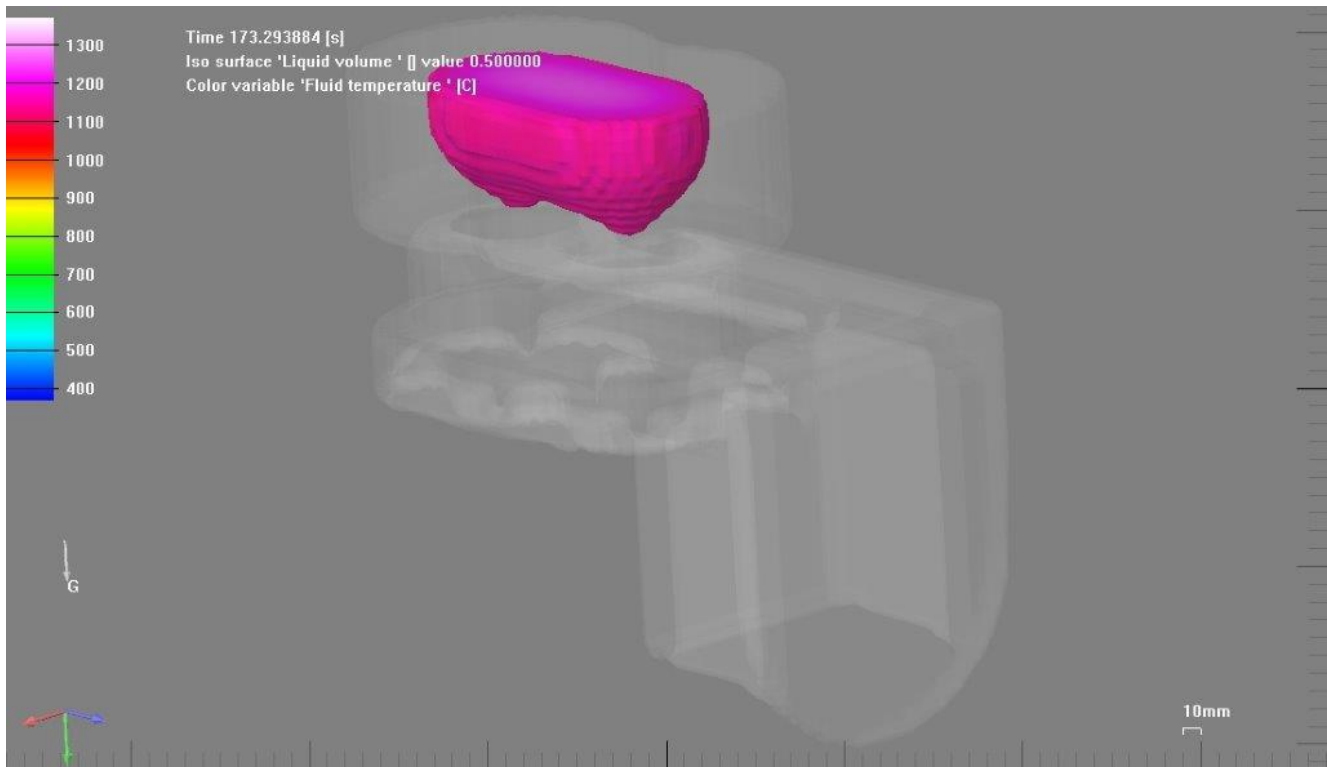


KUVA 39. Jäähtyminen 100 sekunnin kohdalla alkuperäisissä syöttökuvuissa

Kuvassa 38 nähdään, kuinka kuvassa 36 havaittu sula alue on hävinnyt. Kuvassa 36 havaittuun kohtaan on todennäköisesti muodostunut kutistuma. Kuvassa 39 jäähtyminen on identtistä kuvan 38 jäähtymisen kanssa eikä sulaa metallia ole enää kuin syöttökuvuissa ja niiden alapuolella.



KUVA 40. Jäähtyminen 155 sekunnin kohdalla tekemissäni syöttökuvuissa



KUVA 41. Jäähtyminen 173 sekunnin kohdalla alkuperäisissä syöttökuvuissa

Kuvassa 40 nähdään, kuinka jäähtymisen loppuvaiheella kappaleen sisään jää kutistuma vyöhyke, joka tulisi esiin koneistuksessa. Tämä nähdään syöttökupujen alapuolelle jäävinä pinkkeinä alueina. Tällöin koko kappale olisi käyttökelvoton. Alkuperäisillä syöttökuvuilla tätä kutistumaa ei muodostu, kuten kuvasta 41 voidaan nähdä sillä syöttökupujen alla ei ole pinkkiä sulaa aluetta. Tästä voidaan päätellä, että syöttökupujen mitoittaminen laskemalla on tärkeää tehdä oikealla tavalla juuri kyseessä olevalle kappaleelle.

## 6 POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli 3D-mallintaa valettava kappale 2D-piirustusten pohjalta ja mallintaa kappaleelle syöttökanavisto ja syöttökuvut. Tämän jälkeen syöttökanaviston ja syöttökupujen toimivuutta tarkasteltiin simuloinnin avulla. Opinnäytetyön aihe saatiin Hänninen Engineering Oy:ltä, simulaatiossa hyödynnettiin yrityksen Flow-3D Cast-valusimulointiohjelmää.

Työn 3D-mallinnusvaiheessa haastavinta oli mitoituksen säilyminen oikeanlaisena. Tämän vaikeuden aiheutti useiden pursotusten määrä eri suuntiin, jolloin kokonaispaksuus helposti muuttui vääräksi. Myös pohjan jäykisteiden muotoilu oli haastavaa pyöristysten takia. Muuten mallinnus ei tuottanut ylitsepääsemättömiä vaikeuksia vaan onnistui hyvin.

Valusimulaatiosta saatujen tulosten perusteella osoittautui tärkeäksi, että syöttökanavistot ja syöttökuvut on mitoitettu laskemalla juuri oikeanlaisiksi. Vaikka syöttökanavisto osoittautuikin simulaatiossa toimivaksi, silmämääräisesti mitoitettu kanavisto ei takaa sen toimivuutta. Tämä tuli esille syöttökupujen simuloinnissa, kun huomattiin, että kappaleeseen muodostui kutistumia syöttökupujen väärän mitoituksen takia.

## LÄHTEET

Hänninen, J. 2018. Hänninen Engineering Oy. <http://www.hanninen-engineering.fi> . Viitattu 14.2.2018

Meskanen, S. & Höök, T. 2015. Valumenetelmät. Julkaisussa ValuAtlas – Suunnittelijan perusopas. [http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/perusopas\\_03.pdf](http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/perusopas_03.pdf). Viitattu 18.1.2017

Niemi, P. 2010. Syöttöjärjestelmän suunnittelu. Julkaisussa ValuAtlas & Tampereen ammattiopisto – Valun suunnittelutekniikka. [http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/PN\\_valun suunnittelu\\_20.pdf](http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/PN_valun suunnittelu_20.pdf) . Viitattu 31.1.2017

Niemi, P. 2010. Valukanaviston laskeminen. Julkaisussa ValuAtlas & Tampereen ammattiopisto – Valun suunnittelutekniikka. [http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/PN\\_valun suunnittelu\\_21.pdf](http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/PN_valun suunnittelu_21.pdf) . Viitattu 2.3.2018

Niemi, P. 2010. Suunnattu jähmettyminen. Julkaisussa ValuAtlas & Tampereen ammattiopisto – Valun suunnittelutekniikka. [http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/PN\\_valun suunnittelu\\_11.pdf](http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/PN_valun suunnittelu_11.pdf) . Viitattu 18.3.2018

3D Formtech 2014. Mitä 3D-tulostus on? <http://www.3dformtech.fi/3d-tulostus/mita-3d-tulostus-on/>. Viitattu 20.10.2017

SolidWorks 2017. Tietoja SOLIDWORKSISTA. [http://www.solidworks.fi/sw/6453\\_SVF\\_HTML.htm](http://www.solidworks.fi/sw/6453_SVF_HTML.htm). Viitattu 26.11.2017

Tunturimedia 2015. 3D-Mallinnus. <http://tunturimedia.fi/3d-mallinnus/>. Viitattu 26.11.2017

Slick, J., 2017. What is 3D-modelling? Lifewire. <https://www.lifewire.com/what-is-3d-modeling-2164> Viitattu 26.11.2017

