



**TEKNIikka JA LIIKENNE**

**Kone- ja tuotantotekniikka**

**Tuotantotekniikka**

**INSINÖÖRITYÖ**

**LAADUN JA KUSTANNUSTEHOKKUUDEN PARANTAMINEN SARJATUOTANTO-  
VALIMOSSA VALUTEKNISEN SUUNNITTELUN JA SIMULOINNIN AVULLA**

**Työn tekijä: Pasi Edelman  
Työn ohjaaja: Arto HUUHTANEN  
Työn ohjaaja: Pekka Salonen**

**Työ hyväksytty: \_\_. \_\_. 2010**



## **ALKULAUSE**

Tämä insinööriyö on tehty yhteistyössä Componenta Oyj:n Helsingin Customer Product Centerin sekä kahden Componentan valimon kanssa. Haluan kiittää työni ohjaamisesta, hyvistä neuvoista sekä valimoteknisestä asiantuntemuksesta ohjaajiani kehityspäällikkö Arto Huuhtasta Componenta Oyj:stä sekä kone- ja tuotantotekniikan koulutuspäällikkö Pekka Salosta Metropolia Ammattikorkeakoulusta. Kiitoksen avusta ansaitsevat myös Componenta Oyj:n Customer Product Centerin suunnittelupäällikkö Mikko Mykrä, Heavy Trucks -liiketoiminta-alueen tuotekehityspäällikkö Seppo Paalanen, Wind Power -liiketoiminta-alueen tuotekehityspäällikkö Timo Vuori ja tuotekehitysinsinööri Panu Ukkonen.

Suurin kiitos kaikista kuuluu kuitenkin koko omalle perheelleni, ilman teitä sekä loputonta tukeanne tämä ei olisi kenties ollut mahdollista.

Espoossa 23.4.2010

Pasi Edelman

## TIIVISTELMÄ

<b>Työn tekijä:</b> Pasi Edelman	
<b>Työn nimi:</b> Laadun ja kustannustehokkuuden parantaminen sarjatuotantovalimossa valuteknisen suunnittelun ja simuloinnin avulla	
<b>Päivämäärä:</b> 23.4.2010	<b>Sivumäärä:</b> 72 sivua + 12 liitesivua
<b>Koulutusohjelma:</b> Kone- ja tuotantotekniikka	<b>Ammatillinen suuntautuminen:</b> Tuotantotekniikka
<b>Työn ohjaaja:</b> koulutuspäällikkö Pekka Salonen, Metropolia Ammattikorkeakoulu	
<b>Työn ohjaaja:</b> kehityspäällikkö Arto Huuhtanen, Componenta Oyj	
<p>Tämä insinöörityö on tehty yhteistyössä Componenta Oyj Customer Product Centerin sekä Componenta Oyj:n kahden valimon kanssa. Työn tavoitteena oli pyrkiä vähentämään virheellisten kappaleiden määrää ja asiakasreklamaatioita sekä näiden aiheuttamia kustannuksia valuteknisen uudelleensuunnittelun ja simuloinnin avulla. Toisena työn tavoitteena oli tehostaa olemassa olevien simulointiresurssien käyttöä Componentan yksiköissä.</p> <p>Insinöörityön teoriaosuudessa on esitelty valimoprosessia, valumateriaaleja ja niiden ominaisuuksia ja käyttöä, valurautakappaleen suunnittelun perusteita ja vaatimuksia sekä valusimulointia valukappaleen ja menetelmäsuunnittelun työkaluna.</p> <p>Työn empiirisessä osuudessa on aluksi tarkasteltu Componentan valimo A:n tuotannon kappaleiden hylkäysprosenttia valuvirheiden vuoksi vuosien 2008 ja 2009 aikana, tutkimuksen vertailupohjana on käytetty alkuvuoden 2010 tunnuslukuja. Kehityskohteiksi valittujen kappaleiden ongelmana oli pääsääntöisesti imuhuokoisuudesta johtuvat laatuongelmat. Yhden kehityskohteena olleen kappaleen ongelmana oli systemaattinen materiaallivirhe, jonka aiheutumista ja tilanteen korjaamismahdollisuutta tutkittiin valusimuloinnin avulla. Laatuongelmat aiheuttivat valimoille sekä niiden asiakkaille ylimääräisiä välittömiä kustannuksia toimitusten viivästyksinä, ylimääräisinä laatuutkimuksina ja koevalusarjoina.</p> <p>Kehityskohteena olleista kappaleista sekä niiden valujärjestelmistä tehtiin useita rinnakkaisia simulointeja. Simulointitulosten perusteella tehtiin kustakin kehityskohteesta analyysi nykyisen ongelman muodostumisesta sekä kehitysehdotus, joka otettiin käyttöön tuotannossa opinnäytetyön tekemisen aikana. Tulokset osoittivat kiistattomasti valusimuloinnin potentiaalin valusuunnittelun ja valuteknisen ongelmanratkaisun työkaluna.</p> <p>Kaikkien kehityskohteena olleiden kappaleiden sisäistä hylkäysprosenttia saatiin pienennettyä ja kustannustehokkuutta parannettua oleellisesti opinnäytetyön aikana.</p>	
<b>Avainsanat:</b> valimotekniikka, kustannustehokkuus, valutekninen suunnittelu, valusimulointi, reklamaatiot, sisäinen hylkäysprosentti	

## ABSTRACT

<b>Name:</b> Pasi Edelman	
<b>Title:</b> Quality and cost efficiency improvement in batch production foundry by cast design and foundry simulations	
<b>Date:</b> 23.4.2010	<b>Number of pages:</b> 72 + 12 appendixes
<b>Department:</b> Mechanical Engineering	<b>Study Programme:</b> Production Engineering
<b>Instructor:</b> Pekka Salonen, Head of Department, Helsinki Metropolia University of Applied Sciences	
<b>Supervisor:</b> Arto Huuhtanen, Foundry Development Manager, Componenta Oyj	
<p>This graduate study was carried out for Componenta Oyj's Helsinki Customer Product Center in cooperation with two foundries of Componenta Oyj. The target of this graduate study was to reduce internal scrap rate, customer reclamations and improve cost efficiency by cast design and foundry simulations. The second target of this study was to improve the usage of existing simulation resources and capacity.</p> <p>The theoretical part of this study describes the foundry process, cast materials, technical properties and applications of cast materials as well as the fundamentals of foundry design and foundry simulations as a tool for cast design and casting method design.</p> <p>The beginning of the experimental part of this study handles the internal scrap rate level of Componenta foundry A caused by casting defects during 2008 and 2009; internal scrap rate levels in 2010 are used for comparison. The items examined in this case study were taken into deeper investigation due to shrinkage and porosity problems in critical areas. Porosity and shrinkage were causing some serious quality problems. One item in the case study had a systematic material failure whereupon the root of the material failure was investigated and improvement proposals were simulated by several parallel simulations.</p> <p>The quality problems cause a great deal of direct costs to the foundries and to their customers due to delivery delays, quality investigations and casting initial samples. Thus, several parallel simulations with different simulation parameters were made for all items in the case study. After the simulations, each item underwent a detailed simulation analysis along with a comparison between the old and the new design. An improvement proposal was then made. Some suggested improvements were implemented during the graduate study, and the results confirm the big potential of foundry simulations as a supporting tool in cast design and troubleshooting processes.</p> <p>This study shows that the internal scrap rate was reduced during this study and cost efficiency was considerably improved.</p>	
<b>Keywords:</b> casting technology, cost efficiency, cast design, foundry simulation, reclamation rate, internal scrap rate	

## ALKULAUSE

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

## SISÄLLYS

## SANASTO

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>COMPONENTA OYJ</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>VALUTUOTTEEN YLEISET KÄYTTÖKOHTEET JA EDUT</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>HIEKKAVALIMON VALIMOPROSESSI</b>	<b>4</b>
<b>4.1</b>	<b>Johdanto</b>	<b>4</b>
<b>4.2</b>	<b>Raaka-aineet</b>	<b>5</b>
<b>4.3</b>	<b>Sulatus ja sulankäsittely</b>	<b>6</b>
4.3.1	<i>Hiilipitoisuus</i>	7
4.3.2	<i>Piipitoisuus</i>	7
4.3.3	<i>Ymppäys</i>	8
4.3.4	<i>Sulatusuunit</i>	9
<b>4.4</b>	<b>Valu</b>	<b>11</b>
<b>4.5</b>	<b>Valumuotin purkaminen</b>	<b>12</b>
<b>4.6</b>	<b>Valukappaleiden puhdistus</b>	<b>12</b>
<b>4.7</b>	<b>Jälkikäsittelyt</b>	<b>14</b>
4.7.1	<i>Korjaukset ja konstruktiohitsaus</i>	14
4.7.2	<i>Valukappaleiden koneistus</i>	15
4.7.3	<i>Pintakäsittely</i>	17
4.7.4	<i>Lämpökäsittelyt</i>	17
<b>4.8</b>	<b>Tarkastus ja valuviat</b>	<b>18</b>
4.8.1	<i>Laatutason määrittäminen</i>	18
4.8.2	<i>Valuviat</i>	19
4.8.3	<i>Laadun tarkkailu ja valukappaleiden tarkastukset</i>	21
<b>4.9</b>	<b>Valujen varastointi ja kuljettaminen</b>	<b>21</b>
<b>4.10</b>	<b>Mallit ja mallivarasto</b>	<b>22</b>
<b>4.11</b>	<b>Hiekanvalmistus</b>	<b>23</b>
<b>4.12</b>	<b>Hiekkojen elvytys</b>	<b>25</b>
<b>4.13</b>	<b>Keernanvalmistus</b>	<b>27</b>
<b>4.14</b>	<b>Kaavaus</b>	<b>30</b>

<b>5</b>	<b>VALURAUDAT</b>	<b>31</b>
5.1	<b>Suomugrafiittivalurauta EN-GJL</b>	<b>31</b>
5.1.1	<i>Rauta-hiiliseokset</i>	32
5.1.2	<i>Suomugrafiittivalurautojen rakenne</i>	33
5.2	<b>Pallografiittivalurauta EN-GJS</b>	<b>34</b>
5.2.1	<i>Pallografiittiraudan ominaisuudet ja edut käytössä</i>	35
5.2.2	<i>Pallografiittivalurautojen kemiallinen koostumus</i>	35
<b>6</b>	<b>VALURAUTAKAPPALEEN SUUNNITTELU JA VAATIMUKSET</b>	<b>37</b>
6.1	<b>Kappaleen esisuunnittelu ja valmistusmenetelmän valinta</b>	<b>37</b>
6.2	<b>Valurautakappaleen konstruktiosuunnittelu ja valettavuuden analysointi</b>	<b>38</b>
6.2.1	<i>3D-mallinnus valuorientoidun konstruktiosuunnittelun työkaluna</i>	38
6.2.2	<i>3D-mallinnuslogiikka ja valutekniset vaatimukset 3D-mallin reunaehtoina</i>	39
<b>7</b>	<b>VALUSIMULOINTI</b>	<b>41</b>
7.1	<b>Valusimuloinnin perustaa</b>	<b>41</b>
7.1.1	<i>Valusimulointi Componentan Hollannin yksiköissä</i>	42
7.1.2	<i>Valusimulointi Componentan Suomen yksiköissä</i>	43
7.2	<b>Jähmettymisen simulointi</b>	<b>44</b>
7.3	<b>Valukappaleen virtauksen simulointi</b>	<b>47</b>
7.4	<b>Simulointiohjelmistot</b>	<b>48</b>
<b>8</b>	<b>VALUKAPPALEIDEN LAADUN JA KUSTANNUSTEHOKKUUDEN PARANTAMINEN COMPONENTAN VALIMO A:SSA</b>	<b>50</b>
<b>9</b>	<b>KEHITYSKOhteet</b>	<b>50</b>
9.1	<b>Sylinteriaihio</b>	<b>50</b>
9.2	<b>Laakerikotelon kansi</b>	<b>53</b>
9.3	<b>Sisempi laakerikotelo</b>	<b>57</b>
9.4	<b>Planeetankannatin</b>	<b>59</b>
9.5	<b>Runkolaakerin satula</b>	<b>63</b>
<b>10</b>	<b>YHTEENVETO</b>	<b>67</b>
	<b>VIITELUETTELO</b>	<b>68</b>

## LIITTEET

- Liite 1. CastCAEn ja NovaFlow & Solid Control Volumnen vertailusimulointi
- Liite 2. Simulointianalyysi, sylinteriaihio
- Liite 3. Simulointianalyysi, laakerikotelon kansi
- Liite 4. Simulointianalyysi, sisempi laakerikotelo
- Liite 5. Simulointianalyysi, planeetankannatin
- Liite 6. Simulointianalyysi, runkolaakerin satula

**Huom! Luku 8 on tarkoitettu vain työn tilaajan käyttöön.**

## **SANASTO**

### ADI

Austempered Ductile Iron. Austemperoitu valurauta. Mekaaniset kulutusominaisuudet, lujuus ja sitkeys, ovat hyvät ko. materiaalilla. [5.]

### Austemperointi

Austemperointi on lämpökäsittely, jossa pallografiittivaluraudalle tuotetaan austeniittis-ferriittinen mikrorakenne. Austemperoinnilla saadaan materiaalille hyvät mekaaniset kulutusominaisuudet, lujuus ja sitkeys. Austemperointikäsittely sisältää austenoinnin (850 - 950 °C), sammutuksen austemperointikylpyyn (250 - 450 °C), pitoajan ko. kylvyssä sekä ilmajähdytyksen. [5.]

### Eksoterminen syöttökupu

Eksotermisen syöttökuvun vaippa on valmistettu palavasta materiaalista. Materiaali on esimerkiksi kalium-alumiinifluoridin, alumiinin sekä kvartsin seos, jonka syöttöön virtaava metalli sytyttää ja joka palaessaan lämmittää kuvun syöttömetallia. Eksoterminen syöttökupu pystyy luovuttamaan jopa 65 - 70 % materiaalia omasta painoarvostaan syötön tyypistä riippuen.

### EN-GJL

Suomugrafiittivalurauta eli harmaa valurauta.

### EN-GJS

Pallografiittivalurauta.

### Eutektinen seos

Eutektinen seos tarkoittaa kahden tai useamman metallin tai muun aineen seosta, jonka mooliosuudet ovat sellaiset, että seoksen sulamispiste on mahdollisimman alhainen. Eutektisia seoksia käytetään silloin, kun metallin halutaan sulavan mahdollisimman alhaisessa lämpötilassa.

## Hellitys

Hellitysten, toiselta nimeltään päästöjen, tarkoituksena on helpottaa mallin irtoamista muotista ja keernan irtoamista keernalaatikosta. Hellitykset ovat jakopinnalta muotin suuntaan kiilamaisia muotoja. Yleinen hellityskulma on noin kolme astetta. [2, s. 24.]

## Jakopinta

Jakopinta jakaa mallin, keernalaatikon ja muotin puolikkaat erillisiksi osiksi. Mallin ja muotin toisiaan vasten liittyviä tasoja kutsutaan jakopinnoiksi. Jakopinta on tasomainen, jos pinta on kokonaan vaakasuorassa tasossa, mikä on myös suositeltavin vaihtoehto, mutta voi olla myös tasosta poikkeava, jolloin jakopinta on epäsäännöllinen. Jakopintaa kutsutaan joskus myös jakotasoksi. [2, s. 24.]

## Kaavaus

Kaavaus on työvaihe, jossa muottihiekasta muotoillaan muottipuoliskot valumallien avulla. Kaavaus suoritetaan kaavauskehiin, joihin valumallin puolikas sijoitetaan ja hiekka sullotaan sen ympärille. Muottihiekka kovetetaan joko kemiallisesti tai mekaanisesti puristamalla kovassa paineessa. [2, s. 31 - 33.]

## Kaavauslinja

Kaavauslinja sisältää viisi työvaihetta: kaavaus, valu, jäähdytys, muotin tyhjennys sekä tärytys muotti- ja keernahiekan poistamiseksi kappaleista.

## Keerna

Keerna on erityisestä hiekkaseoksesta valmistettu ja kovetettu kappale, joka asetetaan muottiin muodostamaan valukappaleeseen muotoja, yleisesti reikiä ja onkaloita. Pääosin keernoja käytetään kuitenkin paikoissa, joita ei pysytty normaalilla muotin kaavauksella valmistamaan. [2, s. 28 - 29.]



## Kokilli

Kokilli on ulkoinen jäähdytyskappale, jota käytetään valukappaleen seinämi- en paikalliseen jäähdyttämiseen. Kokilleilla voidaan lisätä syöttökupujen syöttömatkoja huomattavasti ja niillä kiihdytetään metallin jäähtymistä ympä- ristöään paksummissa kohdissa suunnatun jähmettymisen aikaansaamiseksi. [1, s. 106.]

## Luonnollinen syöttö

Luonnollinen syöttö on muottiin kaavattu ”materiaalivarasto”, joka pystyy luovuttamaan sulaa materiaalia noin 15 % omasta painoarvostaan syöttöme- talliksi.

## Muotin täyttöjärjestelmä

Muotin täyttöjärjestelmä on valujärjestelmään kuuluva osa, jonka tehtävänä on täyttää muotin ontelo sulalla ja puhtaalla metallilla. Täyttöjärjestelmän pääosat ovat kaatoallas tai -suppilo, kaatokanava eli kaatotappi, jakokanavat sekä valukanavat eli sisäänmenot. Pääosien lisäksi muotin täyttöjärjestel- mään kuuluu usein suodattimia, kuonanerottimia sekä kaasukanavia. [1, s. 113.]

## Peitostaminen

Peitosteet ovat muotin tai keernan pinnan viimeistelyaineita. Valmistettu keerna tai muotti pintakäsitellään peitosteaineella, joka toimii muotti- tai keernahiekan sidosaineena. Peitostamista käytetään keernan tai muotin kestävyuden parantamiseksi ja eroosion vähentämiseksi. Myös sulan metal- lin tunkeutumista hiekkaan pyritään välttämään peitostamalla. [1, s. 413.]

## Suunnatun jähmettymisen periaate

Ihanteellisessa valukappaleessa jähmettyminen tapahtuu pohjasta ylöspäin ja reunoilta sisäänpäin siten, että muotin syöttökupu syöttää keskeytymättä jähmettymiskutistumaa vastaavan määrän lisämetallia muottiin, kunnes me- talli on täydellisesti jähmettynyt. [3, s. 42.]

## Työstövarat

Työstövaroilla tarkoitetaan kappaleessa olevaa ylimääräistä, pois koneistettavaa materiaalia kappaleen mittatarkkuuden ja pinnan saamiseksi vaaditulle tasolle. Työstövarojen suuruus riippuu pitkälti valukappaleen koosta, valukappaleen toleranssiasteesta, työstettävästä materiaalista, muotin valmistusmenetelmästä sekä koneistettavan pinnan etäisyydestä jakotasolta. [2, s. 24.]

## Valukappaleen moduuli

Valukappaleen tilavuuden ja pinta-alan suhde. Esimerkiksi kuution, jossa särmän pituus on  $a$ , moduuli lasketaan kaavalla  $M=a/6$  [1, s. 77.].

## Valukappaleen syöttäminen

Valukappaleen ohuet ja ohutseinämäiset kohdat jähmettyvät paksuja kohtia nopeammin. Paksuihin kohtiin voi jäädä ainevajausta, ellei jähmettyvään kappaleeseen syötetä sulaa metallia sula- ja kiteytymiskutistumaa vastaavaa määrää. Valukappaleen syöttämiseen käytetään joko nk. luonnollista, muottiin kaavattua syöttöä tai eksotermistä tai eristävää syöttökupua. [1, s. 83 - 106.]

## Valumalli

Kertamuottimenetelmissä tarvitaan valumalli, jonka avulla valumuotti valmistetaan eli kaavataan. Valumalli on valmistettavaa valukappaletta muistuttava kokonaisuus, joka poikkeaa valmistettavasta kappaleesta mitoiltaan, työstövaroiltaan sekä geometrialtaan. Valumallin mitoissa on otettu huomioon valun jähmettymisen aikana tapahtuvat tilavuuden muutokset sekä hellitykset. Mallin valmistamisessa tulee ottaa huomioon myös käytettävät valutoleranssit sekä kappaleen työstövarat. [2, s. 22.]

## Valutoleranssit

Valutoleransseilla tarkoitetaan kappaleen perusmittojen ”ympäristössä” olevaa mitta-aluetta, jonka sisälle kappaleen mittapoikkeamien tulee mahtua. Valutoleranssit määritetään standardissa SFS-EN ISO 8062, osat 2 - 3.

## 1 JOHDANTO

Valimotuotannon kustannuksiin ja tuotteiden laatuun vaikuttaa merkittävästi valujärjestelmien optimaalinen toiminta. Puutteellisen laadun aiheuttamat suorat kustannukset ovat valimoissa tyypillisesti 5 - 10 %, välilliset tätäkin korkeammat. Valujärjestelmillä vaikutetaan kustannuksiin laadun, saannon ja muottien hyödyntämisen kautta.

Insinööri työ tehtiin Componentan kahdelle valimolle yhteistyössä Componenta Oyj:n Customer Product Centerin kanssa (myöhemmin CPC). Työ tehtiin optimoimalla tuotannossa olevien valutuotteiden valujärjestelmiä valuteknisen suunnittelun ja simuloinnin avulla. Suunnitelmista valittiin toteutettaviksi ne, jotka olivat taloudellisesti kannattavia. Taloudellista kannattavuutta selvitettiin tarkastelemalla tuotteiden tuotanto- ja laatu puutteiden kustannuksia.

Työssä pyrittiin kartoittamaan löydettyjen systemaattisten virheiden aiheuttajat ja esittämään korjausehdotuksia virheprosentin pienentämiseksi ja kustannusten alentamiseksi. Virheiden ja reklamaatioiden tarkastelujaksoksi on valittu vuodet 2008 sekä 2009. Tavoitteena oli myös luoda toimintamalli simulointiin perustuvalla kehitystyöllä tuotannossa olevilla tuotteilla ja arvioida toiminnan taloudellista kannattavuutta. Yksi työn tavoitteista oli kartoittaa ja tehostaa olemassa olevien simulointiresurssien käyttöä yksiköiden valuteknisessä suunnittelussa ja ongelmanratkaisussa. Nykyisin, osittain laitteiston puutteiden ja hitauden vuoksi, simulointia käytetään valimoissa hyvin rajatusti hyödyksi kustannuslaskennassa, ongelmanratkaisussa ei juuri lainkaan. Työn suorittamiseen liittyy myös henkilökohtaisen osaamisen laajentaminen ja valimotoiminnan parempi kokonaisvaltainen ymmärtäminen.

Työn teoriaosuudessa käsitellään valimoprosessin eri vaiheita sekä valukappaleen suunnittelun perusteita ja työkaluja, jotta empiirisessä osuudessa käsitellyt ilmiöt sekä valimoprosessiin liittyvät valimotekniset vaatimukset olisivat helpommin ymmärrettävissä. Työ on rajattu viiteen tuotannossa olevaan valukappaleeseen, joiden osalta nähdään selkeää kehityspotentiaalia valuteknisen suunnittelun avulla.

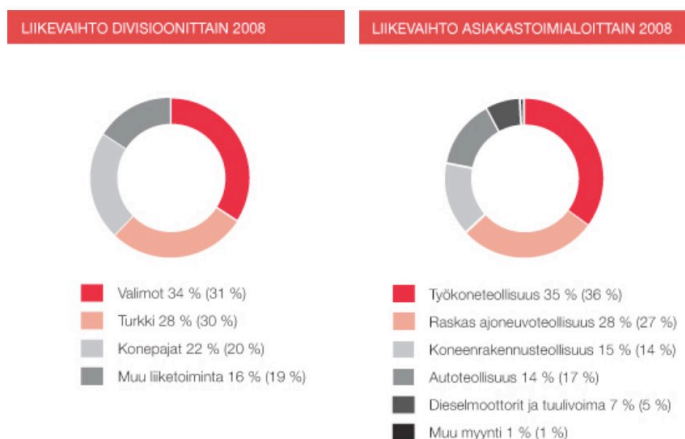
## 2 COMPONENTA OYJ

Componenta on kansainvälisesti toimiva metalliteollisuuden konserni, jonka tuotantolaitokset sijaitsevat Suomessa, Ruotsissa, Hollannissa ja Turkissa. NASDAQ OMX Helsingissä noteeratun Componenta -konsernin liikevaihto oli vuonna 2008 noin 681 miljoonaa euroa, Componentan turkkilaisen tytäryhtiön osakkeet noteerataan Istanbulin pörssissä. Henkilöstön määrä on yhteensä noin 3800. [6.]

Componentan historia ulottuu aina 1900-luvun alkupuolelle, vuoteen 1918, jolloin Matti Lehtonen perusti yhdessä Viktor Tolskan kanssa Helsinkiin yrityksen nimeltä Rauta- ja metallivalimo Suomi Oy. Ensimmäisinä toimintavuosinaan valimo teki noin 40 tonnia valurautakappaleita, kuten pieniä osia laivoihin, korjaus- ja aseparjoille sekä mm. lattialaattoja Elannon meijerille Helsinkiin. Myös tuotekehityksen historia yrityksessä juontaa juurensa alkutaipaleelle: vuonna 1932 patentoitiin yrityksen ensimmäinen oma tuote, raitiotievaunuihin uudenlainen jarrukenkä, joka rikkoutuessaan pysyi kasassa eikä pudonnut raitiotiekiskoille aiheuttamaan lisävahinkoja. [7, s. 15 - 16, 45 - 57.]

Componenta toimittaa valettuja ja koneistettuja komponentteja sekä niistä koostuvia vaativia kokonaisratkaisuja asiakkailleen. Componenta-konsernin asiakaskunta koostuu pääasiassa maailmanlaajuisesti toimivista työkoneteollisuuden, raskaan ajoneuvo- ja autoteollisuuden, dieselmoottori-, tuulivoimakomponentti- sekä koneenrakennusteollisuuden yrityksistä (kuva 1). Componentan toimittamat komponentit ovat usein asiakkaiden tuotteiden strategisia osia. [6.]

Suomessa Componenta Oyj:n tuotantolaitokset sijaitsevat Karkkilassa, Pietarsaareissa, Porissa, Iisalmessa sekä Lempäälässä. Muut tuotantoyksiköt, valimot, konepajat sekä takomot, sijaitsevat Ruotsissa, Hollannissa ja Turkissa. Yhtiön pääkonttori on Helsingin Käpylässä. [6.]



Kuva 1. Componenta Oyj:n liikevaihto divisioonittain sekä asiakastoimialoittain vuonna 2008 [6.]

### 3 VALUTUOTTEEN YLEISET KÄYTTÖKOHTEET JA EDUT

Valurautaisina tuotteina on perinteisesti nähty kaivonkannet sekä erilaiset taloustavarat uuneista, uuninluukuista ja arinoista paistinpannuihin. 1800-luvulla Englannissa rakennettiin valurautaisia rautatie- ja maantiesilloja, jotka ovat edelleen pystyssä. Valuraudan etuja olivat siihen asti vallalla olleisiin kivilaitoihin nähden pienempi paino ja pienemmät puristusvoimat, taloudellisuus ja rakentamisen nopeus. Myös muussa rakennusteollisuudessa käytettiin paljon valurautaisia rakenteita. Tuohon aikaan valuraudan eduksi nähtiin juuri sen mekaaniset ominaisuudet terästeknologian ollessa vielä selkeästi kehittymättömämpää. [8.]

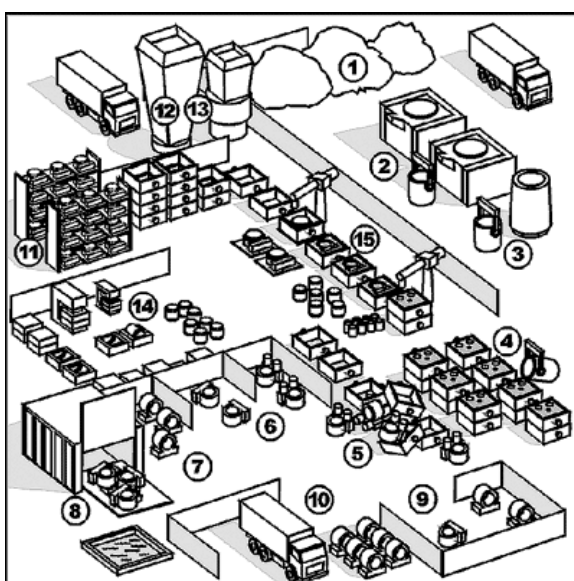
Nykyään valutuotteita käytetään laajasti ajoneuvo- sekä koneenrakennusteollisuudessa. Valetun tuotteen eduksi lasketaan kilpailukykyinen hinta sekä muodon vapaus suhteessa hitsattuun teräsrakenteeseen. Muotoilun vapauden kannalta valaminen on menetelmänä aivan omaa luokkaansa. Valuraudan koneistettavuus on pallo- sekä suomugrafiittivalurautoilla hyvä. Erilaisilla lämpökäsittelyillä kuten austemperoinnilla saadaan valuraudan mekaanisia kulutus- ja kestävyysominaisuuksia huomattavasti parannettua. Esimerkiksi austemperoitu pallografiittivalurauta, ADI, on kulumiskestävyysominaisuuksiensa johdosta hyvin soveltuva materiaali muun muassa erilaisiin hammaspyöriin.

Valuraudan etuihin voidaan tietyissä rajoissa laskea myös sen paino, esimerkiksi maatalouskoneisiin lisätään usein lisäpainoja. Tämän takia valuraudan paino ei muodostu esimerkiksi maatalouskoneen suunnitteluvaiheessa ongelmaksi vaan jopa päinvastoin eduksi. Valuraudan värähtelyn vaimennusominaisuudet ovat myös hyvät. Vaimennuskykynsä ansiosta valurauta, useimmiten suomugrafiittivalurauta, on usein käytetty materiaali esimerkiksi isojen koneiden kuten työstökoneiden sekä paperikoneiden rungoissa sekä alustoissa, joissa se vaimentaa tehokkaasti iskuja sekä värähtelyä.

## 4 HIEKKAVALIMON VALIMOPROSESSI

### 4.1 Johdanto

Hiekkavalimon valimoprosessi alkaa raaka-aineiden sulatuksesta ja päättyy tilanteesta riippuen valukappaleiden viimeistelyyn eli valupurseen poistamiseen tai mahdollisesti lämpö- tai pintakäsittelyyn kuten maalaukseen. Valimoprosessi on pitkälti sidoksissa valimon kokoon ja tyyppiin. Pienemmissä valimoissa valimoprosessin työvaiheet ovat lähinnä yksittäisiä, erillään toisistaan tapahtuvia toimenpiteitä. Kaikissa valimoissa ainevirtojen kulku on kuitenkin pitkälti samankaltainen valimon koosta ja tuotantoteknisistä menetelmistä riippumatta. (Kuva 2.)



Kuva 2. Hiekkavalimon valimoprosessi alkaen raaka-aineen sulattamisesta (1) asiakkaalle toimittamiseen (10) [2, s. 1.]

Hiekkavalimon toiminta voidaan jakaa 15 eri työvaiheeseen tai osastoon (kuva 2) [2, s. 1.] :

1. raaka-aineet ja varastointi
2. sulatus
3. sulankäsittely
4. valu
5. muotin purku
6. valukappaleiden puhdistus
7. jälkikäsittelyt
8. lämpökäsittely
9. tarkastus
10. valujen varastointi ja kuljettaminen
11. mallivarasto
12. hiekkojen elvytys
13. hiekanvalmistus
14. keernanvalmistus
15. kaavaus

#### **4.2 Raaka-aineet**

Valurautojen ja valuterästen raaka-ainekanta muodostuu yhdessä harkko-raudasta, valurautaromusta ja teräsromusta sekä tarvittaessa erilaisista lisäaineista kuten hiiletys-, seostus- ja ympäysaineista [2, s. 3.].

Aikaisemmin harkkorauta on ollut valurautojen valmistuksen pääasiallinen raaka-aine, mutta metallurgisten menetelmien kehityksen ansiosta kierrätysromua voidaan käyttää entistä paremmin ja laajemmin hyödyksi. Toisaalta harkkoraudan käyttö on lisääntynyt laatuvaatimuksellisten valurautojen, eri-

tyisesti pallografiittivalurautojen valmistuksessa. Nykyisin valuraudat sisältävät entistä enemmän seosmetalleja sekä kaikenlaisia epäpuhtauksia, joita on hankala välttää. Pallografiittiraudan raaka-aineena käytettävän kierrätysromun tulee olla suhteellisen puhdasta ja kuivaa, jotta valuraudan mikrorakenne sekä grafiitin pallouttaminen onnistuisi toivotulla tavalla. [2, s. 3.]

Valuraudan ympäysaineet ovat tehoaineita, joiden avulla määrällisesti pienillä lisäyksillä voidaan saavuttaa ajallisesti rajoitettu vaikutus sulan metallin jähmettymistapahtuman kulkuun. Ympäämällä metallin kiderakennetta sille saadaan edullisempi muoto ja paremmat ominaisuudet, mutta muutokset koostumuksessa ovat yleensä vähäisiä. [2, s. 3.]

Sulatuspanos ja sen koostumus riippuvat valmistettavan valuraudan tyypistä. Alla esimerkkinä induktiouunissa sulatettava valurauta:

- Suomugrafiittivalurauta GJL
  - 40 - 60 % teräsromua
  - 20 - 30 % harkkorautaa
  - 10 - 40 % kiertoromua (voi olla sekalaista)
- Pallografiittivalurauta GJS
  - 20 - 40 % teräsromua, jossa matala mangaanipitoisuus
  - 20 - 50 % harkkorautaa
  - 20 - 40 % kiertoromua

Harkkoraudan osuus panoksessa voi vaihdella suurestikin johtuen harkkoraudan ajoittain rajoitetusta saatavuudesta, tällöin sulatuspanoksessa kiertoromun osuutta kasvatetaan. Kiertoromun osuuden kasvattaminen sulatuspanoksessa voi johtaa suurempaan ympäystarpeeseen ja valmistetun valuraudan laadun vaihteluun. [2, s. 3.]

### 4.3 Sulatus ja sulankäsittely

Sulatustapa on riippuvainen sulatettavasta metallista, käytettävistä raaka-aineista sekä käytettävästä uunista. Raaka-aineista kootaan määrällisesti sopiva, halutun metallin koostumusta lähellä oleva ja uuniin sopiva panos. Uuni panostetaan valitulla panoksella ja aloitetaan sulattaminen. Sulan valmistuessa siitä otetaan näyte ja sulaa voidaan tämän perusteella tarvittaessa vielä korjata lisäainein halutun koostumuksen saavuttamiseksi. Sulan ominaisuuksia voidaan parantaa sulankäsittelyillä, jotka riippuvat metallin laadusta ja halutuista ominaisuuksista. [2, s. 4.]

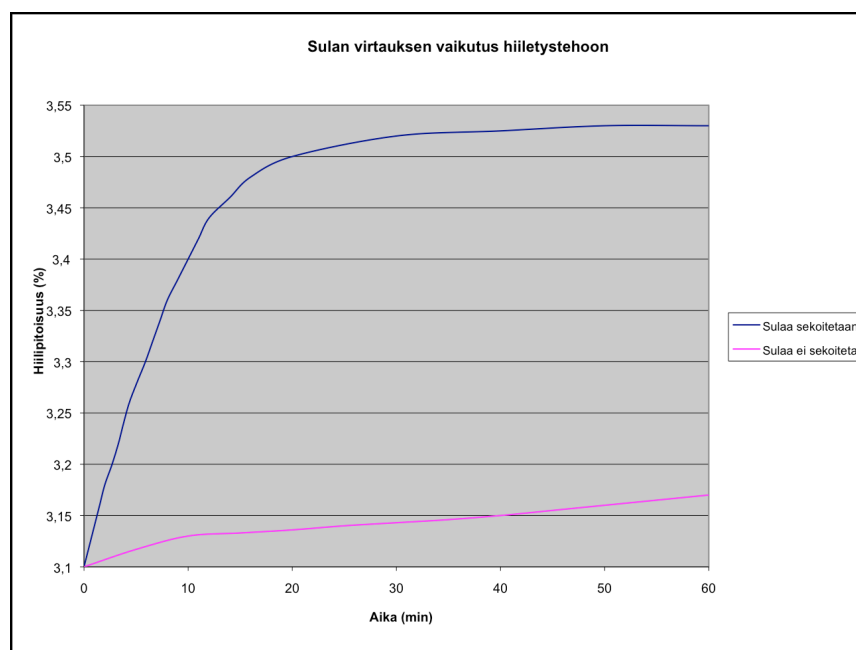


### 4.3.1 Hiilipitoisuus

Valuraudan hiilipitoisuus on korkea, yleisesti noin 2,4 - 3,6 % joka on noin 10 - 15 -kertainen määrä verrattuna rakenneterästen yleiseen hiilipitoisuuteen (vrt. S355K2G3-rakenneteräs, hiilipitoisuus enintään 0,2 % standardin EN 10025 mukaan). Jos panoksessa oleva kierrätysromu on niukkahiilistä terästä, pitää sulaan lisätä hiiltä. Tätä operaatiota kutsutaan hiilettämiseksi. Kupoliuuneilla sulan hiiletyskäsittely tehtiin sinne lisättävän koksien avulla, mutta induktiouuneja käytettäessä hiiletys pitää tehdä esimerkiksi grafiitin avulla, joka liukenee hiiletysaineista parhaiten rautaan. Grafiitti lisätään esimerkiksi noin sormenpään kokoisina rakeina sulan metallin sekaan. [9, s. 59.]

Sulan virtauksella sulatusuunissa on parantava vaikutus hiilettymisreaktioon. Jos hiiletysaine jää sulan pintaan, olisi hiilettyminen lähes olematonta suurimman osan hiilestä palaessa pois. Seuraavasta kaaviosta (taulukko 1) voidaan nähdä sulan virtauksen vaikutus hiiletystehoon eräällä valuraudalla. [9, s. 60 - 61.]

Taulukko 1. Sulan virtauksen vaikutus hiilipitoisuuteen ajan funktiona [9, s. 60.]



### 4.3.2 Piipitoisuus

Pii on hiilen ohella valuraudan tärkein seosaine, koska se aiheuttaa grafiitin erottumisen sulkeumiksi. Ilman piitä valurauta jähmettyisi valkokekseksi valuraudaksi. Pii yhtyy kemiallisesti rautaan paremmin kuin hiili, joten lämpötilan

laskiessa hiili ei liukene sulaan ja erottuu raudasta grafiittina. Piin määrä valuraudassa on noin 1 - 3 %. [9, s. 61.]

Tavallisesti suurin osa tarvittavasta piistä saadaan harkkoraudasta tai valurautaromusta. Tarvittaessa rautaa kuitenkin ympätään, eli sen piipitoisuutta nostetaan ferropiin (FeSi) avulla panoksen mukana. Ymppäys tapahtuu vasta hiilettyksen jälkeen, koska piin läsnäolo hidastaa hiilen liukenemista sulaan rautaan. [9, s. 61 - 62.]

### 4.3.3 Ymppäys

Jos jäähtyvässä raudassa ei ole lainkaan kiinteitä alkeishiukkasia, kiteytymisytimiä, tai niitä on hyvin vähän, jäähtyy rauta alle jähmettymislämpötilansa ennen kuin jähmettymiseen johtava kiteytyminen alkaa. Tällöin puhutaan metallin alijäähtymisestä, joka johtaa metallin lujuuden kannalta epäedulliseen, rakeiseen kiderakenteeseen ja raudan jähmettymiseen valkoiseksi valuraudaksi. Valurautasulasta tulee ”ydinköyhää” myös, jos sitä pidetään pitkää aikoja korkeassa lämpötilassa, nk. kuumanapitounissa. [9, s. 66.]

Ymppäyksellä valurautasulaan lisätään hieman ennen sen jähmettymistä kiinteitä rakeita, jotka toimivat kiinteyttämisytiminä. Raudan kiteytyminen alkaa rakeiden pinnalta, eikä rauta pääse alijäähtymään. Näin grafiitti- ja kiderakenteesta saadaan hienojakoinen ja raudan lujuuden kannalta edullinen. Ymppäyksessä käytetään tavallisimmin ferropiitä (FeSi), jonka raekoko on noin 1 - 6 mm. [9, s. 66 - 67.]

Usein ymppäys tapahtuu kahdessa erässä. Perusyamppäys suoritetaan normaalisti laskettaessa rautaa uunista valusankoon eli senkkaan, jolloin ymppäysaine lisätään raudan sekaan ja rakeet sekoittuvat rautaan. Toisena ymppäyksen kertana on nk. elvytysympäys. Siinä ymppäysaine lisätään joko muottiin kaatamisen yhteydessä (kuva 3) tai laittamalla ymppäysaine muotin valukanavistoon siten, että sula rauta huuhtoo ymppäysaineen mukaansa (kuva 4). Yleisesti ottaen jälkimmäistä tapaa elvytysympäyksessä pidetään luotettavampana. [9, s. 67.]



*Kuva 3. Kuvassa on automaattikaavauslinjalla valutapahtuman aikana elvytysympäykseen käytettävä suutin, kuva otettu kaadon jälkeen [2, s. 8.]*



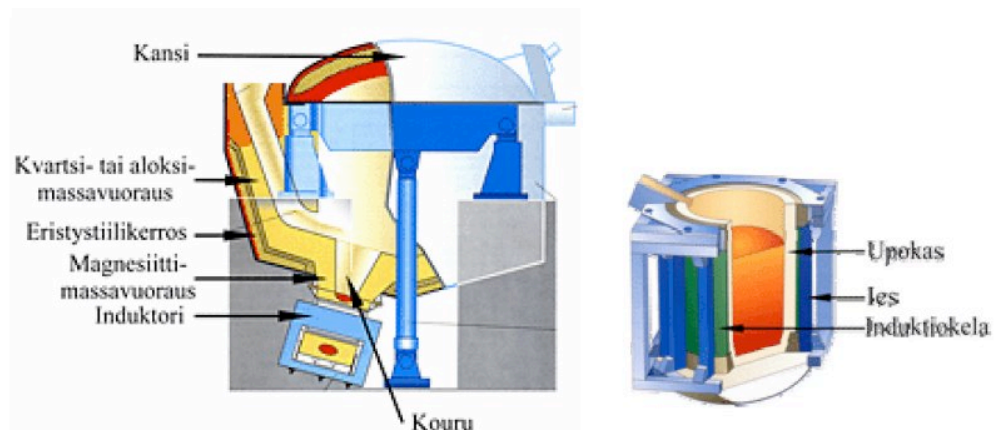
*Kuva 4. Muotin valukanavistoon on laitettu ympäysnappi, joka näkyy muotin oikeassa alakulmassa. Ympäysnappi sijaitsee valukanavan pohjan kohdalla. [2, s. 8.]*

#### 4.3.4 Sulatusuunit

Valurautojen ja -terästen sulatukseen käytetään yleisimmin induktio- ja valo-kaariuuneja, sulatukseen voidaan käyttää myös kupoliuuneja. Kupoliuunien käyttö Suomessa on vähentynyt koksen kalliista hinnasta sekä tiukoista ympäristönsuojelumääräyksistä johtuen. Maailmanlaajuisesti kupoliuunit ovat edelleen laajasti käytössä, ja maailman valurautatuotannosta valmistetaan edelleen yli 60 % kupoliuuneissa. [2, s. 2.]

Kupoliuunit aiheuttavat runsaasti pölypäästöjä, jotka ovat valimoiden aiheuttamista ympäristöhaitoista merkittävimmät. Ennen kupoliuunit olivat laajalti käytetty uunityyppi valurautojen sulattamiseen, mutta viime vuosien aikana kupoliuuneja on vaihdettu paljon induktiuuneihin. Ympäristöhaittojen lisäksi kupoliuunien syrjäyttämiseen ovat vaikuttaneet sulatettavan raudan metallurgiset ongelmat. Vuonna 2001 Suomessa oli kupoliuuneja käytössä ainoastaan neljässä valimossa, induktiuunit ovat syrjäyttäneet ne lähes kokonaan. [2, s. 2, 4.]

Induktiouneissa voidaan sulattaa kaikkia metalleja. Induktiounun upokkaan ympärille on kierretty induktiokela, jossa kulkee keski- ja matalataajuuksista vaihtovirtaa. Vaihtovirta indusoi pyörrevirtoja sulatettavaan metalliin. Induktiounit on jaettu pääpiirteittäin kahteen eri ryhmään: induktiopokasuuneihin sekä induktiokouru-uuneihin. Induktiokouru-uuneja käytetään muiden kuin rautametallien sulattamiseen, esim. kupari ja kevytmetallit, sekä rautametallien kuumenapitouuneina. Erilaisia induktiouneja on esitetty kuvassa 5. [2, s. 5.]



Kuva 5. Vasemmalla induktiokouru-uuni, oikealla induktiopokasuuni [2, s. 5.]

Valokaariuuneissa raudan sulatus tapahtuu grafiittielektrodin ja sulatuspanoksen välillä palavan valokaaren avulla. Valokaariuuneja käytetään lähinnä teräksen sulattamiseen. [2, s. 5.]

Upokasuunien kuumennus tapahtuu joko öljyn, kaasun tai sähkövastuksen avulla. Upokasuuneissa on keraamisesta tai jostain muusta materiaalista valmistettu upokas tulenkestävällä materiaalilla vuoratun uunirungon sisällä. Upokkaan ulkopintaa kuumennetaan sähkövastuksella tai öljy- tai kaasuliekillä. Sähkövastuskuumennus sopii ainoastaan ei-rautametalleille, rauta-

metalleille sähkövastukset ovat liian tehottomia. Upokasuunien hyötysuhde on myös melko huono, ainoastaan noin 20 %. [2, s. 6.]

Lieskauunit ovat tulenkestävällä materiaalilla vuorattuja altaita, joissa sulatus tapahtuu öljy- tai kaasupolttimella. Metallia sulatetaan lieskauunissa suoraan kaasu- tai öljypolttimen liekin avulla, jossa liekki on suoraan kosketuksissa sulatettavan metallin kanssa. [2, s. 6.]

#### 4.4 Valu

Valutapahtumassa sula metalli kuljetetaan kuljetus- tai valusenkassa valupaikalle. Kuljetus tapahtuu joko trukilla, riippuradalla tai siltanosturilla valimosta riippuen. Isojen valujen ollessa kyseessä, valu voidaan tehdä suoraan kuljetussenkasta, pienien kappaleiden valussa sula voidaan kaataa erilliseen valusenkkaan. [2, s. 7.]

Yksittäisvalutuotannossa valu tehdään valualueella käsikupilla, kahden miehen kannettavalla valusenkalla tai siltanosturista riippuvalla, käsin kallistettavalla valusenkalla. Käsikupin tai kannettavan valusenkan ollessa kyseessä valukappaleet ovat tavanomaisesti hyvin pieniä. Automaattikaavauslinjalla muotit valetaan kattokiskon varassa roikkuvalla, osittain automatisoidulla valulaitteella. Täysin automaattisia valu-uuneja käytetään esimerkiksi Disamatic-linjoilla. [2, s. 7.]

Jos valaminen tapahtuu kallistettavaa valusenkkaa käyttämällä, täytyy sulan seassa olevan kuonan pääsy valumuottiin estää tehokkaasti. Kuonan erotus sulasta voidaan tehdä jo senkassa lisäämällä sulan päälle erilaisia kuonaa sitovia aineita, tämän jälkeen kuona poistetaan senkassa olevan sulan pinnalta kaapimalla. Valujärjestelmässä kuonanerotusta tehdään suodattimien ja erilaisten kuonataskujen avulla. Kuonan pääsyä valujärjestelmään voidaan vähentää myös käyttämällä pohjasta tyhjennettävää valusenkkaa, jolloin pinnalla oleva kuona ei pääse metallin mukana muottiin. Valusenkassa olevan sulan lämpötila mitataan ennen valua. Pallografiittivaluraudan sulan lämpötila on noin 1400 °C. Lämpötilan mittausta tehdään senkasta tavallisesti uppopyrometrin avulla. [2, s. 8.]

Valun yhteydessä valmistetaan myös näytteitä, joiden avulla tarkkaillaan valun laatua. Näytteiden avulla voidaan tarkastella valumateriaalin ominaisuuksia sekä kemiallista rakennetta. Testikappaleet tehdään yleensä valusenkallisen viimeiseen tai viimeistä edelliseen muottiin. [2, s. 8.]

#### **4.5 Valumuotin purkaminen**

Valun oltua jäähdytysradalla tarvittavan kauan ja jäähdytyä tarpeeksi, muotti voidaan hajottaa siten, että kappale voidaan erotella muotti- ja keernamateriaaleista. Kappaleen pitäminen muotissa ylipitkän ajan ei ole perusteltua, koska se pitkittää jäähtymisaikaa muotin toimiessa eristemateriaalina ja kappaleen työaika pitenee tarpeettomasti, joskin pitkä jäähtymisaika voi vähentää valujännityksiä. Muotti puretaan mahdollisimman nopeasti, jos nopeutetun jäähdytyksen avulla halutaan saavuttaa valuun tietty mikrorakenne. [2, s. 9.]

Muotin purkaminen, valun ja hiekan erottaminen toisistaan tapahtuu useimmiten koneellisesti. Erityisen suurten tai yksittäisten valujen muottien purkaminen voi tapahtua kuitenkin edelleen käsityönä, joko osittain tai kokonaan. Koneellisessa purkamisessa ja valujen puhdistamisessa käytetään hyväksi erilaisia ulostyöntölaitteita, tärytysratoja ja -ristikoita, rumpuja sekä sinkopuhalluslaitteita. Samassa vaiheessa on tarkoitus myös hajottaa muottihiekan kokkareet ja keernat. Valusta erotettu muottihiekka siirretään hiekkakiertoon, keernahiekka voi erottua valusta muotin purkamisen ja valun puhdistuksen monessa eri vaiheessa. Keernamateriaalista riippuu myös paljon, kuinka keerna hajoaa jo valun aikana valettavan metallin kuumuuden vaikutuksesta, sekä tämän jälkeen muotin purkamisen ja valun puhdistuksen yhteydessä. Keernojen hajoamisen ja poistamisen onnistumisella on oma vaikutuksensa muottihiekan kierrätyksen onnistumiseen, siis siihen kuinka paljon muottihiekasta poikkeavaa keernahiekkaa sekä sen sideaineita joutuu hiekkakiertoon. [2, s. 9.]

#### **4.6 Valukappaleiden puhdistus**

Valukappaleiden puhdistus on henkilötyövoimavaltaista, meluista, pölyistä, likaista ja paljolti fyysisesti raskasta työtä. Puhdistus on kuitenkin välttämätön työvaihe ennen kuin valukappale on valmis toimitettavaksi asiakkaalle. Kappaleen puhdistus pyritään tekemään mahdollisimman lyhyessä ajassa,

pienillä kustannuksilla mutta myös mahdollisimman työturvallisesti ja ympäristöystävällisesti. Kappaleiden puhdistuksen osuus kappaleen kokonaistuotantokustannuksista on yleisesti noin 10 - 20 % harmaan valuraudan osalta ja noin 20 - 30 % pallografiittivaluraudan osalta. Teräsvalimoissa valujen puhdistuskustannukset voivat nousta jopa 50 %:iin kokonaistuotantokustannuksista. [2, s. 9.]

Valukappaleiden puhdistus voidaan jakaa karkeasti kolmeen eri työvaiheeseen, valukkeiden ja itse komponentin irrotukseen toisistaan, pintapuhdistukseen sekä pinnan tasoitukseen talttaamalla ja hiomalla. [2, s. 10.]

Valukomponenttien irrotuksessa valujärjestelmästä irrotetaan kaikki siihen kuulumattomat osat, kuten valukanavistot ja syötöt. Valukappaleet irrotetaan valujärjestelmästä mekaanisesti leikkaamalla, kiilaamalla, sahaamalla tai lyömällä, muita tapoja valukappaleiden irrottamiseen ovat poltto- ja sulatusleikkaus. Katkaisumenetelmään vaikuttavat materiaalin ja valukappaleen koon lisäksi leikattavan kohdan paksuus ja sen sijainti kappaleessa. [2, s. 10.]

Pintapuhdistus tarkoittaa valukappaleen pintaan kiinni palaneen hiekan ja pinnassa olevan oksidikerroksen poistamista. Oksidikerros voi muodostua kappaleen pinnalle valuprosessin tai lämpökäsittelyn aikana. Pintapuhdistuksessa käytettäviä menetelmiä ovat rummutus, sinkopuhdistus sekä suihkupuhdistusmenetelmä, esimerkiksi hiekka- tai raekuulapuhallus. Rummutuksessa kappaleet hioutuvat toisiaan sekä hiovia kappaleita vasten pyörivässä rummussa, tarkoituksena poistaa terävät särmät sekä jakopinnalla olevat purseet kappaleista. Kappaleet voidaan rummuttaa joko kuivana tai kosteana. Rummutuspanos voi olla noin kahdesta neljään tonnia valukappaleita kerrallaan, riippuen kappaleiden konstruktiosta sekä fyysisestä koosta. Rummutus kestää yleensä alle tunnista muutamaan tuntiin. [2, s. 10.]

Sinkopuhdistuksessa valun pintaan kovalla nopeudella, noin 75 - 80 m/s, iskeytyvät puhdistusrakeet irrottavat hiekan sekä muun helposti irtoavan kuona-aineen valun pinnasta. Rautavalun puhdistuksessa käytetään yleensä teräshiekkapuhallusta. Muiden kuin rautametallivalujen, kuten alumiinivalujen, puhdistuksessa käytetään yleisesti epämetallisia puhdistusrakeita. [2, s. 11.]

Valukappaleiden pinnan tasoitusmenetelmät jaetaan kahteen ryhmään, hiontaan ja talttaukseen. Talttauksella suoritetaan karkeampaa puhdistusta, jossa poistetaan valukappaleista suuremmat ainemäärät kuten syöttökupujen leikkauskannat, suuremmat valupurseet ja ulospäin suuntautuvat valuviat. Talttauksella voidaan myös avata valun sisäänpäin suuntautuvat valuviat, kuten hiekka- ja kuonaviat sekä rakkulat korjausta varten. Hionnan avulla yleensä viimeistellään valun pinta pienemmistä epätasaisuuksista sekä jakotason purseesta ennen hiekkapuhallusta, jonka jälkeen kappaleet voidaan esimerkiksi maalata. [2, s. 11.]

Jakotasolle sekä keernakannoille jää yleensä teräväreunaista pursetta, joka saattaa aiheuttaa ongelmia kappaleen kiinnityksessä koneistusta varten tai pahimmillaan jopa toiminnallista haittaa, ellei sitä poisteta. Purse poistetaan tavallisesti hiomalla tai isommissa tapauksissa talttaamalla. [2, s. 11.]

## **4.7 Jälkikäsitteilyt**

Valukappaleiden puhdistuksen jälkeen niille voidaan tehdä erilaisia jälkikäsitteilytoimenpiteitä kuten korjaushitsausta, konstruktiohitsausta, lämpökäsitteilyä, koneistusta sekä erilaisia pintakäsittelyjä.

### *4.7.1 Korjaukset ja konstruktiohitsaus*

Useimmiten valun puhdistuksessa havaitut valuviat ovat sen verran pieniä, että korjaaminen tuotantohitsauksella on kannattavaa, erityisesti suuremmilla valukappaleilla, joiden romuttaminen ja uuden valaminen olisi kallista ja aikaa vievää. Kokonaan uuden tuotteen valamisessakaan ei välttämättä saada aikaan virheetöntä tuotetta, joten pienten valuvikojen korjaaminen tuotantohitsauksella on tuotannon sujuvuuden sekä kustannusten kannalta perusteltua siinä määrin kuin se on tuotteen lujuusominaisuudet huomioonottaen mahdollista. Tuotantohitsaukselta edellytetään eheyttä, sitkeyttä, hyvää koneistettavuutta sekä perusaineen kanssa vastaavaa lujuutta. Tuotantohitsaukseen tarvitaan yleensä asiakkaan lupa. Havaittu valuvika avataan ja täytetään uudelleen hitsaamalla. Avaus tehdään valuraudoilla yleensä hiomalla. [2, s. 11.]

Päällehitsauksella voidaan pinnoittaa kappaleita sekä parantaa kulumis- ja korroosiokestävyyttä. Konstruktiohitsauksella tarkoitetaan valutuotteen liittämistä osaksi suurempaa kokoonpanoa. [2, s. 11.]



Valuraudan hitsattavuus on yleisesti hyvin haasteellista ja vaikeaa sen korkean hiilipitoisuuden takia. Valuraudan mikrorakenne muuttuu hitsausliitoksen muutosvyöhykkeellä karkeammaksi, ja hitsiaineeseen sekä sularaja-alueelle muodostuu hauraita karbideja. Hitsauksessa syntyy sisäisiä jännityksiä jotka eivät pääse laukeamaan plastisen muodonmuutoksen kautta. Hitsauksessa aiheutuvia hauraita faaseja voi yrittää välttää esikuumentamalla hitsattavaa valua 500 - 650 °C:seen, käyttämällä sopivia lisäaineita ja rajoittamalla lämmöntuontia. Sulahitsauksen asemesta liitosvaihtoehtoina voi harkita myös mekaanista liitosta tai kitkahitsausta. Hauraita faaseja sisältävä hitsi voidaan jälkeinpäin lämpökäsitellä ja näin pyrkiä vähentämään sisäisiä jännityksiä. [2, s. 11 - 12.]

Vaikka yleisesti ottaen voidaan sanoa valurautakappaleiden hitsattavuuden olevan huono tai vähintään haasteellinen, tehdään GJL-kappaleille korjaushitsausta varsin yleisesti. GJS-kappaleiden konstruktiohitsaus on myös mahdollista, joskin hitsin lujuus ja sitkeys jää tavanomaisesti yleensä alle perusaineen ominaisuuksien. [2, s. 12.]

Automaattikaavausta käyttävissä sarjatuotantovalimoissa valukappaleiden korjaus- tai konstruktiohitsausta ei juurikaan tehdä pienille kappaleille uusintavalamisen helppouden ja suhteellisen halvan hinnan vuoksi. Isommille kappaleille voidaan tehdä asiakkaan erikseen hyväksymää esteettistä korjaushitsausta, ei kuitenkaan suurempaa konstruktiohitsausta.

#### 4.7.2 Valukappaleiden koneistus

Valurautojen koneistettavuusominaisuudet ovat yleisesti hyvät, suomugrafiittivaluraudalla hieman pallografiittivalurautaa paremmat muun muassa grafiittisulkeumien edullisen muodon sekä ferriittis-perliittisen mikrorakenteen (kuva 16, s. 36) takia. Teräksiin verrattuna valurautojen lastuttavuus on yleisesti parempi. Valurautojen koneistaminen on yleisesti samassa hintaluokassa tai jopa hieman edullisempaa teräksiin nähden, koska valuraudan grafiittisulkeumat toimivat jäähdyttävänä elementteinä eikä jäähdytysnesteen käyttö ole aina välttämätöntä. Oikeilla työstöarvoilla terän kuluminen voi valuraudan koneistuksessa olla hieman vähäisempää ja terän kestoikä voi olla pidempi (taulukko 2).

Valukappaleiden koneistusta voi oikealla konstruktiosuunnittelulla helpottaa ottamalla koneistukset jo suunnitteluvaiheessa huomioon. Suunnittelun avulla työstöä voidaan helpottaa ja koneistamiskuluja vähentää merkittävästi, esimerkiksi jos koneistus voidaan tehdä yhdellä kiinnityksellä. Valun suunnittelussa tulee ottaa huomioon myös koneistuksessa tarvittavat tukipinnat ja -pisteet. Koneistettavat pinnat, joissa pinnanlaatuvaatimus on yleistoleransseja tiukempi, tulee suunnitella työkalujen mukaisesti [2, s. 13].

*Taulukko 2. Lastuttavuusvertailu perustuen terän kestoon leikkaavalla työkalulla lastattaessa. Lastuttavuusluvun kasvaessa lastuttavuus paranee. [2, s. 13.]*

Nikkeliseokset	5	20	30	40	50	100	200		
Valuteräkset			30	40	50				
Jousiteräkset				30	40				
Erkautuskarkaisuteräkset				30	40				
Kuumavalsatut levyt				30	40				
Pallografiittiraudat			30	40	50				
Ruostumattomat teräkset			30	40	50				
Nuorutusteräkset	5	20	30	40	50				
Temperraudat			30	40	50				
Koneteräkset			30	40	50				
Suomugrafiittiraudat			30	40	50				
Hiilletysteräkset					50				
Sinkkiseokset						100	200		
Automaattiteräkset						100	200		
Kupariseokset						50	100	200	
Alumiini- ja magnesiumseokset								200	
Lastuttavuusluku	5	20	30	40	50	100	200		

Lastuttavuutta voidaan arvioida työstökoneen terän kulumisen, syntyneen pinnanlaadun, lastun muodostumisen ja lastuamisvoimien perusteella. Valukappaleen pinnan työstettävyyttä ei ole yleensä yhtä hyvä kuin kappaleen perusmateriaalin johtuen pinnalla olevista muotin hiekkajäämistä sekä pinnalle muodostuneista oksideista ja silikaateista. Pinnanlaatuun vaikuttavat myös mahdollinen imuhuokoisuus sekä sulkeumat, jotka paljastuvat vasta koneistuksen yhteydessä pinnan avauduttua riittävästi. Terän kulumista voidaan ehkäistä jättämällä kappaleeseen työstövaraa enemmän, jolloin pinnan hiekkajäämät sekä muut virheet eivät tylyytä terän leikkuupintoja yhtä paljon terän koneistaessa enemmän perusainetta. [2, s. 13.]

#### 4.7.3 Pintakäsittely

Valukappaleiden pintakäsittely valimossa on yleisesti vain soveltuva pohjamaalaus, jonka tarkoituksena on olla korroosiosuoja kuljetusta ja varastointia varten ennen lopullista korroosionestomaalausta tai muuta pintakäsittelyä. Valimoissa pintakäsittelymaalausta voidaan sarjatuotantokappaleille tehdä joko kastomaalauksena tai yksittäistapauksissa sivellin- tai ruiskumaalauksena. Kappaleille tehtävä pohjamaalaus tulee tehdä maalilla, jolla on riittävät kemialliset sekä mekaaniset ominaisuudet kosteuden, liuottimien sekä muiden kemikaalien aiheuttamia haittoja vastaan. Maalin tulee myös kestää kuljetus sekä muuta käsittelyä jalostusvaiheessa. Pohjamaali ei myöskään saa muodostaa myrkyllisiä kaasuja tai vaikeuttaa muuten työtä hitsattaessa tai polttoleikattaessa. [2, s. 13 - 14.]

#### 4.7.4 Lämpökäsittelyt

Suomugrafiittivaluraudasta valetut komponentit toimitetaan asiakkaalle yleensä valutilaisena, ilman erillistä lämpökäsittelyä. Tarvittaessa lämpökäsittelyinä voidaan käyttää jännityksenpoistohehkutusta eli myöstöä tai pehmeäksi hehkutusta. Pallografiittivalurautaisten kappaleiden valutilassa toimittaminen on viime vuosikymmenien aikana yleistynyt, aikaisemmin niiden valmistukseen kuului tavanomaisena osana lämpökäsittely. Toimittaminen valutilassa vähentää kustannuksia ja lyhentää läpäisyajoja, toisaalta jäähtymisajat muotissa pidentyvät valutilassa toimitettaville kappaleille. Suursarjatuotannossa valumuotit pyritään yleensä purkamaan mahdollisimman nopeasti, jolloin lämpökäsittely voidaan tarvita halutun mikrorakenteen saavuttamiseksi ja jännitysten poistamiseksi. [10, s. 87, 120.]

Jännityksenpoistohehkutus voi olla tarpeellinen suurille valukappaleille joissa seinämävahvuudet vaihtelevat voimakkaasti. Monimutkaiset muodot, jotka estävät muodonmuutosta ja kutistumista muotissa, aiheuttavat jännityksiä kappaleeseen. Jännityksen poiston tarkoituksena on estää kappaleen muodonmuutokset koneistuksen, käytön ja muun mekaanisen rasituksen yhteydessä. Jännityksenpoistohehkutus tehdään valuraudan seostuksesta ja laadusta riippuen 480 - 580 °C:n lämpötilassa. [10, s. 87 - 88.]

Työstettävyyden parantamiseksi valukappaleelle voi olla tarpeellista tehdä pehmeäsihekkutus. Pehmeäsihekkutus ei ole yhtä usein käytetty kuin jännityksenpoistohekkutus, sillä työstettävyyden parantuessa sen lujuusominaisuudet huonontuvat. Pehmeäsihekkutustapoja on olemassa kolme erilaista [10, s. 88 - 89, 121 - 122] :

- matalahekkutus, lämpötila 700 - 760 °C
- keskihekkutus, lämpötila 790 - 900 °C
- korkeahekkutus, lämpötila 900 - 955 °C

Muita lämpökäsittelytapoja valuraudoille ovat ferritointi, perlitointi, karkaisu sekä nuorutus. Karkaisu ja nuorutus soveltuvat lähinnä lujimmille GJS-lajeille.

#### 4.8 Tarkastus ja valuviat

Jo valukappaleen tilausvaiheessa on sovittava sille halutusta laadusta ja käytettävistä toleransseista. Myös mekaaniset ominaisuudet määritellään valukappaleen tarjousprosessissa. Useilla valukomponentteja paljon käyttävillä yrityksillä, esimerkiksi kuorma-autoteollisuudessa, on ISO-standardeihin perustuvia omia standardejaan, joissa määritellään valukappaleille sallitut mitat ja mittapoikkeamat sekä virheet ja niiden sallittu suuruus esimerkiksi huokoisuuden osalta. Tilauksen yhteydessä voidaan sopia myös valukappaleille suoritettavista tarkastuksista ja laadunvalvonnasta.

##### 4.8.1 Laadutason määrittäminen

Valuvikojen osalta asiakkaan tulisi määrittää ainakin seuraavat asiat laadutason määrittämiseksi:

- Ulkonäkövaatimukset: Minkä tasoista pinnanlaatua eri puolella kappaletta vaaditaan, millä tarkkuudella jakotason sekä kanaviston sisäänmenojen kohdat tulee viimeistellä kappaleessa, onko kiinnijäänyt hiekka poistettava kokonaan vai voiko koneistamattomaksi jääville pinnoille jättää palanutta hiekkaa? Voiko palaneen hiekan poistaa hiomalla vai pitäisikö siitä pyrkiä kokonaan eroon? Saako olla pintahuokoisuutta tai siirtymävikoja?
- Lujuusvaatimukset: Sallittu huokoisuuden määrä, missä kohdissa kappaletta huokoisuutta saa olla ja kuinka paljon? Mitkä kohdat ovat kriittisiä ja imuja ei ehdottomasti saa olla? Mitkä kohdat ovat lujuuden kannalta kriittisimmät, missä kohdissa ovat kappaleen suurimmat rasiutukset?

- Koneistukset: Missä koneistettavat pinnat sijaitsevat ja saako niissä olla huokoisuutta, sulkeumia tai kiinni palanutta hiekkaa?
- Mitat ja muoto: Mitkä mitta- ja muototoleranssit ovat kappaleen kannalta järkeviä suhteutettuna kappaleen kokonaismittoihin, kuinka suuria siirtymävikoja voidaan sallia? [11, s. 1 - 2.]

Valukappaleen laatu saadaan valimon ja valukappaleen suunnittelijan välisellä yhteistyöllä. Nykyään valimoyritysten omat suunnittelu- ja tuotekehitysosaston valusuunnittelijat voivat olla alusta lähtien merkittävässä asemassa suunnittelemassa valutuotetta yhdessä asiakkaan suunnitteluosaston kanssa.

#### 4.8.2 Valuviat

Valuvika on periaatteeltaan laatuominaisuus, millään tunnetulla menetelmällä ei pystytä valmistamaan kiistatta täydellistä tuotetta. Tuotteeseen haluttu laatuaso pitää neuvotella yhteistyössä toimittavan valimon ja asiakasyrityksen kesken, jolloin kriittisten paikkojen laatuun voidaan kiinnittää enemmän huomiota ja jättää vähemmän merkitykselliset alueet valussa pienemmälle huomiolle. On joka tapauksessa sekä tilaajan että toimittajan edun mukaista, että valettavan tuotteen laatuvaatimukset kerrotaan mahdollisimman täsmällisesti. [11, s. 1 - 2.]

Valuvika on kappaleen suunnittelu- tai valmistusprosessin aikana tapahtuneesta virheestä johtuva puute valukappaleen rakenteessa. Vian alkuperä voidaan paikallistaa myös valumallista tai sen valmistuksesta vastaavan yrityksen virheellisestä toiminnasta johtuvaksi virheeksi, tämä on usein valimon alihankkija. Erilaiset valuviat voidaan jakaa eri luokkiin seuraavasti [11, s. 1 - 2.]:

- Mittaviat: kappaleen mitat eivät asetu toleranssialueelle, myös kappaleen seinämävahvuus voi olla väärä.
- Siirtymäviat: muottipuoliskoiden kohdistusvirhe tai keernan paikoitusvirhe, jolloin kappaleeseen on muodostunut porras muotin jakopinnan kohdalle tai muuta epäsymmetriaa.
- Muotoviit: puuttuvat tai vaillinaiset muodot kappaleessa.
- Ainepuutokset: kappale on vajaa muotin vuotamisen, vajaan täyttymisen tai muotista irrottamisen yhteydessä tapahtuneen rikkoutumisen takia.

- Pintaviat: ulos- tai sisäänpäin suuntautuvia pintavikoja. Rosoinen, urittunut tai muuten vioittunut pinta. Jakopintojen ja keernojen ympärille muodostuva purse luokitellaan myös tähän ryhmään.
- Imu- eli kutistumaviat: jähmettymisen aikana tapahtuvasta kutistumisesta johtuvat kappaleen sisäiset huokokset tai onkalot, pinnalla olevat syvennykset (kuva 6). Mikroimuvikoja kutsutaan myös huokoisuudeksi.
- Kaasuviat: Sulaan sekoittuneen ilman, reaktiossa syntyneiden kaasujen tai valuraudan metallurgisten ongelmien aiheuttamia huokosia.
- Sulkeumat: sulaan sekoittuneita tai sulassa muodostuneita, muusta aineesta erottuvia ainesosia. Jähmettyvät joko kappaleen pinnalle tai sisään.
- Sulautumisviat: Liiksi jähmettyneen metallin aiheuttamia, perusainetta heikompia kohtia kappaleessa. Esiintyvät yleensä saumamaisina kohtina kappaleessa. Esimerkiksi kylmäjuoksu tai -sauma.
- Halkeamat: kappaleeseen muodostunut halkeama valun aikana tai muotista irrottamisen jälkeen.
- Materiaalin rakenneviat: valuraudan mikrorakenne ei vastaa osittain tai koko kappaleen osalta tilattua rakennetta.
- Materiaalin ominaisuuksista johtuvat viat: kaikki muut materiaalista johtuvat rakenneviat.

Yllä oleva jako toimii melko hyvin kaikille yleisimmille metallivaluissa käytetyille menetelmille, kaikkia vikatyyppejä ei kuitenkaan esiinny jokaisessa valumenetelmässä.



*Kuva 6. Valukappaleessa olevaa imuhuokoisuutta, suurempien makroimuhuokosten koko noin 2 mm, alempana olevat mikroimuhuokokset noin 0,2 - 0,5 mm. Kuvan kappaletta on sahattu kriittisistä kohdista laaduntarkkailua varten. Componenta valimo A.*

#### 4.8.3 *Laadun tarkkailu ja valukappaleiden tarkastukset*

Mekaanisten ominaisuuksien määrittämistä varten kappaleen yhteyteen valetaan yleensä koesauva-aihiot, jotka työstetään koesauvoiksi ja testataan haluttujen mekaanisten ominaisuuksien, kuten lujuuden, varmistamiseksi. Yleensä koesauvoja valetaan ensimmäisten koevalujen yhteydessä, mutta myös asiakkaan niin halutessa. Valumateriaalin analysointi halutun mikrorakenteen varmistamiseksi tehdään yleensä valamalla senkan viimeiseen tai viimeistä edelliseen muotilliseen testikappaleet. Testikappaleista tehdään hieet, joiden avulla voidaan laboratoriossa tarkastaa esim. valuraudan grafiitin palloutuminen ja tarkempi mikrorakenne. Valukappaleen mitat ja mitta-poikkeamat tarkastetaan yleisesti mekaanisten mittalaitteiden avulla, mitta-poikkeamia verrataan asiakkaan kanssa sovittuun standardin toleranssiin. Pinnankarheus voidaan määrittää joko silmämääräisesti arvioimalla ja vertaamalla pinnankarheustulkkiin tai mittaamalla koneellisesti pinnankarheusmittarilla. Valukappaleen sisäistä tarkastusta tehdään ainetta rikkomattomilla menetelmillä, kuten tunkeumaneste-, magneettijauhe ja ultraäänitarkastelulla sekä röntgenkuvauksella. [2, s. 16 - 17.]

#### 4.9 **Valujen varastointi ja kuljettaminen**

Valimoyritysten pyrkimyksenä on ollut ja on edelleenkin siirtyä kohti kokonaisvaltaista valukomponentin toimittamista, aina valuprosessista koneistamiseen ja jopa osakokoonpanoon asti nostaten valukomponentin jalostusarvoa. Tästä huolimatta valukappaleet toimitetaan hyvin usein muualle koneistusta, pintakäsittelyä sekä muuta jatkojalostusta varten ennen päätymistä loppukäyttäjän kokoonpanolinjalle. [2, s. 20.]

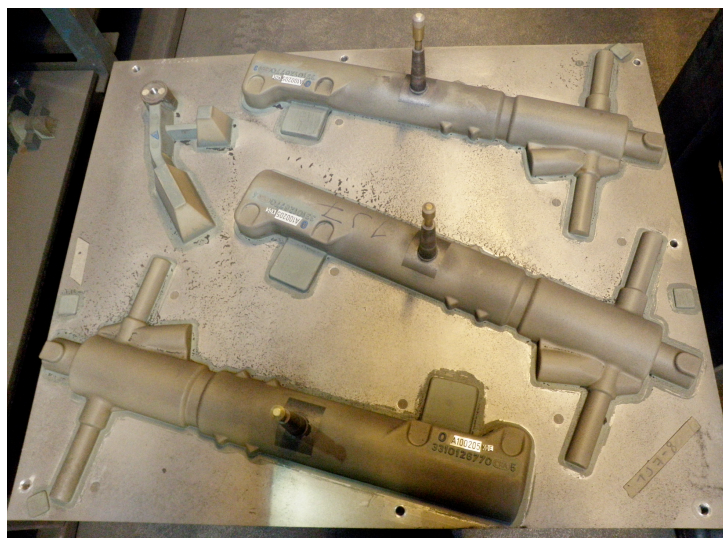
Yleisesti ottaen valimossa pyritään mahdollisimman nopeisiin toimituksiin ja pitämään kaikenlaiset välivarastot sekä valmiiden tuotteiden varastot mahdollisimman pieninä. Nykyaikaisissa valimoissa on käytössä JOT-filosofia (Just On Time, suom. Juuri Oikeaan Tarpeeseen) jossa toiminta on asiakas-tilausperusteista eikä varastoperusteista ja puoltaa varastojen minimointia. Suojamaalatut valuaihiot tai -kappaleet pakataan valtaosin kuormalavoille ja kuljetetaan yleensä kuorma-autoilla suoraan asiakkaalle tai jatkojalostukseen. Erityisen suurien valujen ollessa kyseessä joudutaan joskus turvautumaan erikoiskuljetuksiin.

#### 4.10 Mallit ja mallivarasto

Valumalleista, niiden määrästä, sijainnista ja kunnosta pidetään valimossa kirjaa. Valumallit ovat yleisesti asiakkaan omaisuutta ja valukappaleen valmistuksen loppuessa jostain syystä mallit palautetaan asiakkaalle (kuva 7). Valumallien käytöstä pidetään myös tarkkaa kirjaa ja aika ajoin tarpeettomien tai vähän käytettyjen mallien osalta kysytään asiakkaalta niiden säilytyksen tarpeellisuutta. Varastointi on aina kustannuksia aiheuttavaa ja tilaa vievää toimintaa, ja tarpeetonta varastointia tulisi myös valumallien osalta välttää. [2, s. 20 - 21.]

Modernit mallivarastot ovat osittain tai kokonaan automaattisesti toimivia korkeavarastoja, joista varaston hyllystöhissi noutaa mallit tai mallilevyt tarkastusta ja valmistelua varten. Jos kyseessä on automaattikaavauslinja tai -linjoja, mallilevyt kiinnitetään kaavauslinjan paletteihin, joissa ne ovat suoraan käyttövalmiita (kuva 8). Mallien tarkastus ja kunnostaminen tehdään yleensä käytön jälkeen ennen palautusta varastoon. Käyttöön otettaessa mallit tarkastetaan päällisin puolin ja korjataan mahdollisesti varastoinnin ja kuljetuksen aikana tapahtuneet vauriot. [2, s. 20 - 21.]

Nykyisin laajimmin käytössä ovat muovimallit jotka ovat syrjäyttäneet puumallit käytössä pitkälti helppohoitoisuutensa vuoksi. Nykyisellään käytössä olevista malleista jopa 90 - 95 % on muovimalleja. Käytössä on myös metallimalleja, mutta niiden käyttö on hyvin rajoitettua hinnan sekä huonomman huollettavuuden takia.



*Kuva 7. Ilmanpainevasaran sylinteriaihion malli yläpuolista muottia varten. Componenta valimo A.*



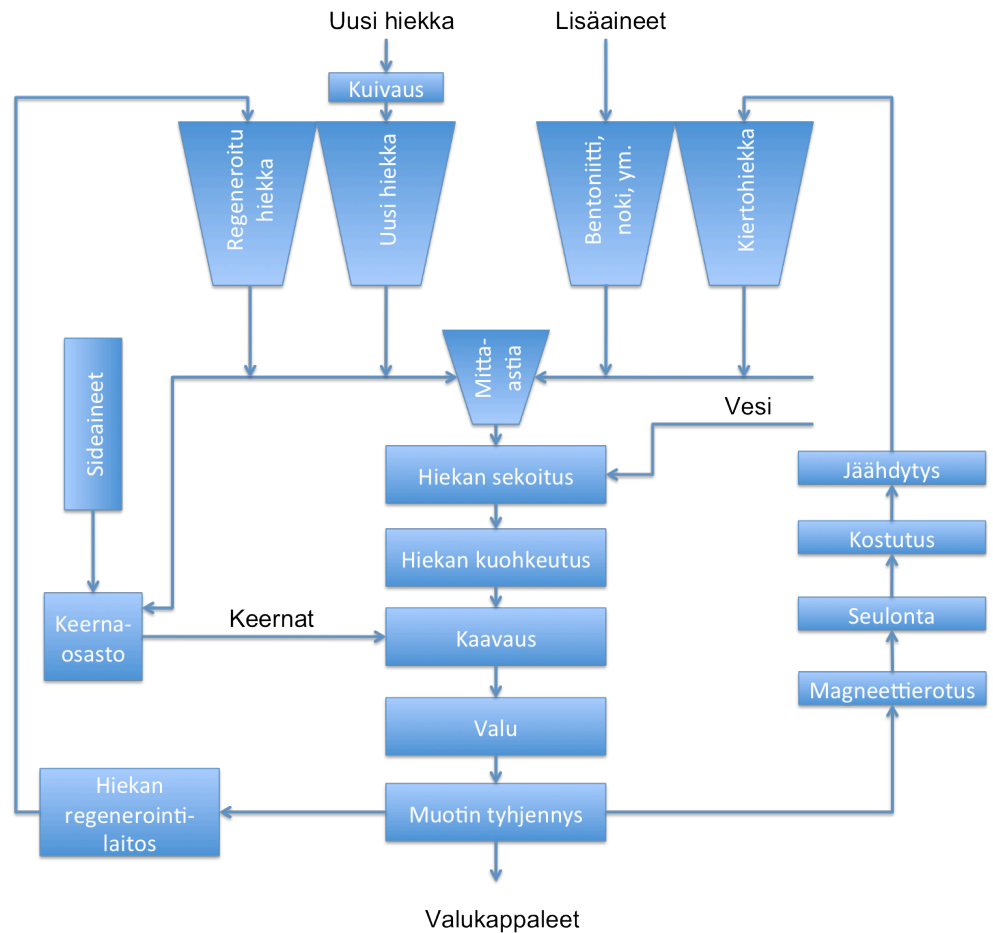


*Kuva 8. Mallit odottavat mallivarastossa siirtämistä automaattikaavauslinjan kaavauskoneeseen. Vasemmalla malli muotin yläpuoliskoa varten, huomionarvoisia ovat malliin kiinnitetyt ja muottiin jäävät neljä punaista eksotermista syöttökupua. Oikealla malli alapuolista muottia varten. [2, s. 25.]*

#### 4.11 Hiekanvalmistus

Valimoprosessi tarvitsee hiekkaa jatkuvasti sen eri toimintoihin. Valimossa käytettävästä hiekasta osa kiertää jatkuvana virtana hiekankiertojärjestelmässä hiekanvalmistusvaiheesta kaavaukseen, sieltä valuun ja muotin tyhjennyksen kautta hiekan puhdistukseen eli elvytykseen ja jälleen valmistukseen. (Kuva 9.) Valuprosessin aikana osa hiekasta kulkeutuu valukappaleiden mukana tai muulla tavoin pois ja sen tilalle tuodaan uutta hiekkaa, bentoniittihiekkajärjestelmissä lisäys on tavanomaisesti 2 - 2,5 kg tuotannon nettokiloa kohden. Käytössä hiekkarakeet myös murskaantuvat siten, että hiekan ominaispinta-ala kasvaa eikä hiekka täytä enää sille asetettuja vaatimuksia. [1, s. 222; 2, s. 27.]

Valimon hiekoista osa on kertakäyttöhiekoja ja osa kiertohiekkaa. Kiertohiekka kiertää valimossa lukuisia kertoja siten, että joka kierrolla kulkeutuu pois pieni määrä hiekkaa, joka jälleen korvataan uudella hiekalla. Raaka-hiekka tulee valimoihin pääsääntöisesti kuivana. Kosteaa hiekkaa pitää kuivata ennen sekoitusta ja se voidaan tehdä joko kiinteässä tai pyörivässä, tavallisesti öljylämmitteisessä kuivaimessa. Kuivauksen jälkeen hiekka tulee jäähtyä ennen käyttöä. (Kuva 9.) [2, s. 27.]



Kuva 9. Kaavaushiekköjen kierto hiekkavalimossa [1, s. 190.]

Hiekkaseokset koostuvat raeeineksista sekä lisättävistä side- ja lisäaineista. Raaines voi olla joko uutta tai elvytettyä hiekkaa tai niiden seosta. Tavallisin raaines on kvartsihiekkä, toinen yleinen raaines on kromiittihiekä, jota käytetään laajemmin teräsvalimoissa. Kromiittihiekalla valukappaleiden pinnanlaatu sekä puhdistettavuus saadaan paremmaksi kuin muita hiekkalaatua käytettäessä. Kromiittihiekän haitoiksi verrattuna kvartsihiekkään voidaan laskea sen huonompi termien kestävyys jatkuvassa käytössä, huomattavasti kalliimpi hinta sekä muottipainojen nouseminen jopa 75 %. [2, s. 27.]

Sideaineina käytetään yleensä joko jauhemaisia kuten bentoniitti tai neste-mäisiä kuten hartsi, jauhemaiset sidosaineet vaativat lisäksi vettä. Tuorehiekkamenetelmässä sideaineena on bentoniitti ja kovettuminen tapahtuu mekaanisesti sullomalla, täristämällä ja/tai puristamalla. Sideaineiden tehtävänä on liittää hiekan yksittäiset rakeet toisiinsa siten, että valmistettu muotti tai keerna kestää käsittelyn sekä sulan metallin aiheuttaman rasituksen. [2, s. 27.]

#### 4.12 Hiekkojen elvytys

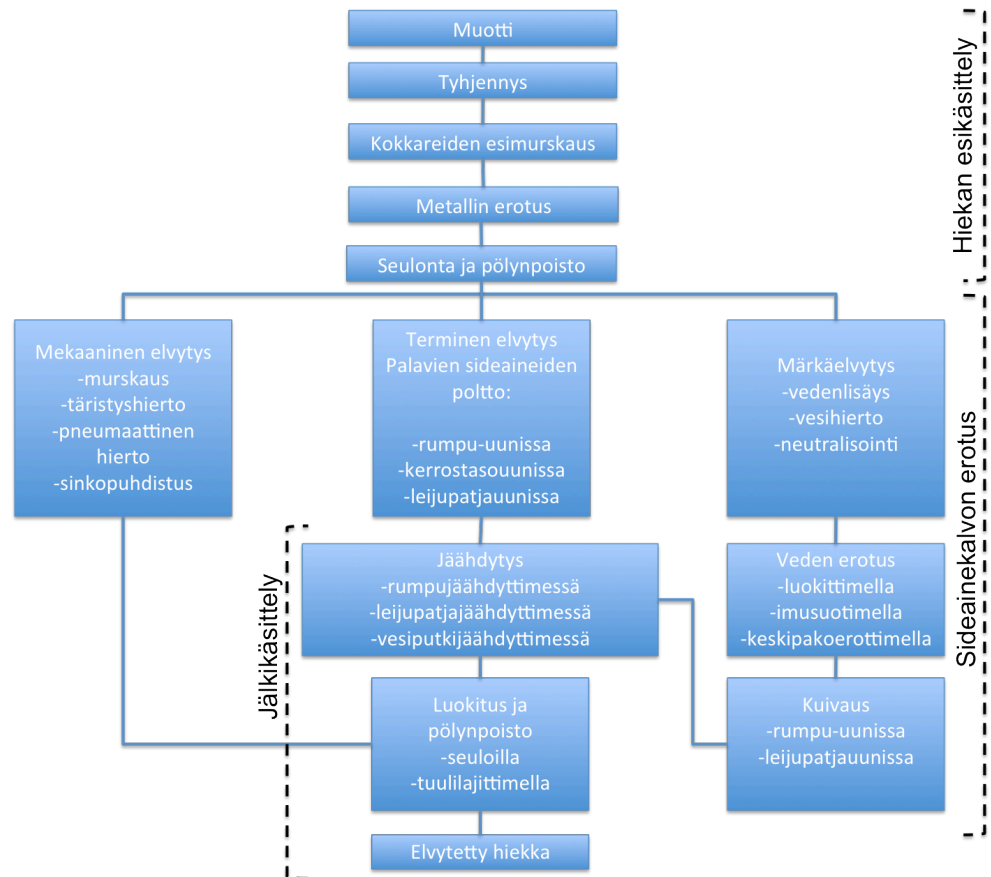
Hiekanvalmistuksessa hiekkarakeiden pinnalle muodostuu sideaineista ohut kalvo. Rakeiden välinen kiinnitysvoima perustuu näiden kalvojen plastisuuteen tai niiden kemialliseen kovettumiseen. Valumetallien aiheuttama kuumuus murtaa rakeiden välistä kiinnesiltaa osittain, mutta hiekkarakeiden pinnalla olevat sideainekalvot jäävät valun jälkeen paikoilleen joko vain kidevegensä menettäneinä, sintraantuneina tai kokonaan sulaneina. Usein rakeet voivat myös iskostua toisiinsa ja muodostavat ylisuuria rakeita ja kokkareita. Kun hiekkaa halutaan käyttää uudelleen kiteiden pinnalla olevat sideainekalvot estävät uuden sideaineen tehokkaan vaikutuksen ja sideainekulutuksen määrä kasvaa. [1, s. 222.]

Hiekan kulutuksen kasvaessa suhteettoman suureksi tulisi harkita, olisiko vanhojen hiekkojen elvytyksen aloittaminen taloudellisesti järkevä ratkaisu. Kannattavuuslaskelmissa tulisi ottaa huomioon ainakin seuraavia asioita [1, s. 222.]:

- elvytyslaitoksen hankinta- ja käyttökustannukset
- käytettävän uuden hiekan hinta ja kuljetuskustannukset
- jätehiekan kuljetuskustannukset, rajoitukset kaatopaikalla sekä muut ympäristörajoitukset
- sideainesäästöt

Hiekanelvytyksellä eli regeneroinnilla tarkoitetaan kaavaus- ja keernahiekkojen käsittelyä siten, että rakeiden päällä oleva sideainekalvo rikkoutuu ja poistetaan muiden hiekkaan kuulumattomien aineiden lisäksi. Myös murskaantuneesta kiviaineksesta muodostunut kivipöly tulee poistaa hiekkakerrosta, sillä hiekan ominaispinta-alan kasvu tarkoittaa sideaineiden kulutuksen lisääntymistä ja kustannusten kasvua. Elvytysmenetelmät voidaan jakaa kolmeen pääryhmään: mekaaniseen, termiseen ja märkäelvytykseen. [1, s. 222 - 223.]

Elvytys tapahtuu yleensä kolmessa jaksossa. Ensin hiekka esikäsitellään, minkä jälkeen tapahtuu varsinainen sideainekalvon poisto hiekkarakeiden pinnalta. Lopuksi hiekka jälkikäsitellään ennen sen laittamista takaisin kiertoon. Eri elvytysmenetelmät poikkeavat toisistaan lähinnä sideainekalvon poistamiseen liittyvän tekniikan osalta. Eri menetelmiä on selvitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Eri elvytysmenetelmien vaihtoehtoisia työvaiheita tai laitteita. Esikäsittelyn ja mekaanisen elvytyksen työvaiheet suoritetaan usein samanaikaisesti. [1, s. 223.]

Bentoniittihiekat ovat aina kiertohiekkvoja, joiden osittainen elvyttäminen voi tulla kysymykseen vain, jos hiekan määrä jostain syystä kasvaa liian suureksi ja jos raakahiekka on erittäin kallista. Bentoniittihiekoissa lähellä pintaa olevissa rakeissa bentoniitti menettää kidevetensä kuumennuttuaan muita kiteitä enemmän ja menettää kykynsä sitoa vettä uudelleen itseensä. Tätä ilmiötä kutsutaan perkipalamiseksi. Hiekkakierrossa perkipalaneiden rakeiden pinnalla oleva sideainekuori on lujasti kiinni kiteessä eikä irtoa tavanomaisella käsittelyllä, kierrossa kuori saa pinnalleen uuden sideainekuoren, joka voi perkipalaa uudelleen. Näin kiteen pinnalla voi olla usean kierroksen jälkeen paksu kerros perkipalanutta ainesta. Tällöin rakeen sanotaan olevan oolisoitunut. Oolisoitunut hiekka aiheuttaa huonon valupinnan lisäksi kaasuja muita valuvikoja kappaleisiin. [1, s. 229.]

Koska bentoniittihiekat ovat aina kiertohiekkvoja, sen liiallinen oolisoituminen pidetään tasapainossa lisäämällä jatkuvasti uutta hiekkaa systeemiin. Lisäksi katsotaan ettei lähellä pintaa ollut hiekka pääse takaisin kiertoon. Tuorehiekkvoja ei elvytetä Suomessa. [2, s. 26.]

### 4.13 Keernanvalmistus

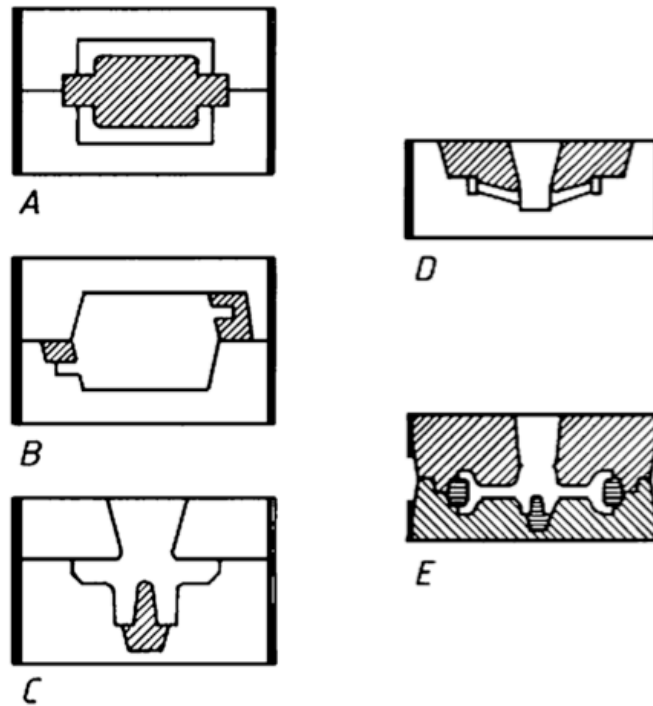
Keerna on erityisestä hiekkaseoksesta, keernahiekasta valmistettu ja kove-tettu kappale, joka asetetaan muottiin muodostamaan valukappaleeseen sel-laisia muotoja, joita ei saada helposti tai lainkaan aikaiseksi muottiin kaa-vaamalla. Keernoilla luotavat muodot ovat yleisesti reikiä ja erilaisia onkaloi-ta. Valutekniikan kehittyessä keernoja on ruvettu käyttämään kaavauksen apuna myös muulla tavoin. Componenta käyttää keernojen valmistamiseen cold box-menetelmää. [2, s. 28.]

Hyvän keernan tulee täyttää seuraavat vaatimukset [2, s. 28 - 29.]:

- Keernan tarkkuuden on oltava riittävä.
- Keernassa tulee olla riittävän suuret keernakannat (keernasentrumit), jotta se pysyy paikallaan valun aikana.
- Keernan lujuuden pitää olla niin suuri, että se kestää kuljetuksen sekä muottiin asettamisen aiheuttaman rasituksen.
- Keernan tulee kestää sulan metallin aiheuttama mekaaninen sekä lämpö-rasitus.
- Keernan läpäisyvyyden tulee olla niin hyvä, että syntyvät keernakaasut pääsevät esteettä poistumaan keernasta.
- Muotin tyhjennyksen jälkeen keerna on voitava poistaa helposti valukap-paleesta.

Keernojen käyttö on monesti välttämätöntä ja edullista valmistettaessa mo-nimutkaisia ja vaikeita valukappaleita (kuva 11). Keernojen käyttö lisää kui-tenkin tavallisesti valmistuskustannuksia, joten valukappaleen suunnittelussa tulisi mahdollisuuksien mukaan pyrkiä sellaiseen rakenteeseen, joka on mahdollista toteuttaa joko kokonaan ilman keernoja tai mahdollisimman vä-hälukuisin ja yksinkertaisin keernoin [2, s. 28.]. Monimutkaiset keernat val-mistetaan liittämällä yhteen erikseen tehtyjä keernoja esimerkiksi liimaamal-la, tällöin puhutaan keernapaketista.

Huomionarvoista on, että keernoilla pystytään helposti parantamaan valukappaleen pinnanlaatua sekä mittatarkkuutta. Keernojen avulla voidaan valaa myös ohuempiseinäisiä kappaleita, nopeuttaa työn kulkua kaavauslinjalla sekä vähentää valuvirheiden aiheuttamia epäkurantteja kappaleita. [1, s. 371 - 372.]



*Kuva 11. Keernojen periaatteelliset käyttötavat. A: onkalojen muodostaminen valukappaleeseen, B: vastapäistojen poistaminen, C: muotin heikkojen kohtien vahvistaminen, D: ylämuotin korvaaminen peitekeernalla, E: muotin rakentaminen kokonaan keernoista. [1, s. 372.]*

Keernanvalmistuksen prosessi alkaa keernanvalmistuskoneelta eli keernatykiltä, jossa hiekkaa puhalletaan keernalaatikkoon paineilman avulla ja kovetetaan kovassa paineessa kestäväksi käsittelyä. Keerna otetaan keernatykiltä käsin, viimeistellään (kuva 12) ja siirretään peitostettavaksi, jolloin keerna upotetaan peitosteaineeseen. Peitosteainekäsittelyn jälkeen keerna laitetaan uuniin, jossa peitoste ja keerna kovetetaan kestäväksi paremmin mekaanisia rasituksia kuin sulan lämpörasitustakin (kuva 13). Joissain tapauksissa keernaa ei peitosteta lainkaan.



*Kuva 12. Vasemmalla valmiin keernan nosto keernatykistä ja oikealla jakopintapurseiden poisto [2, s. 31]*

Peitosteet ovat keernan tai muotin pinnan viimeistelyaineita. Peitosteiden käytön tarkoituksena on hiekan huokosia täyttämällä muodostaa sileä, metallia läpäisemätön pinta keernalle tai muotille, joka muodostaa suojan metallin ja hiekan väliin. Tarkoitukseen valitaan aineita, joiden tulenkestävyys on erittäin korkea ja joita sulaa rauta tai metalli hylkii. Muita vaatimuksia peitosteelle ovat halkeilemattomuus, kuoriutumattomuus, reagoimattomuus peitostettavan pinnan kanssa ja sakkautumattomuus. Peitosteaine ei myöskään saa kehittää kaasuja, ja sen tulisi olla hyvin tarttuvaa ja halpaa. [1, s. 413 – 416; 2, s. 33.]



*Kuva 13. Keerna kastetaan peitosteaineeseen ja asetetaan takana näkyvälle hihnalle, joka kuljettaa peitostetut keernat uuniin kuivumaan. Componenta valimo A.*

#### 4.14 Kaavaus

Kaavaus on työvaihe, jossa muottihiekasta muotoillaan muottipuoliskot valumallien avulla. Kaavaus suoritetaan kaavauskehiin, joihin asetetaan valumallin puolikas, ja muottihiekka sullotaan sen ympärille. Kehien välinen pinta on muotin ja samalla valukappaleen jakopinta. [2, s. 31.]

Kaavaus voidaan jakaa käsi- ja konekaavaukseen sen perusteella, tapahtuuko kaavaus käsityönä vai kaavauskoneella. Nykyisin ero käsin- ja konekaavauksen välillä on kaventunut ja hieman hämärtynyt, sillä monia käsin-kaavauksen työvaiheita on mekanisoitu, esimerkiksi hiekan täyttö syöttösekoittimesta kaavauskehään. Kehyksen kääntö ja mallin irrotus tapahtuvat käsinkaavauksessa yleensä nosturin tai erityisen koneen avulla. Pullakaavauksesta puhuttaessa tarkoitetaan, ettei muotin kaavaamisessa käytetä lainkaan kaavauskehiä. [2, s. 32.]

Käsinkaavauksessa useimmin käytössä on kylmänä kovettuva hartsihiekkä, jossa muotin kovettuminen tapahtuu kemiallisesti. Käsinkaavausta käytetään käytännössä vain silloin, kun kappaleiden koko on niin suuri, että niiden koneellinen kaavaus on käytännössä mahdotonta. Toinen yleinen syy käsinkaavauksen käyttöön on niin pieni valmistussarja, ettei konekaavaukseen sopivien mallivarusteiden valmistaminen ole taloudellista. Pienet ja keskikokoiset sarjoissa valmistettavat kappaleet kaavataan yleensä koneellisesti. Konekaavattavan muotin kovettuminen voi tapahtua joko kemiallisesti kovettumalla tai mekaanisesti sullomalla. [2, s. 32.]

Kaavauksen yhteydessä muottiin valmistetaan myös kappaleen valujärjestelmä. Valujärjestelmä koostuu täyttöjärjestelmästä ja syöttöjärjestelmästä. Täyttöjärjestelmä koostuu kaatosuppilosta eli kuusasta, kaatokanavasta, jakokanavasta ja valukanavista. Syöttöjärjestelmä koostuu metallin kutistumisen kompensoimiseen tarvittavista syöttökuvuista. Muottiin kaavataan myös kanavia kaasujen poistoon, paikat keernakannoille sekä tiloja mahdollisesti käytettäville erilliselle jäähdytyskappaleille eli kokilleille. Valukappaleen täyttöjärjestelmä sekä syöttökuvut täyttyvät metallilla, ja ne on poistettava lopullisesta valukappaleesta. Tämä heikentää muotin saantoa, joka on yleisesti valuraudoilla noin 70 - 90 %. [2, s. 32.]



Jähmettymisen ja valun sekä sulan raudan muottiinvirtauksen simulointi ovat erittäin käyttökelpoisia apuvälineitä kappaleen muotoilun apuna, täyttöjärjestelmän kehittämisessä, syöttökupujen koon ja sijoittelun määräämisessä ja kokillien sijoittelun sekä vaikutuksen tutkimisessa. [2, s. 32.]

## 5 VALURAUDAT

Componentan valimot ovat keskittyneet pelkästään rautametallien valamiseen. Valettavien rautalajien määrä riippuu valimosta, Componentan valimo A valmistaa kappaleita suomugrafiittivaluraudan sekä pallografiittivaluraudan lisäksi myös austemperoidusta pallografiittivaluraudasta eli ADI:sta.

### 5.1 Suomugrafiittivalurauta EN-GJL

Suomugrafiittivalurauta tunnetaan myös nimellä harmaa valurauta. Suomugrafiittivalurautoissa grafiitti ydintyy jähmettymisen yhteydessä kolmiulotteisina ruusukkeina; rauta murtuu grafiittimuodostumia pitkin ja murtopinnalla grafiitti näkyy suomumaisina muodostumina (kuva 14). Suomugrafiittivalurauta on edullinen valurautamateriaali, ja sillä on hyvä valettavuus sekä koneistettavuus. [4; 5.]



Kuva 14. Mikroskooppikuva suomugrafiittivaluraudan rakenteesta, jossa grafiittisulkeumat näkyvät mustina suomuina perliittisessä perusaineessa [4.].

### 5.1.1 Rauta-hiiliseokset

Rauta-hiili -tasapainopiirroksen mukaan valuraudoiksi kutsutaan seoksia, joissa hiilipitoisuus on yli 2,06 %. Alle 2,06 % sisältävät rauta-hiiliseokset ovat teräksiä. Teräksissä hiili on liuenneena hyvin kuumana muokattavaan austeniittiin. Valuraudoissa hiilipitoisuus on niin suuri, että hiilen liukoisuus austeniittiin ylittyy eivätkä valuraudat ole kuumana muokattavia kuten teräkset. [10, s. 58.]

Stabiilissa järjestelmässä jähmettyvillä rauta-hiiliseoksilla pääosa hiilestä esiintyy grafiittina. Murtopinnan värin perusteella suomugrafiittirautoja kutsutaan myös harmaiksi valuraudoiksi tai harmaarautoiksi ulkomaisten nimien perusteella. [10, s. 59.]

Harmaiden valurautojen koostumukset ovat tavallisesti lähellä eutektista seosta. Käytännössä harmaat valuraudat eivät ole koskaan puhtaita rauta-hiiliseoksia. Suomugrafiittiraudat sisältävät myös 1 – 3 % piitä ja 0,1 - 0,7 % fosforia. Valurautojen käyttäytymistä tarkasteltaessa käytetään hiilipitoisuuden sijasta hiiliekvivalenttiarvoa CE [10, s. 60.]:

$$CE\% = C\% + \frac{1}{3} \times (Si\% + P\%)$$

Kemiallinen koostumus ja hiiliekvivalenttiarvo vaikuttavat suomugrafiittivaluraudan lujuuteen taulukon 3 mukaisesti. [10, s. 60.]

*Taulukko 3. Hiilen ja piin pitoisuuksien sekä hiiliekvivalentin ohjearvoja suomugrafiittivalurautojen eri lujuusluokissa [10, s. 60.]*

Lujuusluokka Murtolujuus $R_m$ Mpa (N/mm <sup>2</sup> )	Hiili C %	Pii Si %	Hiiliekvivalentti CE %
GJL 100	3,6	2,5	4,5
GJL 150	3,5	2,4	4,4
GJL 200	3,4	2,2	4,2
GJL 250	3,3	1,8	4,0
GJL 300	3,1	1,6	3,7
GJL 350	2,9	1,4	3,4

### 5.1.2 Suomugrafiittivalurautojen rakenne

Suomugrafiittisten valurautojen mikrorakenne koostuu pääasiassa kuudesta pääainesosasta: grafiitista, ferriitistä, perliitistä, sementtiitistä, steadiitista ja mangaanisulfidista. Seuraavassa on esitelty ainesosien ominaisuuksia tarkemmin:

- Grafiitti

Harmaana jähmettyvien valurautojen mikrorakenteessa suurin osa hiilestä esiintyy grafiittina. Grafiitin määrä, muoto ja jakauma vaikuttavat aineen fysikaalisiin ominaisuuksiin voimakkaasti. Mitä suurempi on valuraudan hiilipitoisuus, sitä suurempi on vastaavasti grafiitin määrä valuraudan rakenteessa. Harmaiden valurautojen lujuus pienenee grafiitin määrän lisääntyessä. Grafiitin määrän ollessa suuri jäävät lujuudesta vastaavat perusmassan kannat lyhyiksi ja raudan lujuus pienemmäksi. Grafiitti vähentää valuraudan kovuutta mutta parantaa vaimennuskykyä. Valuprosessissa erkautuva grafiitti kompensoi metallin tilavuuden muutosta ja vähentää valukappaleiden syöttämisen tarvetta. [10, s. 61 - 63.]

- Ferriitti

Harmaan valuraudan perusmassassa esiintyy teräksen kanssa samoja faaseja. Harmaalla valuraudalla faasien osuudet riippuvat hiiliekvivalenttiarvosta ja jäähtymisnopeudesta. Suuri hiiliekvivalentti ja hidas jäähtymisnopeus suosivat ferriitin muodostumista. Valuraudan ferriitti sisältää kaiken valuraudan sisältämän piin, piipitoisuus lisää ferriitin lujuutta ja kovuutta sekä parantaa valuraudan juoksevuutta mutta pienentää samalla sitkeyttä. [10, s. 64.]

- Perliitti

Standardin SFS-EN 1561:1998 "Valut, suomugrafiittivalurauta" mukaan suomugrafiittivalurautojen perusmassa on perliittinen lujuusluokissa 200 - 350 MPa. Perliitti muodostuu vuorottaisista ferriitti- ja sementtiittilamelleistä. Lujissa GJL-lajeissa perliitin osuus rakenteesta on noin 93 %, jolloin grafiitin osuudeksi jää noin 7 %. Perliitin muodostumista valuraudoissa suosii pieni hiiliekvivalentti ja suuri jäähtymisnopeus. [10, s. 64.]

- Sementtiitti

Sementtiitin kovuus on hyvin suuri ja se on haurasta, sen takia sementtiin muodostuminen ei ole harmaissa valuraudoissa toivottavaa. Sementtiin ylärajana pidetään 5 % rakenteesta, ja sen muodostumista ohuisiin seinämiin sekä särmiin pidetään valuvikana. Muodostuneen sementtiin poistaminen hehkutus käsittelyllä vaatii korkeita lämpötiloja ja pitkiä hehkutusaikoja. [10, s. 65.]

- Steadiitti

Valuraudan sisältämä fosfori muodostaa yhdessä raudan kanssa rautafosfidiä  $Fe_3P$ . Rautafosfidi muodostaa yhdessä puhtaan raudan ja sementtiin kanssa steadiittia. Steadiitin sulamislämpötila on alhainen, ja siten se pysyy jähmettymisprosessissa pisimpään sulana. Steadiitti on kovaa ja haurasta, ja sitä sallitaan koneenosissa yleensä vain 2 - 3 %. [10, s. 65.]

- Mangaanisulfidi

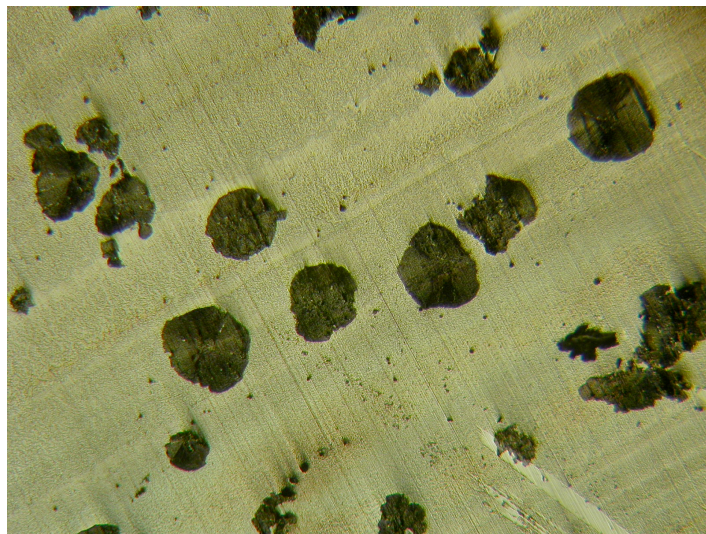
Mangaania käytetään harmaissa valuraudoissa sekä rikin sitomiseen mangaanisulfidiksi että rakenteen lujittamiseen. Rikki pyrkii muodostamaan rae-rajaille haurasta rautasulfidia ja lisää valkoisen valuraudan muodostumisvaaraa, joten se on aina sidottava riittävällä määrällä mangaania mangaanisulfidin muodostamiseksi. Rikkipitoisuuden ylärajana on yleensä 0,1 - 0,12 %. Vastaavasti mangaanipitoisuuden pitäisi olla vähintään 0,52 - 0,55 %. Mangaani suosii perliitin muodostumista ja näin lujittaa valurautaa. [10, s. 65.]

## 5.2 Pallografiittivalurauta EN-GJS

Pallografiittiraudassa hiili ydintyy erillisinä pallomaisina grafiittisulkeumina (kuva 15). Pallografiittiraudalla on hyvät mekaaniset ominaisuudet, normaalin rakenneteräksen tasolla. Pallomaiset grafiittisulkeumat heikentävät mekaanisia ominaisuuksia paljon suomugrafiittivaluraudan grafiittisulkeumia vähemmän. Koneistettavuus on lähes suomugrafiittiraudan tasolla ja teräksiin verrattuna paljon parempi. [4; 5.]

### 5.2.1 Pallografiittiraudan ominaisuudet ja edut käytössä

Pallografiittivaluraudassa yhdistyy monta suomugrafiittivaluraudan ja valuteräksen hyvää ominaisuutta. Kaikkien valurautojen sulamislämpötilat ovat valuteräksiä matalampia. Matalampi sulamislämpötila merkitsee energia- ja materiaalikustannusten säästöä sekä parempia valupintoja. Pallomaisena erkautuvalla grafiitilla on vaimennuskykyä, liukuominaisuuksia sekä työstettävyttä parantava vaikutus. Edellä mainittujen ominaisuuksien numeroarvot ovat suomugrafiittivaluraudan vastaavia arvoja vain hieman huonompia, mutta silti oleellisesti valuteräksiä parempia. Pallografiittivaluraudoilla haluttu ferriitin ja perliitin suhde saadaan usein aikaan ilman erillistä lämpökäsittelyä, mikä on selkeä etu verrattuna valuteräksiin, jotka on aina lämpökäsiteltävä. (Kuva 16.) Lujuusominaisuuksissa pallografiittivaluraudat kilpailevat valuterästen kanssa, mutta rajoituksena suhteellisen huono soveltuvuus liitoshitsauksiin suuren hiilipitoisuutensa takia. Pallografiittivaluraudan valmistus on hieman suomugrafiittivalurautaa kalliimpaa. [10, s. 100 - 101.]



Kuva 15. Mikroskooppikuva pallografiittivaluraudasta, mustat pallot ovat grafiittisulkeumia.

### 5.2.2 Pallografiittivalurautojen kemiallinen koostumus

- Hiili, C

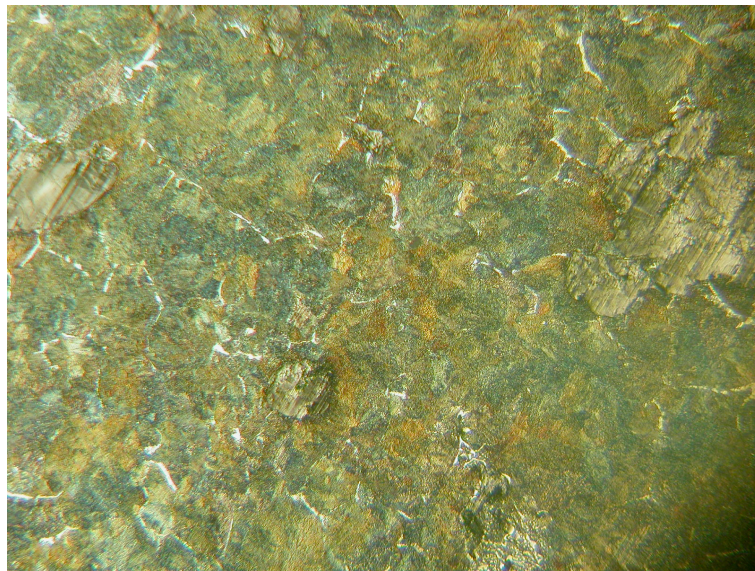
Pallografiittivaluraudat ovat yleensä eutektisia tai lievästi ylieutektisia. Hiilipitoisuus pallografiittivaluraudoissa on tavallisesti 3,4 - 3,8 %. Hiilipitoisuudet ovat jonkin verran suurempia kuin suomugrafiittivaluraudoilla, joilla pitoisuudet ovat noin 2,9 - 3,6 %. [10, s. 101.]

- Pii, Si

Pallografiittivalurautojen piipitoisuus on yleensä 1,8 - 2,8 %. Vanhoilla SFS-standardien GRP-laaduilla piipitoisuuden yläraja oli 2,1 - 2,3 % valurautalajista riippuen. Yleensä pallografiittivalurautojen piipitoisuus kasvaa, kun valettavien kappaleiden seinämävahvuus ohentuu. [10, s. 101.]

- Mangaani, Mn ja rikki, S

Pallografiittivalurautojen mangaani- ja rikkipitoisuudet ovat pienempiä kuin suomugrafiittivalurautojen. Pallografiittiraudan rikkipitoisuus pyritään pitämään alhaisena sen vuoksi, että palloutuskäsittelyssä käytettävä magnesium poistaa ensin rikkiä ja toimii vasta sen jälkeen grafiitin pallouttajana. Pitoisuutena 0,1 % kuluttaa magnesiumia vastaavasti 0,075 %. Ferriittisillä GJS-lajeilla rikkipitoisuus saisi olla korkeintaan 0,2 % ja perliittisillä lajeilla enintään 0,01 %. Pallografiittilajeissa ei tarvita mangaania rikin sitomiseen kuten suomugrafiittirauodoilla, siten mangaani vaikuttaa parhaalla mahdollisella teholla karbidinmuodostajana eli perliittiä suosivana. Ferriittisten GJS-lajien mangaanipitoisuus pitäisi olla vain 0,1 - 0,25 %, lujien lajien mangaanipitoisuus voi olla 0,5 - 0,8 %. (Kuva 16) [10, s. 101.]



*Kuva 16. Kuvassa ferriittis-perliittisen pallografiittivaluraudan mikrorakennekuva pinnan hapotuksen jälkeen. Vihreä osa kuvassa on ferriittiä ja valkoiset viirut perliittiä, harmaat alueet pallografiittisulkeumia.*

- Fosfori, P

Pallografiittivalurauodoilla fosforipitoisuuden pitää olla aina pienempi kuin suomugrafiittivalurauodoilla, koska fosfori pienentää voimakkaasti venymää ja iskutheyttä. Uusissa SFS-EN -standardeissa kaikille GJS-lajeille suositellaan alle 0,05 %:n fosforipitoisuutta. [10, s. 101.]

## 6 VALURAUTAKAPPALEEN SUUNNITTELU JA VAATIMUKSET

Yleensä komponenttien suunnittelun tärkeimmiksi käytännön tavoitteiksi mainitaan massan sekä tarvittavan tilantarpeen minimointi, luotettavuuden optimointi, turvallisuus, häviöiden minimointi, kierrätettävyys sekä luonnollisesti valmistuskustannusten minimointi. Myöskään valmistuksen aiheuttama ympäristökuormitusta ei nykyään sovi unohtaa. Valettavan tuotteen kannalta nämä tavoitteet ovat pitkälti sidoksissa materiaalin sekä valumene- telmän valintaan. [12, s. 10.]

Valumuotin käyttökertojen määrä muodostaa luonnollisen jakoperusteen valumenetelmien ryhmittelyssä. Kertamuotteihin voidaan valaa vain kerran, minkä jälkeen muotti hajotetaan. Kestomuottimenetelmissä samaan muottiin voidaan valaa tuotetta useita kertoja. Kestomuottimenetelmissä muotti on voitava purkaa hajottamatta sekä valoksia että muottia. [12, s. 10 - 11.]

Tässä insinööriyössä keskitytään ainoastaan kertamuottimenetelmiin ja pääosin hiekkamuottivaluihin, joissa hiekkamuottien materiaalina käytetään sullomalla kovetettavaa tuorehiekkää tai kylmänä kovettuvia hiekkaseoksia.

### 6.1 Kappaleen esisuunnittelu ja valmistusmenetelmän valinta

Kappaletta suunniteltaessa on valamista käsiteltävä menetelmänä yhdenvertaisesti muiden ratkaisuvaihtoehtojen kanssa, valamisen perusteeton suosiminen ei ole tarkoituksenmukaista ja saattaa myöhemmin kostautua. Tämän takia ratkaisuvaihtoehtoja ideoitaessa tulisi ottaa huomioon kaikki mahdolliset kysymykseen tulevat menetelmät. Joskus suunnittelijoilla ei ole tarvittavaa tietoutta eri materiaalien sekä valmistusmenetelmien mahdollisuuksista, usein tämä koskee myös valutekniikkaa sekä -metalleja.

Suunnittelijan kannalta tärkeimmän rajoitteen valun käytölle antaa usein se, kuinka ohuita seiniä milläkin seinämänlaajuudella voidaan valaa. [12, s. 11 - 12.]

Valmistusmenetelmän valinnassa on otettava huomioon [13, s. 1.]:

- materiaalivaatimukset (lujuus, sitkeys ja kovuus)
- materiaalivaihtoehdot
- kappaleen koko- ja muotovaatimukset
- sallitut toleranssit
- haluttu pinnanlaatu ja muut laatuvaatimukset
- sarjasuuruus

Valumenetelmien joukosta löytyy sopiva vaihtoehto erikokoisille sarjoille, eri materiaaleille, kappaleen eri kokoluokille ja erilaisille konstruktiivisille vaatimuksille [13, s. 1.].

## **6.2 Valurautakappaleen konstruktiosuunnittelu ja valettavuuden analysointi**

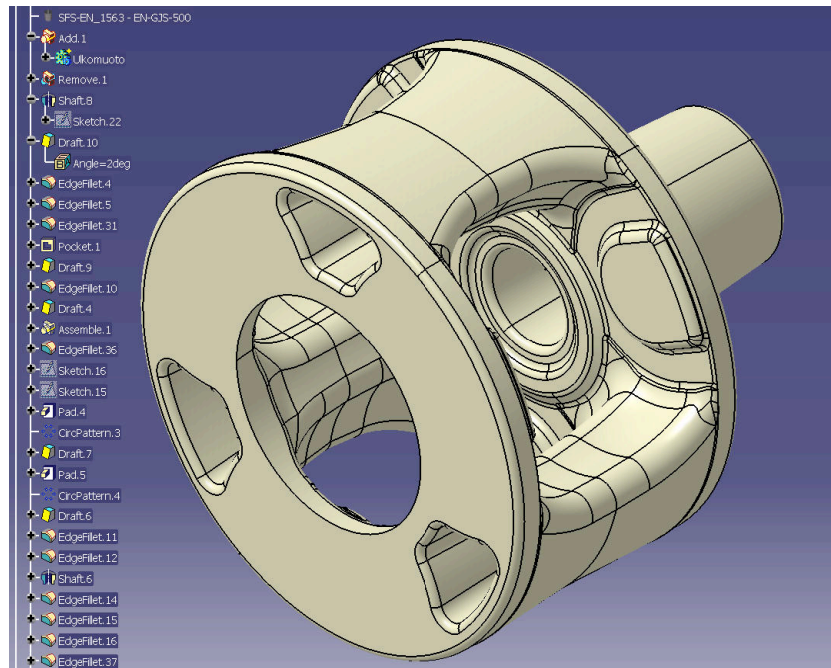
Kun kappaleen esisuunnittelu on tehty ja kappaleen valmistusmenetelmä on valittu, pitää kappaleen suunnittelussa noudattaa muutamia valulle ominaisia peruseriaatteita. Nykyään koneenosia ja komponentteja suunnitellaan pääosin 3D-mallinnusta hyväksikäyttäen, joka tarjoaa mahdollisuuden myös valettavuuden tarkempaan analysointiin valunsimulointityökaluilla. Valusimuloinnilla voidaan tarkastella kappaleen valettavuutta sekä valujärjestelmän toimivuutta ja tuoda ongelmakohtia esiin.

### **6.2.1 3D-mallinnus valuorientoidun konstruktiosuunnittelun työkaluna**

Kappaleen rakennekonstruktio on koneen osan malli sellaisena kuin koneen tai laitteen suunnittelija sen laatii. Osaan on suunniteltu ja mallinnettu toiminnalliset pääkohdat ja mitoitettu sen mukaisesti, tehty lujuusteknisesti merkittävät nurkkapyöritykset sekä tehty alustavia lujuustarkasteluja mallinnusohjelman lujuuslaskentamoduulilla tai sitä varten erikseen olemassa olevalla ohjelmalla. (Kuva 17.) Kappaleen rakennekonstruktiossa ei välttämättä ole vielä huomioitu valuteknisiä muotoiluja kuten päästöjä tai koneistettavien pintojen työvaroja. Sama osa voidaan valmistaa myös muilla valmistusmenetelmillä kuten hitsattavalla rakenteella. Jos menetelmäksi on valittu valaminen, voidaan valuteknisiä muotoiluja sekä materiaalin asettamia



vaatimuksia vastaavia toimenpiteitä tehdä seuraavalla suunnittelutasolla, jolla osan rakennekonstruktio mukautetaan täsmällisemmin valitun materiaalin sekä menetelmän asettamien vaatimusten mukaiseksi. [14, s. 1 - 3.]



Kuva 17. 3D-mallinnusohjelmistolla tehty valukappaleen konstruktio sekä piirrepuu vasemmassa reunassa. Kuvakaappaus Catia 3D-mallinnusohjelmasta.

### 6.2.2 3D-mallinnuslogiikka ja valutekniset vaatimukset 3D-mallin reunaehtoina

On hyvä, jos suunnittelija tietää mahdollisimman aikaisessa vaiheessa suunnittelevansa valukappaletta. Silloin suunnittelussa pystytään ottamaan asia mahdollisimman hyvin huomioon. Valumenetelmä vaikuttaa olennaisesti mallinnettavien piirteiden järjestykseen ja mallinnuksen logiikkaan. [14, s. 2.]

Valettavan kappaleen rakenteellinen 3D-malli tulisi laatia erityisesti valukappaleille sopivaa piirremallinnustapaa käyttäen, olettaen että käytössä on piirre pohjaista mallinnuslogiikkaa käyttävä ohjelmisto. Hyvän piirrepuun ominaisuuksia ovat helppo perusmuotojen muuteltavuus ja päivitettävyyys vähällä työllä. Valetun kappaleen suunnittelussa käytettävään hyvään mallinnustapaan kuuluvat myös seuraavat seikat [14, s. 2.]:

- Mitään pyöristyksiä ei käytetä toisten piirteiden pohjana.
- Kaikki pyöristykset sekä viisteet mallinnetaan peräkkäin viimeiseksi.
- Jakotason paikka on päätetty jo varhaisessa vaiheessa.

- Konstruktiossa pyrittävä mieluiten keernattomaan ja vastapäästöttömään rakenteeseen, joka vähentää valmistuskustannuksia, valuvirheiden riskiä sekä läpimenoaika.
- Sisäpuoliset muodot suunniteltava siten, että keernat voidaan hahmotella helposti; "shell"-ominaisuuden käyttöä pyrittävä välttämään tai käytettävä harkitusti.

Jos kappaletta on aikaisemmin valmistettu esimerkiksi hitsaamalla ja menetelmä halutaan vaihtaa valamiseen, on tarpeellisia muutoksia tutkittava ja selvitettävä valamisen edellytykset, kuten valuasento sekä tarvittavat seinämäpaksuudet. Valettavuuden suhteen parannettuun kappaleen konstruktiin lisätään muotin valmistusta ja siitä poistamista helpottavat ominaisuudet, kuten kappaleen hellitykset sekä mahdollisten keernapintojen hellitykset keernalaatikon avautumissuunnan mukaisesti.

Kappaleen valuasennon määrittämiseksi pitää tutkia kappaleen seinämäpaksuudet sekä materiaalikeskittymät. Painovoimaisissa valumenetelmissä kappaleen paksut seinämät ja materiaalikeskittymät tulisi olla ylempänä, jolloin kappaleen muut osat ovat helpommin syötettävissä. Kappaleen jakotasot tulisi valita nyt ja mallintaa hellitykset sen mukaisesti. Valuasento voi kaavausmenetelmästä olla joko vaakatasossa (esimerkiksi HWS-valulinjat) tai pystyssä (Disamatic-valulinjat). [14, s. 3.]

Kevennysten, ohuita hiekkapatsaita tuottavien muotojen, liian teräviksi muotoiltujen nurkkien ja muun kappaleen valettavuutta huonontavan muotoilun tunnistaminen ja muuttaminen kannattaa aina tehdä yhteistyössä valimon sekä konstruktiosuunnittelijan kanssa. Kaikilla edellä mainituilla muodoilla on taipumus aiheuttaa valuvikoja, huonontaa sulan virtausta tai muuten vaikeuttaa valuprosessia. Nämä tarvittavat valutekniset muutokset voivat vaikuttaa kriittisissä paikoissa lujuusominaisuuksiin, joten yhteistyö muutosten tekemisessä on tärkeää. [14, s. 5.]

Valukappaleen malliin lisätään tarvittavat työstövarat koneistettaville pinnoille ja poistetaan koneistettavat reiät, ellei reikä ole huomattavan suuri ja kaavattavissa helposti. Tällöin reikään lisätään oikeat hellitykset sekä työstövarat koneistusta varten. Kaikki pienet reiät, kuten kierteityksen alkureiät ja kiinnityspultin reiät poistetaan hiekkavaluista poikkeuksetta. [14, s. 5 - 6.]

Valukappaleessa käytetään pyöristyksiä yleensä muutamasta eri syystä. Yleisimmät ja tärkeimmät syyt ovat [14, s. 6.]

- sulan metallin virtaamisen parantaminen pyöristysten avulla
- lujuustekninen syy
- pyöreän nurkan kaavautuminen paremmin kuin terävän
- terävän nurkan kuumeneminen muotissa enemmän aiheuttaen valuvikoja

Jos valuasennosta tai muista valuteknisistä vaatimuksista ei ole tarkkaa tietoa, kannattaa komponentin tilaajan ja valimon valimoinsinöörien tehdä yhteistyötä optimaalisen ratkaisun saavuttamiseksi. Jo kappaleen suunnitteluvaiheessa tapahtuva yhteistyö valimon ja suunnittelijan välillä voi lyhentää olennaisesti suunnitteluprosessiin käytettävää aikaa ja parantaa tuotekehitysyhteistyötä.

## **7 VALUSIMULOINTI**

### **7.1 Valusimuloinnin perustaa**

Viimeisen parin vuosikymmenen aikana valusimuloinnin työkalut ovat nousseet valimoteollisuudessa tärkeään asemaan, jossa sulan käsittelemisen tuntemus on yleisesti ollut harvojen valimoinsinöörien vahvaa osaamisaluetta. Perinteisessä työtavassa on ongelmana ollut se, että valittua valumenetelmää ja -järjestelmää voitiin säätää vain valmistamalla oikeita valukappaleita ja tarkastamalla ne. Jos koevalut eivät vastaa asiakkaan vaatimuksia, on koevalut uusittava ja muutostyöhön kuluu sekä aikaa että rahaa. [15.]

Valusimulointi on keino saada valun jokaisesta kohdasta kattava informaatio, mikä ei ole muilla keinoin mahdollista tai on muutoin erittäin vaikeaa ja kallista. Valusimulointi tuotesuunnittelun apuna antaa todellista taustatietoa valukappaleen kriittisistä kohdista valettavuuden kannalta, kuten valukappaleen potentiaaliset virhepaikat sekä mekaaniset ominaisuudet paikan funktiona. Tällöin voidaan tuotesuunnittelussa varmuuskertoimia pienentää ja keventää näin kappaleita. [12, s. 60 - 63.]

Nykyaikaisessa valimossa yritys ja erehdys -menetelmää ei olisi suositeltavaa käyttää sen tehottomuuden vuoksi. Nykyään simulointi on valimoprosessissa korvaamattoman tärkeä työkalu, jonka avulla tietokoneen ruudulla

voidaan ennakkoon kehittää optimaalisin tapa valaa ja syöttää valukappale. Simuloinnin avulla voidaan kehittää monia vaihtoehtoisia ratkaisuja virtuaalisesti ja vähitellen löytää optimaalinen kokonaisratkaisu syötön sekä valujärjestelmän osalta. Kokonaisratkaisuna parhaassa tuotteessa valukappaleen laatu on halutulla tasolla, niin pinnanlaadun kuin kappaleen sisällä olevien valuvirheiden osalta. Optimaalisessa ratkaisussa myös tuotantomenetelmä on toteutuskelpoinen sekä mahdollisimman kustannustehokas. [15.]

#### 7.1.1 *Valusimulointi Componentan Hollannin yksiköissä*

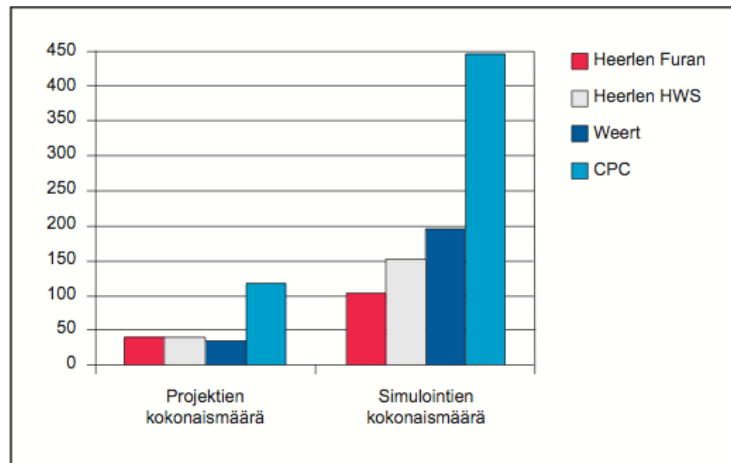
Componentan Hollannin yksiköissä on aloitettu valukappaleiden simulointi suunnittelun apuna jo vuonna 1996, jolloin käyttöön otettiin ensimmäinen MAGMA-simulointiohjelmisto. Vuonna 1999 on tehty periaatepäätös, jossa jokainen uusi tilaus sekä suunnittelua vaativa projekti simuloitiin MAGMA-ohjelmistolla. [15.]

Ajan saatossa Componenta Hollannin CPC:n simulointilaitteistosta on tullut yksi tärkeimmistä työkaluista ratkaisujen myynnissä. Sen avulla pystytään löytämään optimaaliset, asiakkaan vaatimusten mukaiset ja kustannustehokkaat ratkaisut kaikkein toteutuskelpoisimmalla tavalla koko valmistusketjussa, alhaisimmalla kustannustasolla. Yleensä ratkaisu on pystytty löytämään jo ensimmäisellä kerralla ilman tehotonta ja kallista yritysjä ja erehdys -menettelyä. [15.]

Kustannussäästöinä yhden koevalukierroksen on laskettu maksavan noin 4000 - 5000 euroa HWS-tuotantolinjalla ja Heerlenin furaanihiekkalinjalla noin 8000 - 10000 euroa kierrokselta. Tutkimuksessa on selvinnyt, että intensiivisen simuloinnin avulla voidaan koevalukierrokset minimoida ja näin säästää aikaa sekä rahaa. (Taulukko 4.) [15.]

Taulukko 4. Kaavio simulointiprojektien määristä ja kerralla oikein-tapauksista Componentan Hollannin yksiköissä. [15.]

Yksikkö	Onnistumisprosentti (ensimmäisellä kerralla oikein)
Componenta Weert	90 %
Componenta Heerlen Furan	80 %
Componenta Heerlen HWS	90 %



### 7.1.2 Valusimulointi Componentan Suomen yksiköissä

Suomen yksiköissä simulointityökalut eivät ole vielä yhtä tehokkaassa käytössä kuin Hollannin yksiköissä, mutta simulointityökalujen tehokkaampaan käyttöön tähtäävä projekti on keväällä 2010 käynnissä engineering-organisaation muutoksen yhteydessä.

Jokapäiväisessä työssä valusimulointia hyödynnetään pääasiassa kolmeen eri tarkoitukseen:

- suunnitteluprojektit ja advanced engineering-projektit, joissa tuote suunnitellaan valettavaksi valutuotteiden suunnitteluperiaatteiden mukaisesti yhdessä asiakkaan kanssa
- tarjousprosessin yhteydessä, jossa CPC tukee tarjouslaskentaorganisaatiota simuloimalla uusia kappaleita ja ehdottamalla valimoille valuprosessin toteutustapaa
- tuoteoptimointi, jossa jo tuotannossa olevan kappaleen valuprosessia yritetään parantaa ja optimoida kustannustehokkaammaksi tai poistaa havaittuja ongelmia

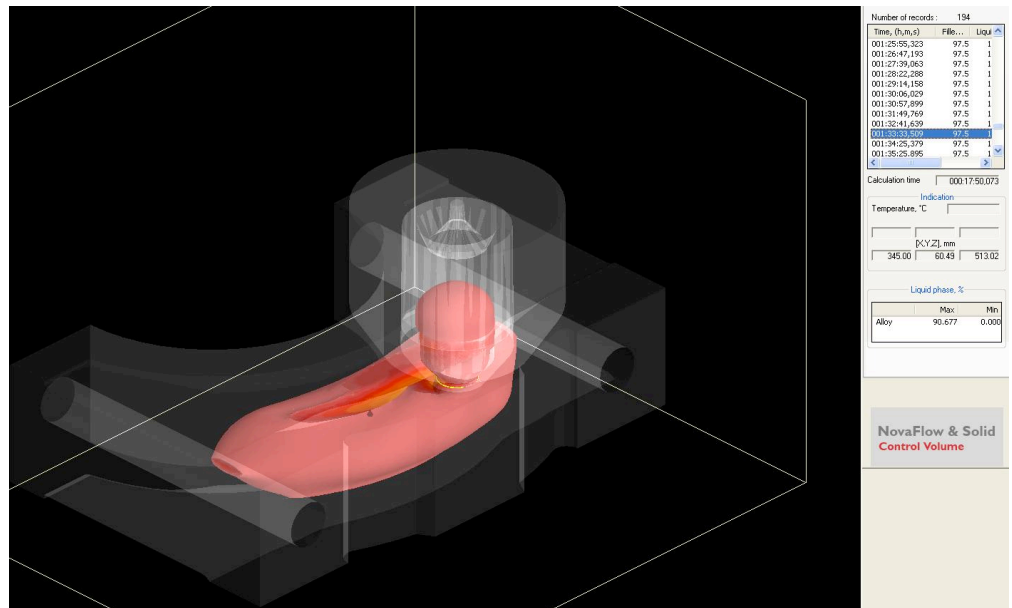
Simulointijärjestelmän hankinta pystyy maksamaan itsensä takaisin järjestelmän tehokkaalla käytöllä pelkästään välittömien kustannusten kuten rekламаatioiden sekä koevalukierrosten vähenemisistä aiheutuvina säästöinä, ei vuosissa, vaan kuukausissa.

## 7.2 Jähmettymisen simulointi

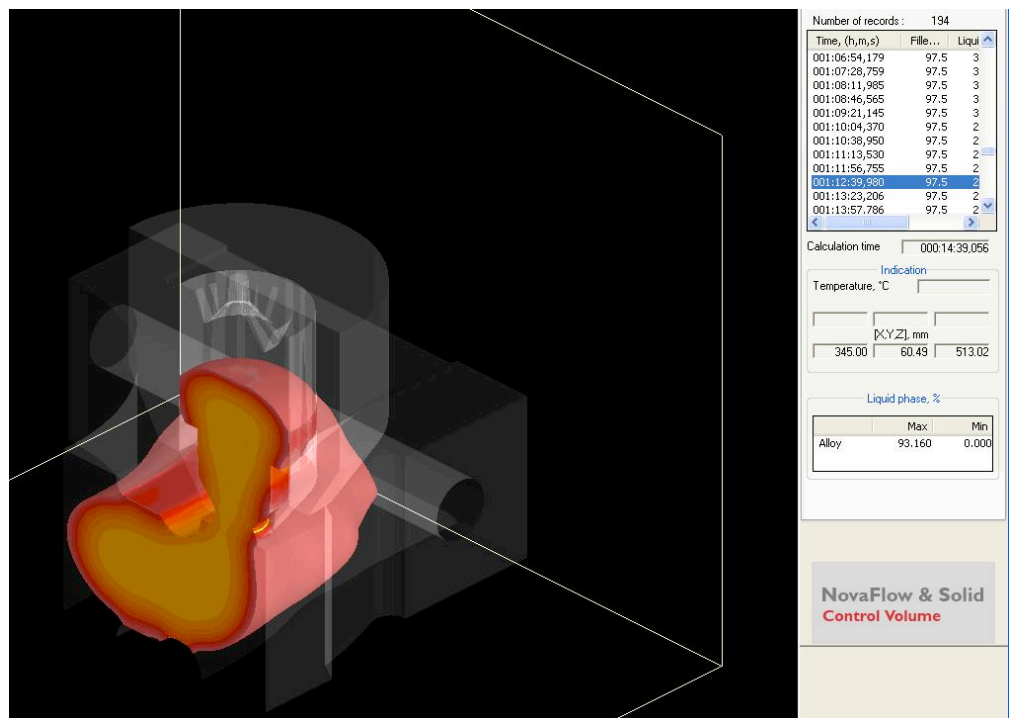
Jähmettymisen simuloinnilla kappaletta pystytään analysoimaan siitä hetkestä eteenpäin, kun valujärjestelmä on täyttynyt kokonaan sulalla. Jähmettymisen simuloinnilla voidaan nopeasti ja tehokkaasti löytää kappaleeseen muodostuvat syöttöalueet sekä sulan lämpötilaan mahdollisesti liittyvät ongelmat. Jähmettymissimuloinnin avulla nähdään luotettavasti myös kappaleeseen muodostuvista valuvirheistä kappaleen imuhuokoisuus sekä imupainaumien paikat. Kappaleen syöttötarpeen analysoinnissa jähmettymissimulointi on todella tarpeellinen työkalu, sen avulla voidaan analysoida syöttötarpeen määrä ja syöttökuvun riittävyys valuprosessissa jo etukäteen ja välttää virheellisestä syöttämisestä johtuvia valuvikoja.

Menetelmänä jähmettymissimulointi on nopeutensa ansiosta oiva apuväline jo tarjousvaiheen kustannuslaskennasta lähtien. Jähmettymissimulointia voidaan tehdä tarpeen mukaan niin hienolla tasolla kuin on laskemisajan puitteissa järkevää ja kustannustehokasta, tarjousvaiheessa pystytään nopealakin jähmettymissimuloinnilla näkemään suurimmat ongelmakohtat ja saamaan nopeasti kallisarvoista informaatiota. Menetelmäkehityksen, tuotekehityksen ja valuteknisen ongelmanratkaisun työkaluna jähmettymissimulointia voidaan tehdä tarkemmilla parametreilla ja autenttisella kokoonpanolla, jolloin saadaan tarkempaa tietoa tuotannon tai kappaleen pullonkauloista. Tämän perusteella voidaan ehdottaa muutoksia valettavuuden parantamiseksi joko tuotantolinjalle tai asiakkaan kappaleeseen. Jähmettymisen simuloinnille tavanomaista on, että simuloidaan yksittäiskappaleita tai muutamaa kappaletta kerrallaan syöttötavasta riippuen.

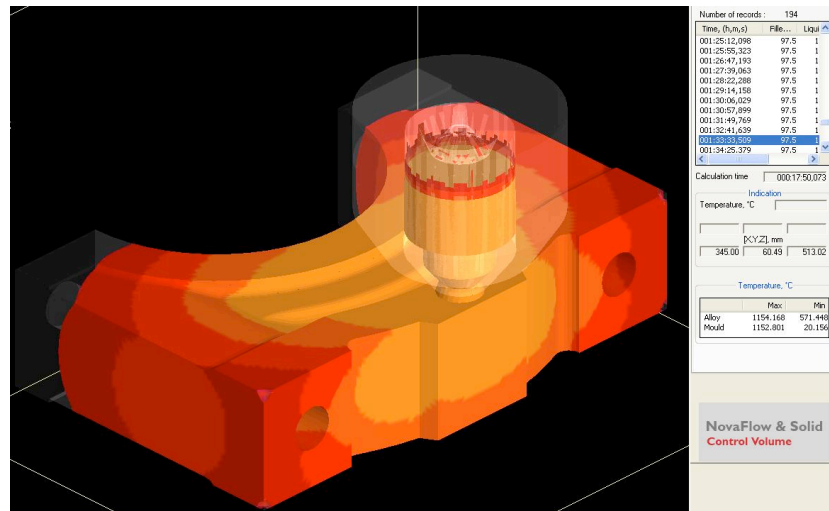
Seuraavassa kuvasarjassa on näytetty erään valukappaleen jähmettymissimuloinnin tuloksia jähmettymisprosessin eri vaiheissa (kuvat 18 - 21). Näkymiä ja skaalausta voidaan säätää yleensä ohjelmistosta riippuen hyvin tarpeisiin ja mieltymyksiin sopiviksi.



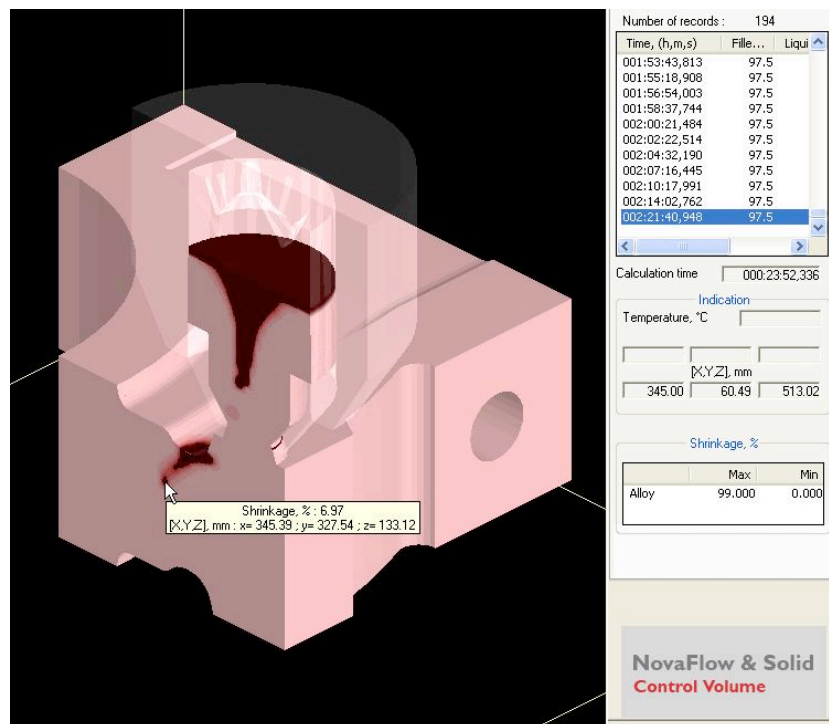
Kuva 18. Kuvassa jähmettymissimuloinnin näyttämä sulan raudan osuudesta valukappaleessa 1 h 33 min jäähtymisen jälkeen. Kuvakaappaus Novacast NovaFlow & Solid-ohjelmasta. Componenta CPC, Helsinki.



Kuva 19. Kuvakaappaus jähmettymissimuloinnista kappaleen jäähtyttyä 1 h 12 min. Näkymää leikattu ZY-tasossa. Keltainen osa vastaa skaalassa sulan kuumempaa osaa, sulan ulkokehällä oleva punainen vastaa kylmempää. Componenta CPC, Helsinki.



Kuva 20. Lämpötilänäkymä jähmettymissimuloinnissa kappaleen jäähdyttyä 1 h 33 min. Kuvassa keltainen osuus kaikkein kuuminta sulaa, tummimman punainen kaikkein eniten jäähtynyttä. Componenta CPC, Helsinki.



Kuva 21. Jähmettymissimuloinnin huokoisuusnäkymä 2 h 21 min jälkeen, jolloin koko valukappale on kauttaaltaan jähmettynyt. Tummanpunainen osa vastaa huokoisuutta valukappaleessa. Nuolen kohdalla simulointi näyttää ko. alueelle 6,97 % huokoisuutta. Näkymää leikattu ZY-tasolla. Componenta CPC, Helsinki.

Jähmettymisen simulointi on tehokas ja nopea työväline moneen eri tarkoitukseen. Käytettäessä valimon omilla parametreilla säädettyä materiaalikantaa sekä oikeilla arvoilla olevia syöttökupuja saadaan nykyaikaisilla valusimulointiohjelmistoilla hyvin luotettavia sekä informatiivisia simulaatioita



murto-osassa koevalukierroksen vaatimasta ajasta paljon halvemmalla. Parhaassa tapauksessa simuloinnista saatuja tuloksia pystytään soveltamaan jo tuntien päästä esimerkiksi ongelmanratkaisutilanteessa, jolloin tärkeää on pystyä turvaamaan valimon toiminta ja tavarantoimitukset asiakkaalle.

### 7.3 Valukappaleen virtauksen simulointi

Valujärjestelmän virtauksen simulointi on työkalu sulan virtauksen sekä jähmettymisen analysointiin siitä hetkestä lähtien, kun sulaa kaadetaan muottiin. Virtauksen simuloinnin avulla voidaan tarkastaa ja optimoida kanavistoja sekä tarkastella syöttöjärjestelmän toimivuutta kokonaisuutena koko valu-prosessin ajan. Virtauksen simuloinnilla pystytään helposti todentamaan valujärjestelmästä johtuvia ongelmia ja vertailemaan valujärjestelmän toimivuutta erilaisilla ratkaisumalleilla ja valukanavistoilla.

Virtauksen simulointi vaatii tietokoneelta jähmettymisen simulointiin verrattuna paljon enemmän laskentatehoa, ja simuloinnin kesto voi jähmettymisen simulointiin verrattuna olla jopa kymmenkertainen. Virtauksen simulointeja tehdään jähmettymisen simuloinnista poiketen yleensä koko valujärjestelmällä, jossa mukana ovat niin valukappaleet, kappaleiden syötöt, suodattimet kuin kanavistotkin. Toisin sanoen virtauksen simulointia tehdään yleensä täydellisemmällä valukokoonpanolla jähmettymisen simulointiin verrattuna.

Virtauksen simuloinnissa voidaan todentaa ja varmistaa valujärjestelmästä monia eri asioita. Yleisimpiä tutkittavia asioita ovat valukanaviston toimivuus, syöttöjärjestelmän toimivuus, sulan virtauksen laskennallinen riittävyys valuajan funktiona, valukappaleiden sisäänmenojen toimivuus osana valukanavistoa, valujärjestelmän lämpötila sekä ehkä tärkeimpänä asiana valukappaleiden valuviat kuten imuhuokoisuus sekä kylmäsaumat. Virtauksen simulointi antaa mahdollisuuden tarkastella kappaleeseen mahdollisesti muodostuvia kylmäsaumoja, joita ei pystytä jähmettymisen simuloinnilla todentamaan lähtökohtaisten erojen vuoksi. Virtauksen simulointi alkaa siitä hetkestä, kun sulaa rautaa kaadetaan muottiin ja on mahdollista seurata sulan liikumista ja lämpötilan muutosta kanavistossa. Jähmettymisen simuloinnin lähtökohtana on tilanne, jossa muotti on juuri täyttynyt sulalla metallilla. Valukanaviston oletetaan olevan optimaalisen toimiva ja raudan lämpötilan

lähtötilanteessa sama kuin muottiin kaataessa, mikä ei todellisuudessa ole mahdollista.

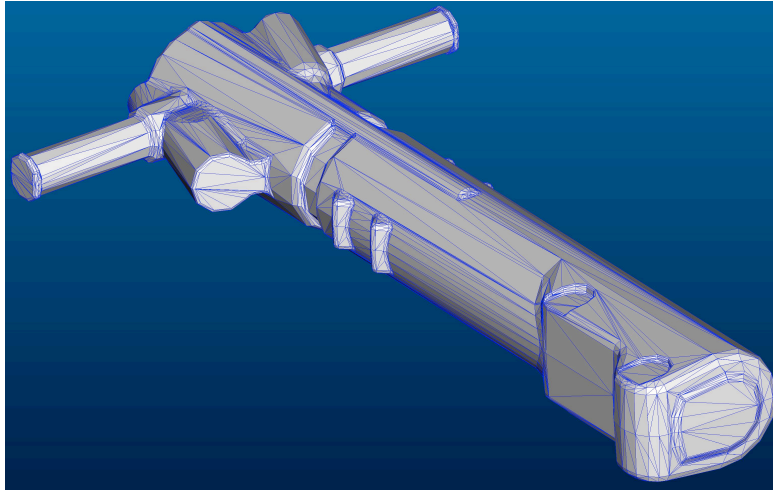
Kahden eri simulointiohjelmistovalmistajan ohjelmistoilla, suomalaisen Castech Oy:n tuottamalla CastCAE:lla sekä ruotsalaisen Novacastin tuottamalla NovaFlow & Solid Control Volumella on tehty virtauksen simuloinnista vertailusimulointia, joista kuvia liitteessä 1.

#### 7.4 Simulointiohjelmit

Markkinoilla on olemassa simulointiohjelmitoja hyvin eri hintaluokissa sekä eri käyttötarkoituksiin. Halvemmillä simulointiohjelmitoilla pystyy tekemään luotettavaa analyysiä jähmettymisestä sekä siihen liittyvistä muuttujista kuten lämpötiloista ja jähmettymisajoista, mutta pullonkaulaksi muodostuu usein virtauksen simulointi ja tulosten visuaalinen esittäminen. Simulointiohjelmiston valinnassa tulisi huomioida saavutetun hyödyn suhde kustannuksiin: onko järkevää perustetta investoida monta kertaa kalliimpaan, tunnettuun simulointiohjelmitoon vai riittääkö hieman edullisempi vaihtoehto. Materiaalikannan optimoinnilla saadaan yleensä luotettavia tuloksia simulointiohjelmitosta riippumatta.

Simulointiohjelmitojen funktio on ajan saatossa laajentunut pelkästä asiantuntijatyökalusta myös esittämistyökaluksi, visuaalisesti hyvillä ja selkeillä tuloksilla pystytään esittämään asiakkaille sekä työryhmille valujen ja valujärjestelmien toimivuutta sekä ongelmakohtia. Joskus paine kalliin simulointiohjelmiston hankintaan voi tulla myös asiakkaan puolelta, kun edullisemman simulointiohjelmiston käytöstä seuraa nk. uskottavuusongelma asiakkaan silmissä.

Simulointiohjelmitoilla simuloitavat 3D-mallit tallennetaan mallinnusohjelmitoissa stl-tiedostoformaattiin, joka tekee kappaleesta kolmioverkon, joka on käyttäjän määrittelemän toleranssin sisällä mallinnusohjelmiston natiiviformaatissa luotuun malliin nähden. Stl-tiedostoformaattiin käännetty 3D-malli (kuva 22) voidaan avata simulointiohjelmitolla ja lisätä muut halutut valujärjestelmän elementit kuten kokillit ja syötöt tai virtaussimuloinnin ollessa kyseessä kanavistot. Myös näiden tulee olla simulointiohjelmitojen ymmärtämässä stl-formaatissa.



*Kuva 22. Stl-formaattiin käännetty 3D-malli. Kuvakaappaus Pro/ENGINEER-ohjelmistosta.*

Componenta käyttää kolmea eri simulointiohjelmistoa, Suomen yksiköissä on käytössä pääasiassa suomalaisen Castech Oy:n valmistama CastCAE sekä ruotsalaisen Novacastin tuottama NovaFlow & Solid Control Volume. CastCAE käyttää simuloinnissa perinteistä ”koppimallinnustekniikkaa” ja soveltuu hyvin jäähmettymisen simulointiin sekä tietyiltä osin myös virtauksen simulointiin. Virtauksen simuloinnissa CastCAEn pullonkaulaksi muodostuu laskennan hitaus verrattuna NovaFlow & Solidiin. Tulosten näyttämässä ja vertailussa CastCAE on täysin vertailukelpoinen NovaFlow & Solidin kanssa ja näyttää virheet riittävällä tarkkuudella samalle alueelle myös verrattaessa todelliseen tilanteeseen. NovaFlow & Solidin vahvuus suhteessa CastCAEen on tulosten esittämisessä sekä simuloinnin nopeudessa. CastCAE pystyy hyödyntämään simuloinnissa ainoastaan tietokoneen 32-bittistä prosessoritekniikkaa, kun taas NovaFlow & Solid toimii 64-bittisellä alustalla, joka lisää laskentatehoa ja näin ollen myös nopeuttaa laskentaa. NovaFlow & Solid on toimivuudeltaan, nopeudeltaan sekä tulosten esitettävyydeltään edukseen erityisesti tehtäessä virtauksen simulointia.

CastCAEn ja NovaFlow & Solidin vertailukuvat ohessa (liite 1). Molemmilla ohjelmilla on tehty virtaussimulointi samalla valujärjestelmällä samoin parametrein. Kuvakaappaukset ovat simuloinnin ajanhetkestä, jolloin rautaa on kaadettu muottiin noin 5 sekunnin ajan.

Componentan Hollannin sekä Turkin yksiköissä käytetään maailmanlaajuisesti tunnettua ja paljon käytettyä Magmasoftin MAGMA-simulointiohjelmistoa. Pitkällä aikavälillä Componenta pyrkii koko konsernin

laajuudella ainoastaan yhden simulointiohjelmiston käyttöön, tällä pyritään laajentamaan simuloinnin käyttöä sekä osaamista eri yksiköiden välillä osana CPC-yksiköiden yhteistoimintaa.

## 8 VALUKAPPALEIDEN LAADUN JA KUSTANNUSTEHOKKUUDEN PARANTAMINEN COMPONENTAN VALIMO A:SSA

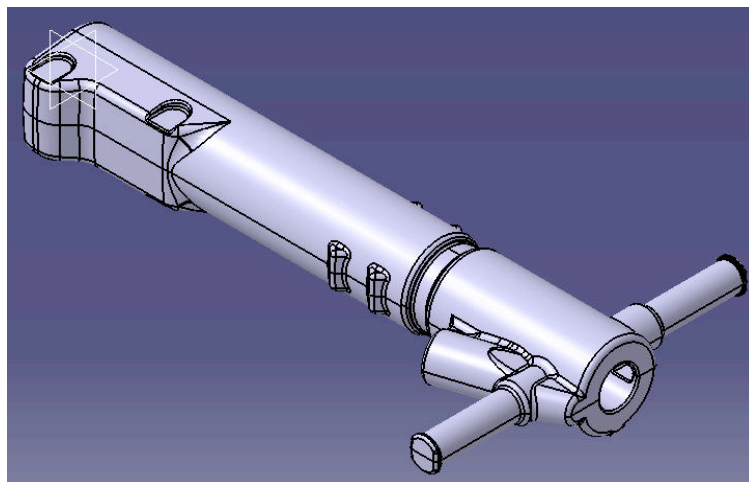
Insinööriyön kappale 8 on tarkoitettu vain työn tilaajan käyttöön.

## 9 KEHITYSKOhteET

Kehityskohteiksi valittiin Componentan valimo A:n sekä valimo B:n tuotteista yhteensä kuusi kriittistä laadunparannus- ja kehityskohdetta, jotka aiheuttivat suuria kustannuksia sekä asiakasreklamaatioina että sisäisesti epäkurantteina kappaleina. Suurimmassa osassa valittuja kohteita ongelmana on kriittisessä paikassa oleva imuhuokoisuus, joka tulee koneistuksen yhteydessä näkyviin. Yhdessä kehityskohteista ongelmana oli nk. chunky-grafiitti.

### 9.1 Sylinteriaihio

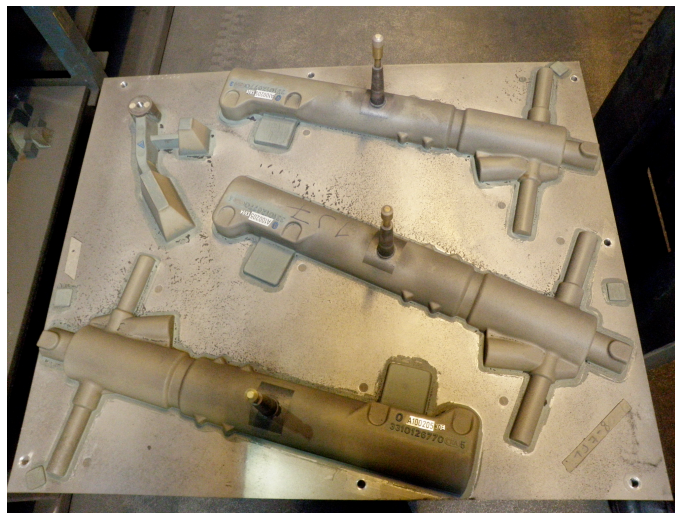
Sylinteriaihion (kuva 23) ongelmana oli syöttökuvun alle muodostuva imuhuokoisuus ja ulkopinnalle muodostuvat imupainumat. Kappaletta valetaan kolme kappaletta muottia kohden ja kappaleen materiaalina on EN-GJS-500-pallografiittivalurauta. Kappaleen imuhuokoisuus aiheutti kappaleessa laadullisia ongelmia.



Kuva 23. Sylinteriaihio, kuvakaappaus Catia 3D-mallinnusohjelmasta

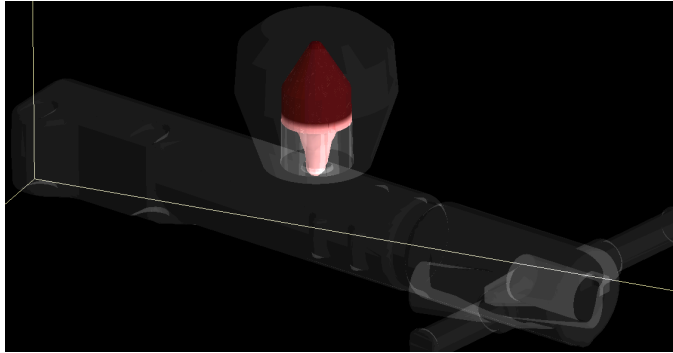
Vuonna 2009 kaavattuja sylinteriaihioita oli hylätty imuhuokoisuuden takia, mikä oli aiheuttanut välittömiä kustannuksia myynnin menetyksinä ja korvaavan tuotannon takia. Välillisinä kustannuksina laatuongelmat ovat johtaneet tarkempaan laatuutkimukseen ja -seurantaan sekä uusien koesarjojen valmistamiseen.

Aikaisemmin kappaleen valujärjestelmässä (kuva 24) käytössä ollut PX 2370 -eksoterminen syöttökupu oli vaihdettu suurempaan PX 3200 -syöttökupuun, jolla oli pyritty eroon syötön kaulan alle muodostuvasta imuhuokoisuudesta. Kokemuspohjaisen tiedon perusteella sulan jälkiympäyksen on havaittu aiheuttavan muutoksia jähmettyvän kappaleen huokoisuuden muodostumiseen.



*Kuva 24. Sylinteriaihion ylämallin muotti. Componenta valimo A.*

Kappaleen imuhuokoisuusongelmaa tutkittiin simuloinnin avulla, jossa havaittiin käytettävän syöttökuvun termisen moduulin olevan kappaleen termiseen moduuliin nähden riittämätön samoin kuin syöttökuvun metallimäärän syötettävän metallin tarpeeseen nähden (kuva 25). Kappaleelle tehtiin niin yksittäiskappaleiden jähmettymissimulointeja eri syöttökuvuilla kuin valujärjestelmän virtaussimulointejakin joista tarkemmat kuvaukset liitteessä 1.

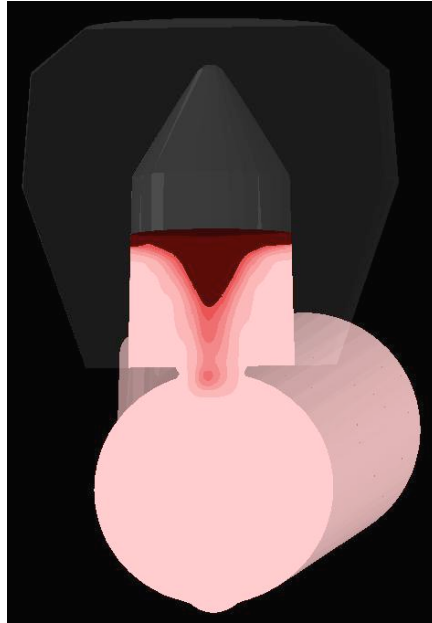


*Kuva 25. Sylinteriaihio syöttökupuiheen jähmettymissimuloinnin lopussa. Kuvakaappaus NovaFlow & Solid -ohjelmasta.*

Jähmettymissimulointien sekä virtaussimulointien perusteella todettiin, että aiemmin pienempää PX 2370 -syöttökupua käytettäessä kappaleen syöttöalue on jakautunut kahteen osaan syötön kaulan kohdalta tai sen alapuolelta. Tämä johtuu syöttökuvun pienestä koosta suhteessa tarvittavan syötön kokoon, ja syötön kaula on ”kuristanut” syöttöaluetta ja lopulta katkenut. Tällöin valukappaleen sisällä oleva rauta on pysynyt syöttökupua kauemmin sulana ja imuhuokoisuus on jäänyt kappaleen sisään alueelle, joka ei tule koneistuksessa näkyviin tai aiheuttaa imupainauksen laajalle alueelle kappaleen pinnalla. Tämä tarkoittaa myös sitä, että syöttökupu on ollut väärä, koska toimivassa syöttöjärjestelmässä viimeinen sula metalli jää syöttökuvun sisään, itse kappaleen ulkopuolelle. Tämä on ollut ongelmana helppompi käsitellä, koska imuhuokoisuus ei joka kerta tule näkyviin tai poistuu kappaleen koneistuksen yhteydessä.

Imuongelmasta haluttiin kuitenkin eroon, ja kappaleen syöttökupu vaihdettiin PX 2370 -tyyppisestä syöttökuvusta PX 3200 -tyyppiseen, metallimäärältään suurempaan kupuun. Tällöin syötön kaula pysyi entistä pidempään auki ja jähmettymisalue pysyi yhtenäisenä. Ongelmaksi isompien syöttökupujen kanssa muodostui edelleen metallimäärän riittämättömyys. Kappale jähmettyi oikeaoppisesti syöttökuvun suuntaan, mutta syöttömetallin riittämättömyys muodosti imuhuokoisuutta kappaleen puolelle.

Simulointitulokset näyttävät imuhuokoisuutta kappaleeseen syöttökuvun kaulan alle (kuva 26). Täysin vaaleanpunainen alue indikoi täysin tiivistä metallia. Vastaavasti mitä tummempi alue, sitä enemmän huokoisuutta.



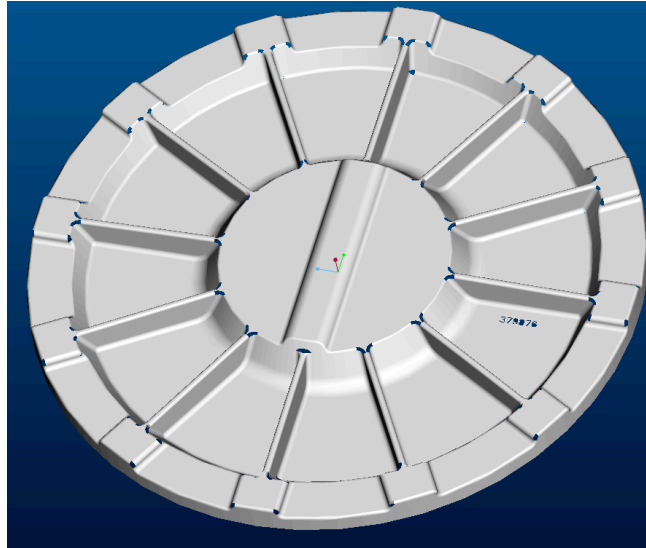
*Kuva 26. Sylinteriaihio jäähmettymissimuloinnin jälkeen, huokoisuustarkastelu. Kappaletta on leikattu eksotermisen PX 3200 -syöttökuvun kohdalta. Kuvakaappaus NovaFlow & Solid -ohjelmasta.*

Simulointitulosten analysoinnin perusteella ainoa varmasti toimiva ratkaisu olisi muuttaa syöttökupu kokonaan erityyppiseksi, jolloin syöttökuvun rautamäärää saataisiin lisättyä ja koko kappale imuttomaksi (liite 1). Koska simuloinnin kautta valikoitunut syöttökupu olisi tullut suhteettoman kalliiksi sekä vaatinut kappaleeseen konstruktio muutoksen, on ratkaisua etsitty sulan ympärysainetta vaihtamalla imuhuokoisuuden vähentämiseksi. Tehtyjen simulointien ja niiden jälkeisten koevalujen perusteella sulan ympärysaineen muutos käytettäessä PX 3200 -eksotermistä syöttöä on osoittautunut toimivaksi järjestelmäksi.

Vuoden 2010 huhtikuuhun mennessä sylinteriaihion virheprosentti imuhuokoisuuden osalta on saatu kaikista kaavatuista kappaleista alle 1,5 %:n tasolle.

## 9.2 Laakerikotelon kansi

Laakerikotelon kannen (kuva 27) ongelmaksi vuoden 2010 alkuvuoden aikana oli muodostunut ulkokehän imuhuokoisuus, joka tulee näkyviin ulkokehällä olevan tiivisteuran koneistuksen yhteydessä. Kappaletta valetaan yksi kappale per muotti ja kappaleen materiaalina on EN-GJS-500 -pallografiittivalurauta.



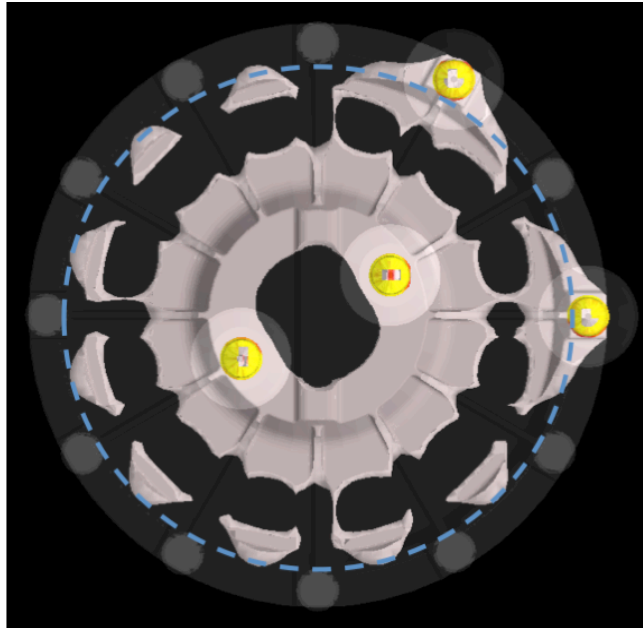
*Kuva 27. Laakerikotelon kansi, kuvakaappaus Pro/ENGINEER 3D-mallinnusohjelmasta*

Kappaleesta tehtiin aluksi jähmettymissimulointeja nykyisellä valujärjestelmällä, jossa havaittiin selkeä syy ulkokehän imuhuokoisuuden muodostumiseen. Simulointinäyttämästä (kuva 28) voidaan analysoida ulkokehän imuhuokoisuuden muodostumiseen johtavia syitä:

- Ulkokehälle asetetut kymmenen pientä kokillia jäähdyttävät ulkokehän ainekeskittymää katkaisten sen useaan jähmettymisalueeseen.
- Ulkokehällä on ainoastaan yksi syöttökupu, jonka syöttöteho riittää ainoastaan paikallisesti, vieressä olevien kokillien jäähdyttävä vaikutus heikentää syötön toimimista kehän suuntaan.

Kriittinen virhe valujärjestelmän suunnittelussa on ollut asettaa kehälle tasaisin välimatkoin pieniä kokilleja, jotka pirstaloivat ulkokehän syöttöalueet. Jakautumista edesauttaa keskiön ja ulkokehän välinen pieni ainevahvuus, joka jähmettyy nopeasti eivätkä keskellä olevat syöttökuvut syötä ulkokehää juurikaan.



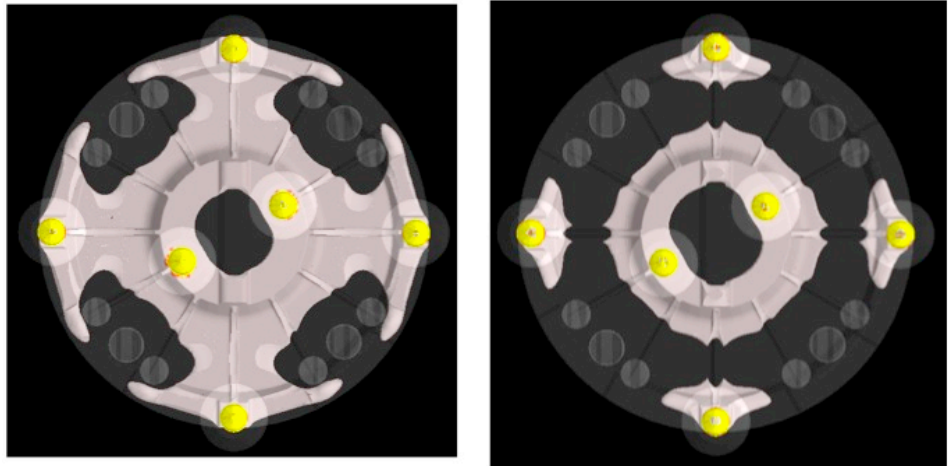


*Kuva 28. Kuvakaappaus alkuperäisellä valujärjestelmällä tehdystä jähmettymissimu-  
loinnista tietyllä ajanhetkellä. Sinisellä katkoviivalla on merkitty linja, johon imu-  
huokoisuus muodostuu. Ulkokehän harmaat pallot ovat kokilleja, kuvan keltaiset pal-  
lot eksotermisiä syöttökupuja. Kuvakaappaus NovaFlow & Solid -ohjelmasta.*

Ongelman korjaamiseksi ja toimituskyvyn turvaamiseksi ehdotettiin valujär-  
jestelmään seuraavanlaisia toimenpiteitä:

- eksotermisten syöttökupujen määrää lisätään neljällä, 90 asteen jaolla kappaleen ulkokehällä
- ulkokehän syöttökupujen väliin asetetaan kokillit 90 asteen jaolla katkai-  
semaan syöttöalueet mahdollisimman tehokkaasti ja suuntaamaan jäh-  
mettymistä syöttökupujen suuntaan
- simuloimalla tutkitaan varma ratkaisu kappaleen laatuongelman korjaami-  
seksi, jotta tavarantoimitus asiakkaalle voidaan turvata
- kun valukappaleiden laatu on saatu halutulle tasolle ja löydetty varmasti  
toimiva ratkaisu valujärjestelmään, optimoidaan valujärjestelmää tämän  
jälkeen kustannustehokkaammaksi

Uutta valujärjestelmää suunniteltiin ja simuloitiin edellä mainituista lähtökoh-  
dista. Tässä vaiheessa tärkein asia oli saada tuotettua kunnollisia  
kappaleita, jotka voitiin toimittaa asiakkaalle.



*Kuva 29. Kuvakaappaus uuden valujärjestelmän simulointituloksista. Kuvakaappaus NovaFlow & Solid -ohjelmasta.*

Alkuperäiseen valujärjestelmään nähden sulan jähmettymistä saatiin suunnattua paremmin syöttöjen suuntaan simulointinäyttämän mukaisesti (kuva 29). Uusi järjestelmä ei jätä jähmettyessään sulan metallin saarekkeita, jotka ovat riskipaikkoja imuhuokoisuuden muodostumiselle. Uudelleen suunniteltu valujärjestelmä tällaisenaan ei ole kovin kustannustehokas useiden eksotermisten syöttökupujen sekä kokillien käyttämisen takia. Simulointitulosten tarkempi analyysi liitteessä 2.

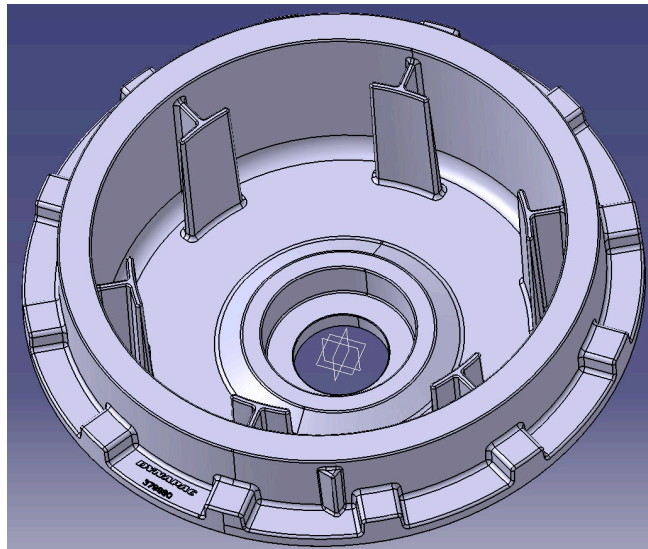
Koska tuotteen valujärjestelmän korjaaminen oli hyvin kriittinen toimenpide toimitusten jatkumisen turvaamiseksi, oli toimenpiteet saatava suunnittelu-pöydältä tuotantoon mahdollisimman nopeassa aikataulussa. Juuri tässä valusimulointi näytti oman vahvuutensa osana suunnitteluprosessia, simulointituloksia voitiin hyödyntää tuotannossa nopeimmillaan jo saman tai seuraavan päivän aikana ongelman havaitsemisesta ja muutospyyntöjen tekemisestä. Tuotannon kehityspyynnöstä simulointianalyysin sekä muutosehdotusten tekemiseen kesti nopeimmillaan muutamia tunteja, joskus useilla eri vaihtoehtoilla. Nopea käsittelyketju vaatii suunnitteluosaston, tuotannon sekä laaduntarkkailun saumatonta yhteistyötä.

Tulevaisuuden tavoitteena on saada kappaleesta kustannustehokkaampi ja kokeilla simuloinnin avulla parempia ratkaisuja kappaleen ulkokehän syöttämiseksi. Tilannetta voidaan läpikäydä myös yhdessä asiakkaan kanssa ja ehdottaa kriittisiin paikkoihin materiaalin lisäämistä, millä mikrohuokoisuutta saataisiin siirrettyä paikkaan, jossa se ei tulisi esiin koneistuksessa.

Vuoden 2010 tammi-huhtikuun aikana kappaleiden hylkäysprosenttia imuhuokoisuuden osalta on saatu pudotettua aikaisemmasta huomattavasti.

### 9.3 Sisempi laakerikotelo

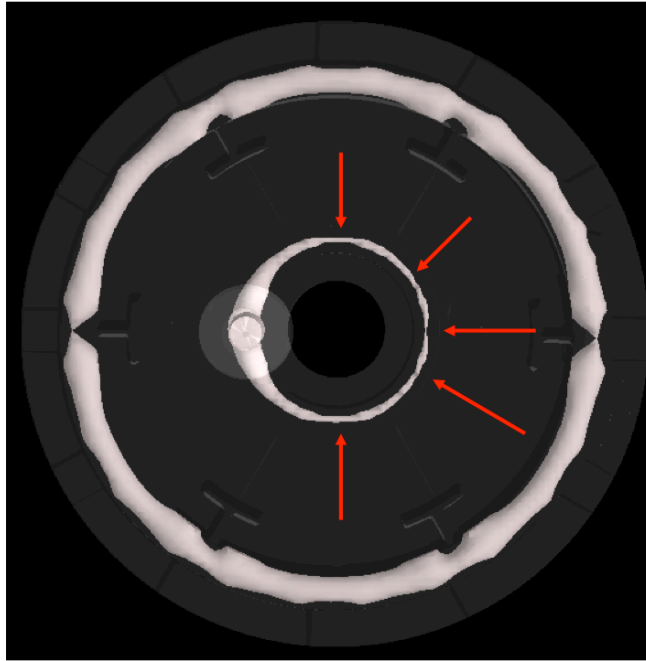
Sisemmän laakerikotelon (kuva 30) toimituskykyä uhkaavaksi ongelmaksi muodostui vuoden 2010 alkupuolella sisäkehälle muodostunut imuhuokoisuus. Valukappaleen materiaali on EN-GJS-500 -pallografiittivalurauta. Valuahiosta valmistetaan kahta eri nimikettä, joissa muuttuvana tekijänä on kotelon keskiöreiän valmiiksi koneistettava mitta. Imuhuokoisuutta on tullut näkyviin reiän koneistetussa pinnassa, erityisesti tilanteessa jossa reiän sisäpuolinen pinta koneistetaan halkaisijaan  $\varnothing 215$  mm normaalin  $\varnothing 180$  mm sijaan.



Kuva 30. Sisempi laakerikotelo. Kuvakaappaus Catia 3D-mallinnusohjelmasta.

Havaittujen laatuongelmien takia vuoden 2010 alussa kappaleelle tehtiin tarkempaa laatutarkastelua, jossa havaittiin säännönmukainen imuhuokoisuusvika keskellä olevassa materiaalikeskittymässä.

Kappaleen laatuongelmat aiheuttivat suuria ongelmia tuotannolle, minkä takia valujärjestelmä oli elintärkeää saada toimivaksi ja kriittinen kohta tiiviiksi. Kappaleen valujärjestelmän kehittäminen kustannustehokkaammaksi tehtiin myöhemmin varman ratkaisun löytyttyä. Tutkimus aloitettiin simuloimalla käytössä olevaa valujärjestelmää paikallisesti ongelmakohtasta (kuva 31).



*Kuva 31. Simulointitulokset alkuperäisellä valujärjestelmällä. Keskellä yksi eksoterminen syöttökuppi, syöttöalue katkeaa punaisin nuolin osoitetuista kohdista. Kuva-kaappaus NovaFlow & Solid -ohjelmasta.*

Valujärjestelmän simuloinnissa havaittiin kappaleen sisäkehälle muodostuvan jähmettymisalueen katkeavan useasta eri kohtaa jähmettymisen loppuvaiheessa ja muodostavan useita pieniä saarekkeita. Keskiössä oleva eksoterminen syöttökuppi ei pysty syöttämään tehokkaasti koko kehää, ja imuhuokoisuutta pääsee muodostumaan saarekkeisiin. Simuloinnin perusteella havaittiin selkeästi, että keskiön syöttöjärjestelmää on muutettava toimivammaksi, jähmettyminen tulisi saada suunnattua tehokkaammin syötön suuntaan.

Vaihtoehtoina ongelman ratkaisemiseksi kokeiltiin kahta eri valujärjestelmää, toisessa yksi syöttö sekä kokilli ja toisessa kaksi syöttöä ja kaksi kokillia. Näistä jälkimmäinen osoittautui simuloinneissa selkeästi varmemmaksi ja toimivammaksi ratkaisuksi (kuva 32).



*Kuva 32. Kuvakaappaus simuloinnista kahdella eksotermisellä syöttökuvulla ja kahdella kokillilla. Kuvan keskellä olevat keltaiset ympyrät ovat eksotermisiä syöttöjä ja vaaleat ympyrät kokilleja.*

Simulointitulosten perusteella voitiin tehdä päätelmä, joka tukee kahden syötön sekä kahden kokillin käyttöä. Syötöt asetetaan 180 asteen välein sisäkehälle ylämuottiin, ja kokillit samoin 180 asteen välein alamuottiin kuvan 32 mukaisesti. Valujärjestelmän kokillit katkaisevat tehokkaasti keskirenkaan muodostaman syöttöalueen kahteen eri alueeseen, joita molempia syötetään eksotermisellä kuvulla. Tarkempi kappaleen simulointianalyysi liitteessä 4.

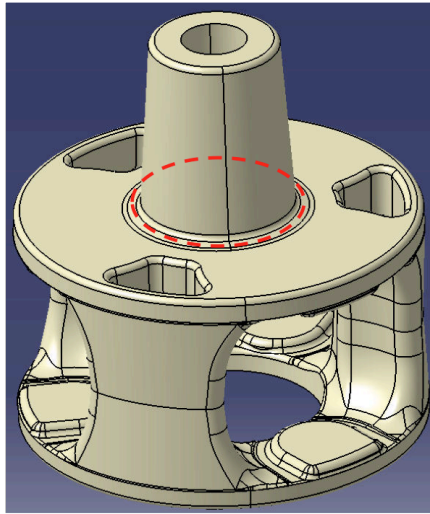
Simulointianalyysin perusteella tuotantomenetelmää muutettiin ehdotetun mukaisesti ja tuotannon toimituskyky saatiin varmistettua. Seuraava askel tulevaisuudessa on kappaleen kustannustehokkuuden parantaminen. Asiakkaalle voidaan ehdottaa kappaleeseen pieniä konstruktio muutoksia, joilla voidaan parantaa kappaleen valettavuutta sekä koneistettavuutta.

Vuoden 2010 huhtikuuhun mennessä imuhuokoisuuden takia ei ole hylätty valettuja kappaleita lainkaan.

#### **9.4 Planeetankannatin**

Planeetankannatin on insinööriyössä tutkittavista valukappaleista ainoa, jota valmistetaan Componentan valimossa B. Planeetankannatinta valetaan kuusi kappaletta muotissa ja materiaalina on EN-GJS-500 pallografiittivalurauta.

Planeetankannattimen ongelmana on tornin juureen muodostuva rengasmainen imuvirhe, joka tulee toisinaan juureen tehtävän uran koneistuksessa esiin (kuva 33).



Kuva 33. Planeetankannatin. Punaisella katkoviivalla merkitty linja, jolle imuhuokiosuus muodostuu. Kuvakaappaus Catia 3D-mallinnusohjelmasta.

Kappaleen imuvirhe on aiheuttanut asiakkaalla ongelmia, joiden takia valujärjestelmää ajateltiin kehittää siten, että imuvirheestä päästäisiin eroon. Reunaehtona valujärjestelmän (kuva 34) muuttamisessa olisi muotin saannon pitäminen vanhan järjestelmän tasolla mahdollisuuksien mukaan.

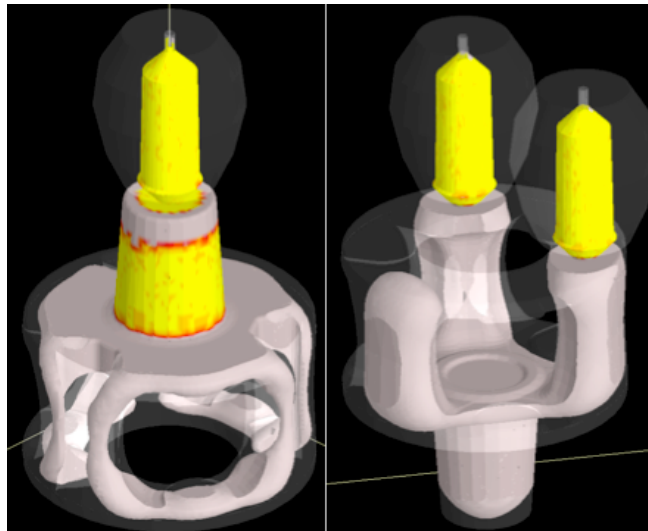


Kuva 34. Vasemmalla on kuva planeetankannattimen nykyisen muotin ylämallista, oikealla muotin alamallista. Malleista ilmenee myös kappaleen valujärjestelmän konstruktio. Kappaleiden välissä kolme luonnollista syöttökupua. Componenta valimo B.

Käytössä olevassa valujärjestelmässä kappaleita syötetään luonnollisella syöttökuvulla, joka on mitoitettu riittämään kahdelle kappaleelle. Syöttökupu on ”nelikaulainen”, ja siinä yhtä kappaletta syötetään kahden eri kaulan kautta. Kappaletta syötetään kahdella eri kaulalla 16 - 17,5 mm paksujen tasojen

lieriöpinnalta. Nykyisen valujärjestelmän syöttöongelman muodostaa se, että nykyisellä syöttöjärjestelmällä syötetään ohuemman seinämän kautta suurempaa massakeskittymää. Tasopinnat johtavat lämpöä sekä ylä- että alapinnalta enemmän kuin torni. Tämä voi johtaa imuhuokoisuusriskiin syöttöalueen katketessa ohuen seinämän kohdalta ja mikroimurengas voi muodostua teorian mukaisesti tason ja tornin kulmaan (kuva 34) [11, s. 15 - 16.].

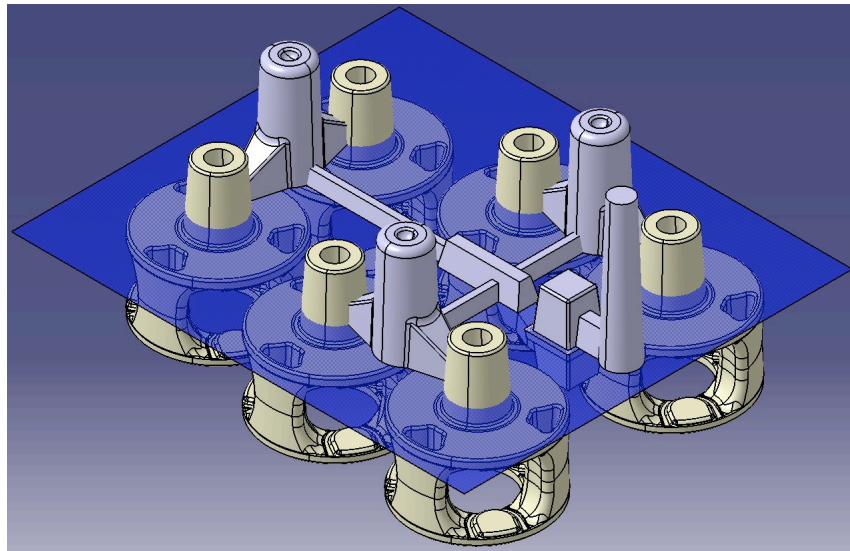
Kappaleen valujärjestelmää lähdettiin kehittämään lähtökohdasta, jossa muotissa saataisiin valmistettua edelleen kuusi valukappaletta kerrallaan, syöttöjärjestelmä toimisi optimaalisemmin eikä kappaleen valmistuksessa tarvittaisi uusia monimutkaisia keernoja. Ensimmäinen konkreettinen muutos oli vaihtaa kappaleen valuasentoa ylösalaisin verrattuna käytössä olevaan järjestelmään, jossa kappaleen torni olisi ylämuotissa. Tästä johtuen myös jakotaso olisi nostettava nykyisestä noin 20 mm ylöspäin. Ensin kappaleeseen ehdotettiin tornin sisäreiän poistamista ja eksotermisen syöttökuvun käyttämistä syöttönä tornin päällä, toisena vaihtoehtona oli pitää valuasento entisellään ja täyttää tasojen väliset tornit ja käyttää yhtä tai kahta eksotermistä syöttökupua (kuva 35). Ensimmäiset ehdotukset olivat simulointitulosten perusteella mahdollisia, mutta menettely johtaisi konstruktio muutoksiin kappaleessa sekä kustannustehokkuuden huonontumiseen.



*Kuva 35. Kaksi eri vaihtoehtoa kappaleen syöttöjärjestelmäksi. Keltaiset tornit eksotermisiä syöttöjä. Kuvakaappaus NovaFlow & Solid -ohjelmasta.*

Kolmantena vaihtoehtona kappale käännettäisiin muotissa siten, että torni on ylöspäin ja jakotaso nostettaisiin 85 mm ylöspäin. Kappaleita mahtuisi muottiin kuusi kappaletta entiseen tapaan, kappaleiden syöttäminen tapah-

tuisi suoraan tornin lieriöpinnalle luonnollisella syötöllä. Samalla syöttökuvulla voitaisiin syöttää kahta kappaletta yhtä aikaa kuten nykyisessäkin järjestelmässä, lisäksi valukanaviston sisäänmenot hoidettaisiin syöttökupujen kautta. (Kuva 36.) Kappaleen sisäpuoliset muodot tehtäisiin keernoilla entiseen tapaan, ainoa lisäys olisi alamuottiin asetettava apukeerna jakotason ja kappaleen ylätason väliin.



*Kuva 36. Ehdotetulla syöttöjärjestelmällä mallinnettu valujärjestelmä kanavistoineen. Sininen pinta on muotin jakopinta. Kuvakaappaus Catia 3D-mallinnusohjelmasta.*

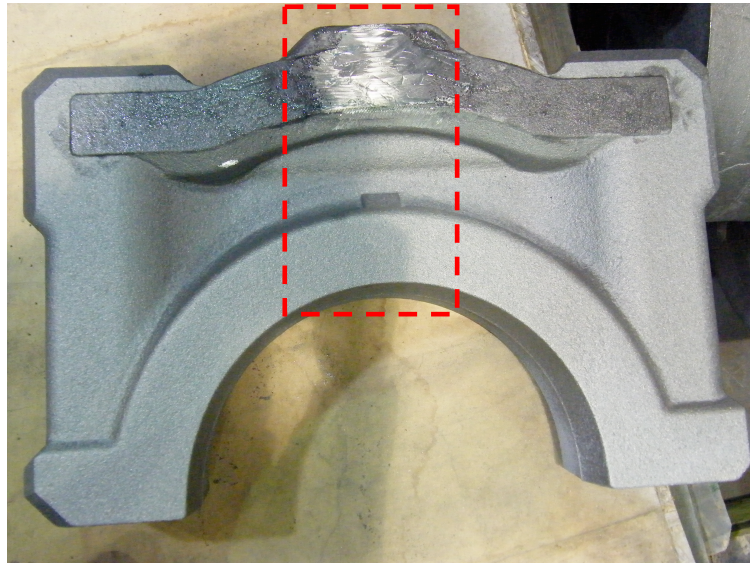
Kappaleiden simuloinnissa syöttöjärjestelmä toimi hyvin, ja imuhuokoisuutta ei simulointinäyttämän mukaan muodostu kriittisille alueille. Mallipöydästä tehtiin myös alustava virtauksen simulointi vertaussimulointina CastCAEn ja NovaFlow & Solidin kesken (liite 1), joka vahvisti syöttöjen toimivuuden. Tarkempi simulointiraportti jähmettymisen simuloinnista kolmannesta vaihtoehdosta liitteessä 5.

Vuoden 2010 tammi-huhtikuun virheellisten kappaleiden sekä reklamaatiomäärien seurannan perusteella valujärjestelmää ei päätetty kuitenkaan toistaiseksi muuttaa. Kappaleen imuvirheen katsottiin olevan sen kaltainen, ettei se haittaa toimintakykyä. Kappaleen valujärjestelmään tehdään suurempia muutoksia vasta, jos imuvirhe aiheuttaa ongelmia suuremmassa mitakaavassa.



## 9.5 Runkolaakerin satula

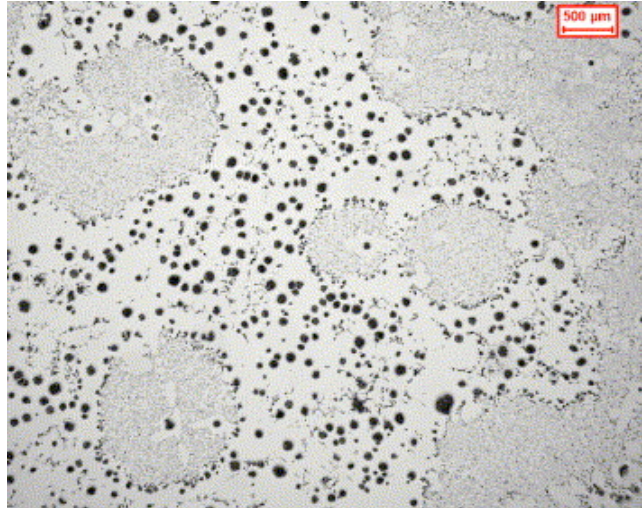
Runkolaakerin satulan (kuva 37) ongelmana oli chunky-grafiitin (*eng. chunky graphite*) muodostuminen kappaleen uuman kohdalle (kuva 39). Ongelman takia kappaleen hylkäysprosentti materiaalivirheiden takia kaikista kaavatuista on noussut huomattavasti vuoden 2009 ja 2010 aikana aiheuttaen suuria taloudellisia menetyksiä.



*Kuva 37. Runkolaakerin satula. Punaisella katkoviivalla merkitty alue, jolle chunky-grafiittia muodostuu. Componenta valimo A.*

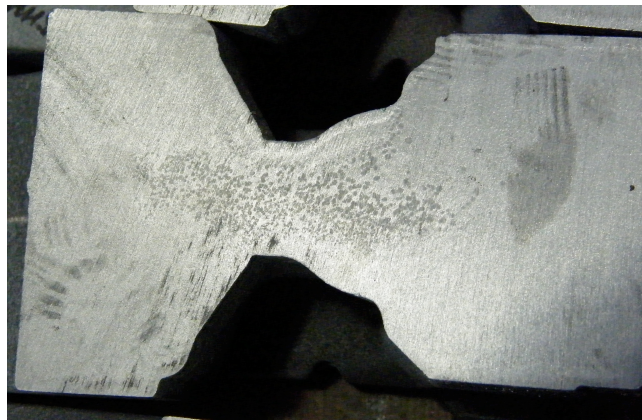
Chunky-grafiitin muodostumista edistää yleisesti sulan kemiallinen koostumus ja hivenaineet, esimerkiksi ympärysaineet ja tuotannon osatekijät kuten sulan lämpötila muottiin kaataessa. Avaintekijä grafiitin heikentymisessä on kuitenkin pitkä jähmettymisaika, jolloin grafiitin palloutuminen valuraudassa häiriintyy ja pallografiitti hajoaa yhtenäisiksi hiilimuodostelmiksi (kuva 38). Chunky-grafiitin paikka osoittaa yleensä valukappaleen lämpötilakeskittymän. [16, s. 1.]

Chunky-grafiittia pystytään valuprosessissa estämään alentamalla hiilikvivalenttia sekä käyttämällä kokilleja ja nostamalla muotin jäähdytystehoa. Näitä ohjeita voi pitää hyvänä nyrkkisääntönä chunky-grafiitin estämisessä. Yleensä chunky-grafiitin muodostuminen lisääntyy ainevahvuuden kasvaessa, mutta sitä on tavattu myös vahvuudeltaan noin 10 mm:n seinämissä. [16, s. 1.]



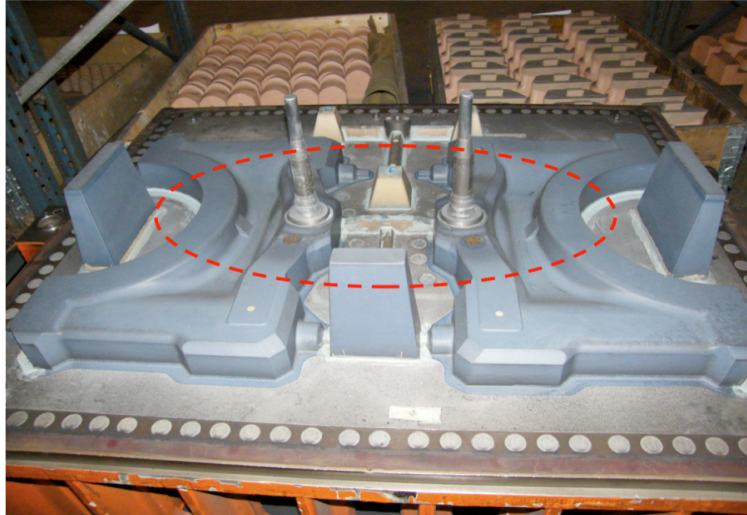
*Kuva 38. Chunky-grafiittia valuraudassa, näkyy kuvassa harmaina lauttoina [16].*

Chunky-grafiitti on sahatussa kappaleessa helposti erotettavissa, se näkyy yleensä ilman kemiallista käsittelyä tummempana alueena valuraudassa (kuva 39). Mekaaniset testit osoittavat chunky-grafiitin heikentävän valuraudan vetolujuusarvoa, venymää ja iskusitkeyttä, mutta sen ei ole havaittu juurikaan vaikuttavan aineen myötörajaan tai Brinell-kovuuteen. [16.]



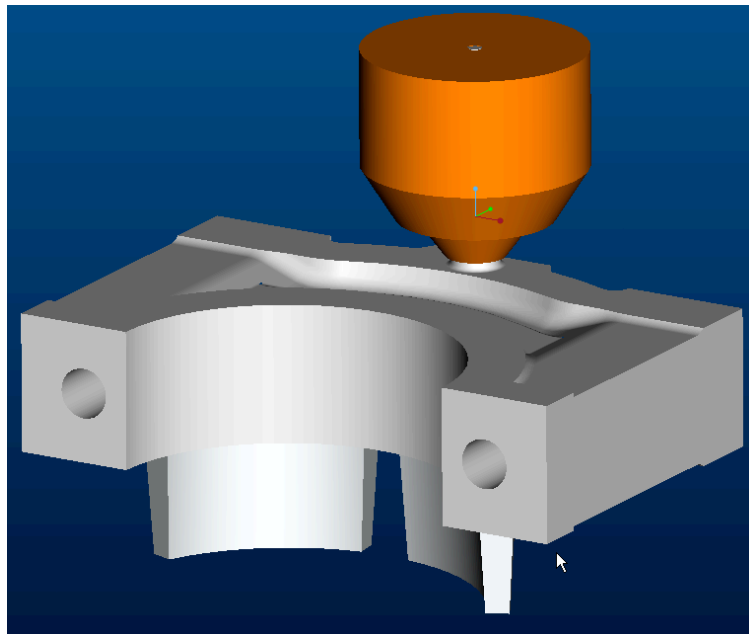
*Kuva 39. Chunky-grafiittia runkolaakerin satulassa kappaleen uuman kohdalla. Componenta valimo A.*

Kappaletta valetaan kaksi kappaletta muottia kohden, muotissa ei käytetty lainkaan jäähdytyskokilleja. Edellä esitetyn teorian perusteella muottia pitää pyrkiä jäähdyttämään chunky-grafiitin estämiseksi. Kappaleesta tehtiin jäähmettymissimulointeja sekä ilman kokilleja että erilaisilla kokilleilla, ja tuloksissa pystyttiin selvästi havaitsemaan kokillien vaikutus jäähmettymisaikaan. Muotissa muodostuu todella kuuma alue muotin keskiosaan, jossa kappaleen syöttökuvut sekä molempien kappaleiden materiaalikeskittymät ovat (kuva 40). Analyysi simulointituloksista on liitteessä 6.



*Kuva 40. Runkolaakerin satulan ylämuotin mallipuolisko, punaisella katkoviivalla merkitty muottiin muodostuva erittäin kuuma alue, joka on riskialtis alue chunky-grafiitin muodostumiselle. Componenta valimo A.*

Simulointitulosten perusteella vaihtoehtoina oli joko pyrkiä pudottamaan muottipainoa lämmön pienentämiseksi, käytännössä tämä olisi tarkoittanut yhden kappaleen valamista muotissa kerrallaan, tai pyrkiä jäähdyttämään kappaleen lämpökeskittymää tarpeeksi tehokkaasti kokillien avulla. Koska muotin saantoa ei haluttu pudottaa puoleen, päädyttiin kappaleen jäähdyttämiseen kahden kokillin avulla (kuva 41).



*Kuva 41. Runkolaakerin satulan alapuolelle asetettu kaksi jäähdytyskokillia, yläpinnalla eksoterminen syöttökupu. Kuvakaappaus Pro/ENGINEER -ohjelmistosta.*

Kokillien asettaminen muottiin sulan jähmettymisajan lyhentämiseksi osoitautui toimivaksi ratkaisuksi. Kappaleiden jähmettymisen tehostamisen jälkeen huhtikuussa 2010 valettuja kappaleita ei ole hylätty materiaalivirheen vuoksi lainkaan. Tarkasteluvälinä kuukausi on kuitenkin liian lyhyt luotettavan analyysin tekemiseen kappaleen virhealttiudesta. Pidempi aikaväli kappaleen tuotannossa tulee näyttämään kappaleen todellisen alttiuden muodostaa chunky-grafiittia.

## 10 YHTEENVETO

Insinööriyö tehtiin yhteistyössä Componenta Oyj Customer Product Center Helsingin sekä kahden Componentan valimon kanssa. Kaikki käsitellyistä tuotteista ovat tuotannossa olevia valukappaleita. Insinööriyöprojektin lähtökohtana oli etsiä etupäässä Componentan valimo A:n sekä valimo B:n tuotannossa olevista tuotteista niitä, joiden kustannustehokkuuteen, hylkäysprosenttiin sekä asiakasreklamaatioihin on mahdollista vaikuttaa simuloinnin ja valuteknisen suunnittelun kautta ja vähentää näistä aiheutuvia sekä välittömiä että välillisiä kustannuksia. Toisena lähtökohtana oli tehostaa olemassa olevien simulointiresurssien käyttöä osana yksiköiden valusuunnittelua ja laatuongelmiin johtavien syiden tutkimusprosessia.

Valuvirheiden osalta keskityttiin pääosin toimituskykyä uhkaavien kappaleiden imuhuokoisuusvirheiden eliminoimiseen. Yhdessä tapauksista simuloinnin avulla haettiin ratkaisua kappaleen toimituskyvyn kannalta kriittisen materiaalivirheen, chunky-grafiitin, eliminoimiseen. Insinööriyö on vaatinut laajaa taustaselvitystä niin valuteknisistä menetelmistä ja materiaaleista kuin valuvirheiden muodostumiseen johtavista syistäkin.

Tutkituista kappaleista tehtyjen simulointianalyyysien perusteella tuotantoon tai valujärjestelmään tehdyt muutokset ovat johtaneet laaduntarkkailussa tehtyjen selvitysten mukaan kriittisten valuvirheiden selvään vähenemiseen tai jopa niiden poistumiseen. Kustannussäästöinä tämä osoittaa simuloinnin tehokkuuden ja käyttökelpoisuuden osana valusuunnitteluprosessia. Simulointi itsessään ei kuitenkaan korvaa laajaa ja kokemusperäistä valimoalan osaamista, vaan toimii oikein ja oikeassa paikassa käytettynä sitä tukevana resurssina. Hyvät ja totuudenmukaiset simulointitulokset vaativat käytettävistä ohjelmista riippumatta taustakseen optimoidun materiaalidatan sekä kokemusta simulointiohjelmiston tarkoituksenmukaisesta käytöstä.

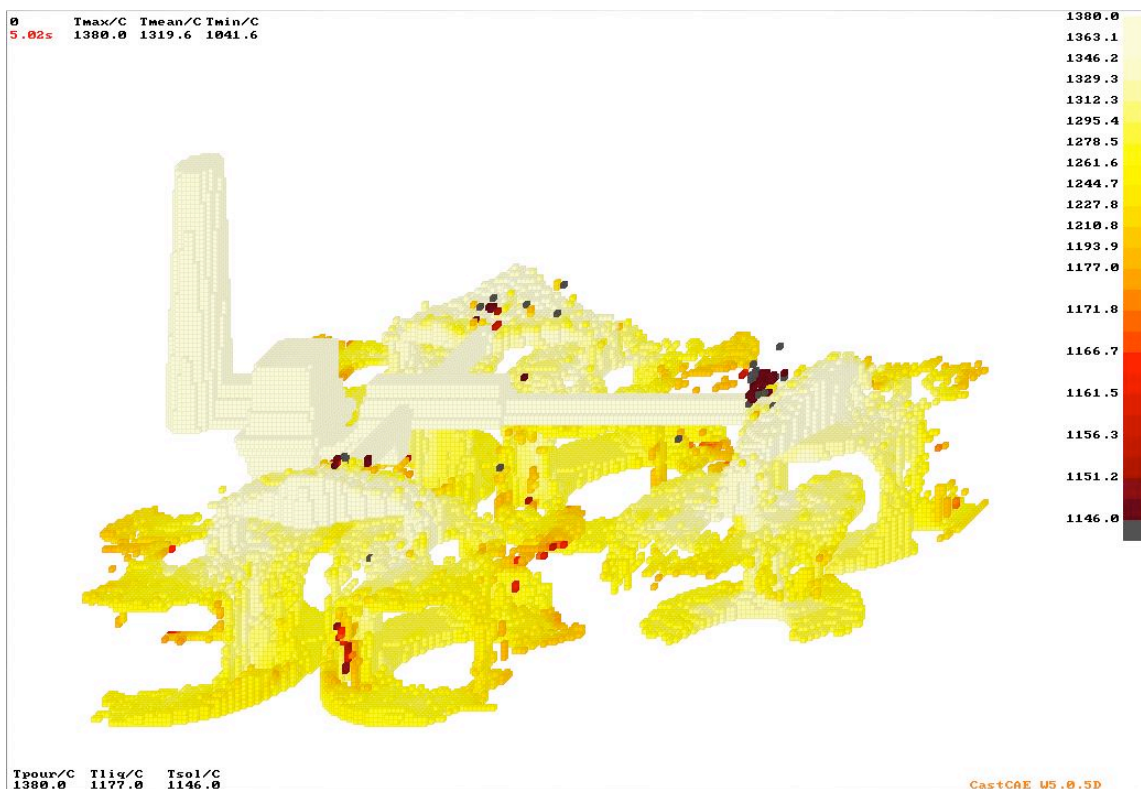
Tulevaisuudessa simuloinnin käyttöä valusuunnittelun osana tullaan lisäämään niin Componentan yksiköissä kuin valimoteollisuudessa yleisestikin, tätä pyrkimystä tukee tietotekniikan kehittyminen laskentatehon noustessa ja hintojen laskiessa.

## VIITELUETTELO

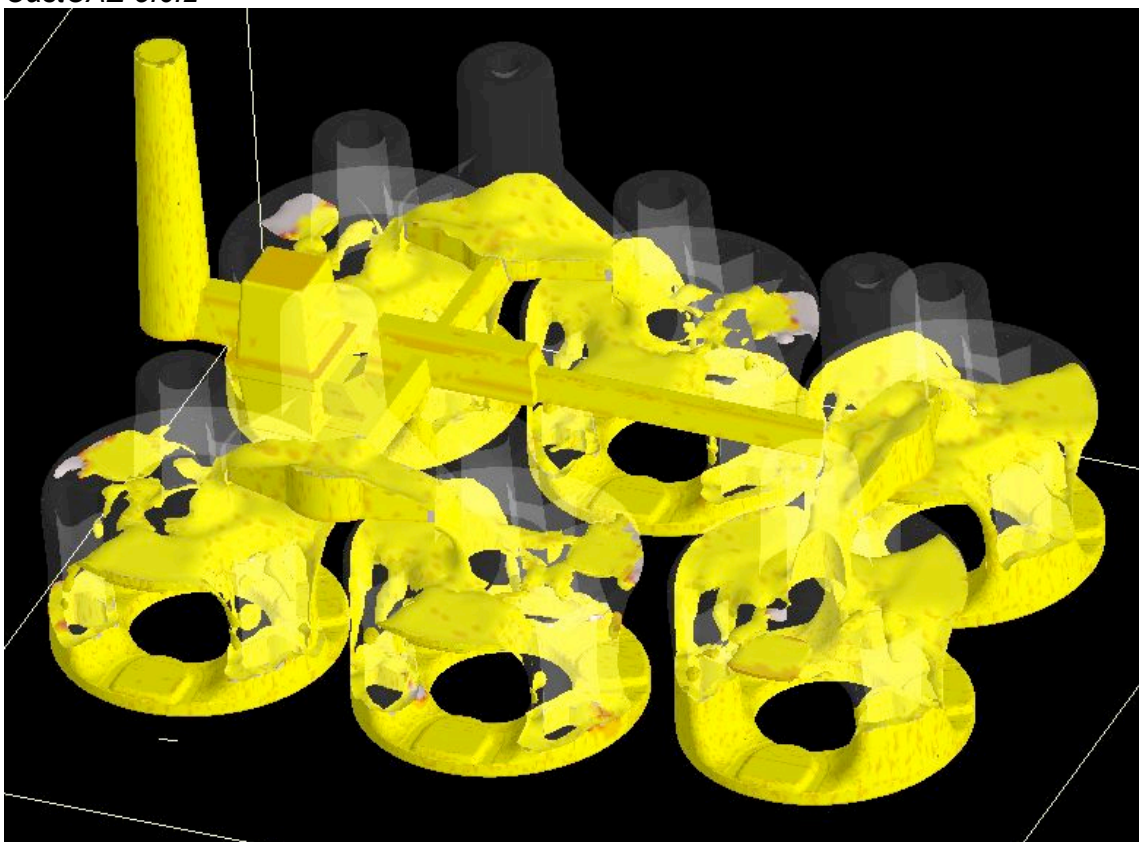
- [1] Autere, Eugen - Ingman, Yrjö - Tennilä, Paavo, *Valimotekniikka 2*. Helsinki: Insinööritieto Oy. 1986.
- [2] Meskanen, Seija - Höök, Tuula, *Hiekkavalimon valimoprosessi*. ValuAtlas, Web-oppimateriaali. [verkkodokumentti, viitattu 20.1.2010.] Saatavissa: [http://valuatlas.fi/tietomat/docs/hiekkavalimon\\_valimoprosessi.pdf](http://valuatlas.fi/tietomat/docs/hiekkavalimon_valimoprosessi.pdf)
- [3] Asanti, Paavo, *Valukappaleen suunnittelu*. Porvoo: WSOY. 1962.
- [4] Materiaalit ja niiden valinta -virtuaalikurssin luentomateriaali. Tampereen teknillinen yliopisto, materiaaliopin laitos, 2004. [verkkodokumentti, viitattu 21.1.2010.]. Saatavissa: [http://www.ims.tut.fi/vmv/2004/vmv\\_4\\_1\\_5.php](http://www.ims.tut.fi/vmv/2004/vmv_4_1_5.php)
- [5] Valukappaleet koneistuksen kannalta, valumateriaalit. Tampereen kaupunki, 2002. [verkkodokumentti, viitattu 21.1.2010.]. Saatavissa: <http://koulut.tampere.fi/materiaalit/valimo2/paasivu1.htm>
- [6] Componenta Oyj, Internet-sivusto. [verkkodokumentti, viitattu 22.1.2010.]. Saatavissa: <http://www.componenta.com>
- [7] Aromäki, Juhani, *Juuri oikeaan aikaan – pienestä perhevalimosta Santasalo-JOT-konserniksi*. Helsinki: Otava.1998.
- [8] Teräsrakenneyhdistys ry, luentomoniste. *Raudan ja teräksen käytön historia rakentamisessa*. [verkkodokumentti, viitattu 22.1.2010.] Saatavissa: <http://www.terasrakenneyhdistys.fi/Esdep/l1b/HTML/WG1BL41.htm>
- [9] Keskinen, Raimo, *Valumetallien sulatus*. 2. painos. Helsinki: Ammattikasvatustushallitus. 1990.
- [10] Metalliteollisuuden keskusliitto, MET, *Valuraudat ja valuteräkset, raaka-aine käsikirja II*. 2. painos. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus Oy. 2001.
- [11] Meskanen, Seija - Höök, Tuula, *Suunnittelijan perusopas, Rauta- teräs ja metallivalujen valuviat*. ValuAtlas, Web-oppimateriaali. [verkkodokumentti, viitattu 04.02.2010.] Saatavissa: [http://valuatlas.fi/tietomat/docs/perusopas\\_04.pdf](http://valuatlas.fi/tietomat/docs/perusopas_04.pdf)

- [12] Teknillinen korkeakoulu, Valimotekniikan laboratorio, *CADista komponentiksi – Valimoteollisuus 1995*. Helsinki: Painatuskeskus Oy. 1995.
- [13] Meskanen, Seija - Höök, Tuula, *Suunnittelijan perusopas, Valaminen koneenosien valmistusmenetelmänä*. ValuAtlas, Web-oppimateriaali. [verkkodokumentti, viitattu 25.03.2010.] Saatavissa: [http://valuatlas.fi/tietomat/docs/perusopas\\_01.pdf](http://valuatlas.fi/tietomat/docs/perusopas_01.pdf)
- [14] Höök, Tuula, *Suunnittelijan perusopas, Valetun koneenosien 3D-CAD – suunnittelun perusteet*. ValuAtlas, Web-oppimateriaali. [verkkodokumentti, viitattu 25.03.2010.] Saatavissa: [http://valuatlas.fi/tietomat/docs/castingdesign\\_3D\\_principles.pdf](http://valuatlas.fi/tietomat/docs/castingdesign_3D_principles.pdf)
- [15] Componenta Oyj, *Tietokoneklusteri on tuotekehityksen strateginen työväline*. Compis-heimölehti 2/2009.
- [16] Källbom, Rikard et al., *On the solidification sequence of ductile iron castings containing chunky graphite*. Svenska gjuteriföreningen - Ruotsin valimoalan yhdistys, 22.6.2005.

CastCAEn ja NovaFlow & Solid Control Volumen vertailusimulointi



CastCAE 5.6.2



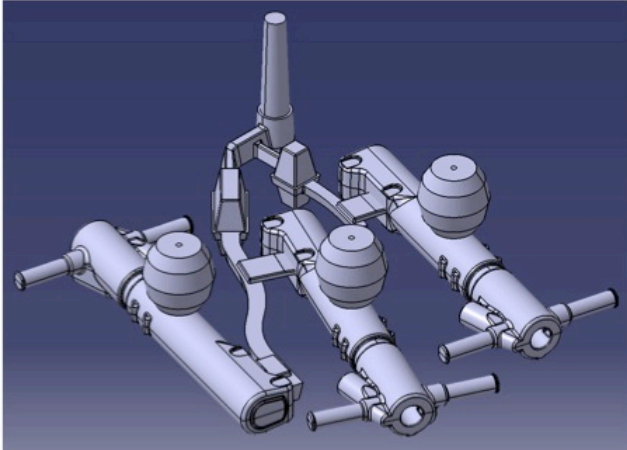
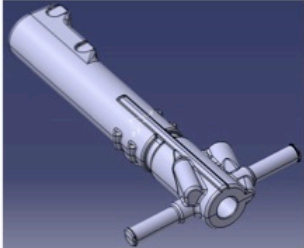
Novacast NovaFlow & Solid Control Volume 4.2r2



## Simulointianalyysi, sylinteriaihio

**COMPONENTA**

Sylinteriaihio

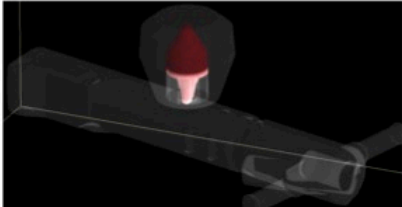
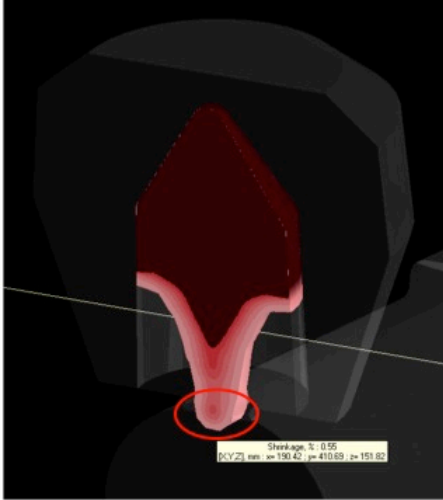



Mallipöytä nykyisellä valujärjestelmällä, käytössä Syöttökupu PX3200 ME30

4 Casting Future Solutions 4/14/10

**COMPONENTA**

Sylinteriaihio

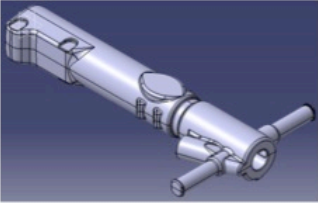
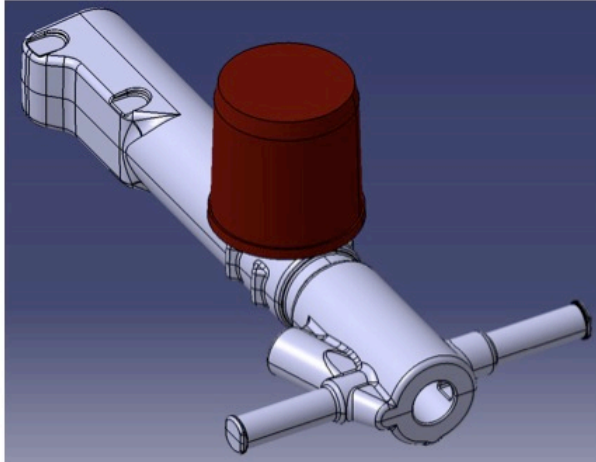



Jähmettymissimulointi tuotannossa käytettävällä syöttökuvulla PX3200 ME30 näyttää todellisen ongelman, syöttökuvun metalli ei riitä ja kaulan kohdalle jää imuhuokoisuutta

5 Casting Future Solutions 4/14/10

## COMPONENTA

### Sylinteriaiho

Koska käytettävissä olevat thermo speiser-syöttökuvut osoittautuivat liian pieniksi moduuliltaan sekä metallimäärältään, kehoitiin isompia kupuja KX311432 sekä KX311632.

Koska ko. syötoissä käytetään katkaisukeernaa, oli syötölle mallinnettava syöttötaso muottihiekan paremman sulloutumisen takia

Casting Future Solutions

4/14/10

6

## COMPONENTA

### Sylinteriaiho




Jähmettymissimulointi näyttää syötön riittävän ja kappaleen olevan imuton koko kappaleen osalta

Casting Future Solutions

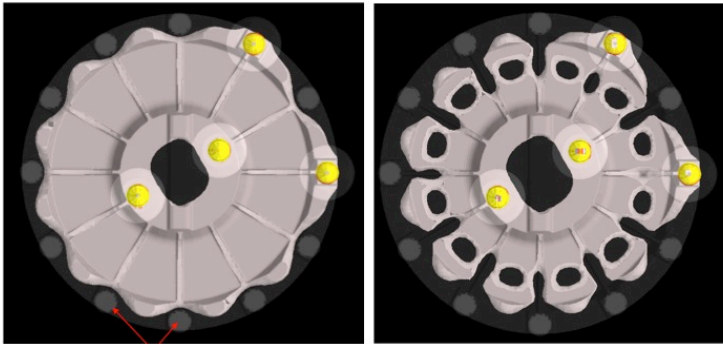
4/14/10

7

## Simulointianalyysi, laakerikotelon kansi

**COMPONENTA**

Laakerikotelon kansi

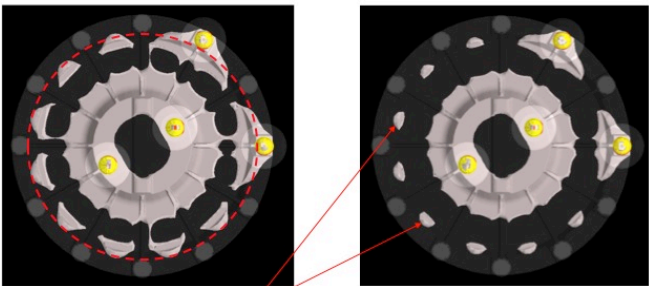


1. Simulointi, alkuperäinen layout: 10 pientä kokillia, eksot. 4 kpl PX 810.

9 Casting Future Solutions 4/14/10

**COMPONENTA**

Laakerikotelon kansi

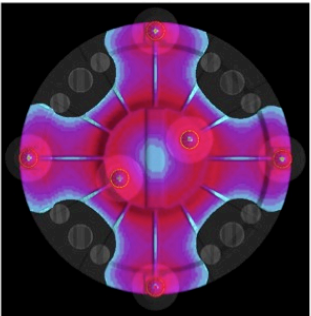


Sula rauta katkeaa pieniksi syöttöalueiksi jotka aiheuttavat imuhuokoisuutta ulkokehällä (katkoviiva).

10 Casting Future Solutions 4/14/10

**COMPONENTA**

Laakerikotelon kansi



2. Simulointi:  
4 isoa kokillia  
8 pientä kokillia,  
eksot. 6 kpl PX 810.

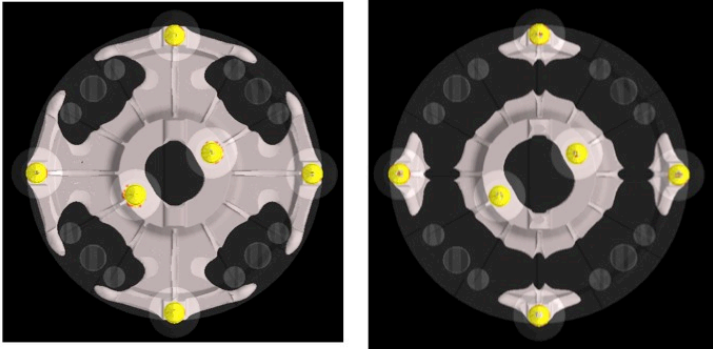
Toiseen simulointiin syöttökuvat asetettiin ulkokehälle 90 asteen välein, välissä kartiokokillit, D56, d50, h70 joiden molemmin puolin pienet kartiokokillit. Kokillit asetettu alamuottiin.

Syöttöjen ja kokillien lisäämisellä tarkoituksena oli aikaansaada väliaikaisratkaisu, jolla tuote saadaan imuttomaksi ja toimitusvarmaksi. Tämän jälkeen tuotteen valujärjestelmä suunnitellaan tarkemmin uudelleen.

11 Casting Future Solutions 4/14/10

## COMPONENTA

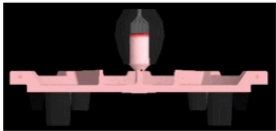
Laakerikotelon kansi



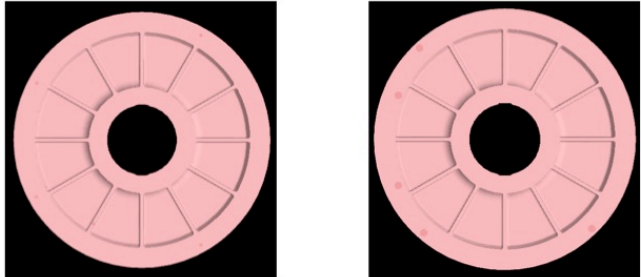
Syöttöalueet pysyvät paremmin kasassa ja jähmettyminen tapahtuu syöttöjen suuntaan.

12 Casting Future Solutions 4/14/10

## COMPONENTA



Imuhuokoisuus on pienempää verrattuna alkuperäiseen (oikea kuva) ja on koneistuksen kannalta edullisemmässä paikassa (vasen yläkuva).



Kahdeksan kokillia Neljä isoa kokillia

13 Casting Future Solutions 4/14/10

## Simulointianalyysi, sisempi laakerikotelo

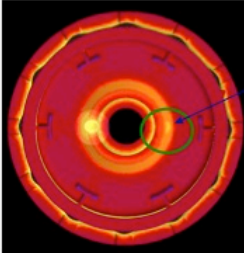
## COMPONENTA

### Sisempi laakerikotelo

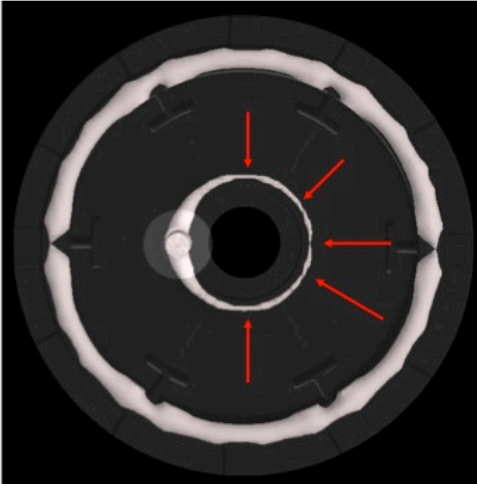
**1. Simulointi, alkutilanne:** eksot. PX810

→ osoittaa, että jähmettyminen ei etene normaalisti vaan jähmettymisrintama on pitkä ja ohut.

Huokoisuusnäyttämässä kehällä oli lukuisia pieniä huokoisuusalueita.



Kuuma piste



Casting Future Solutions

4/14/10

## COMPONENTA

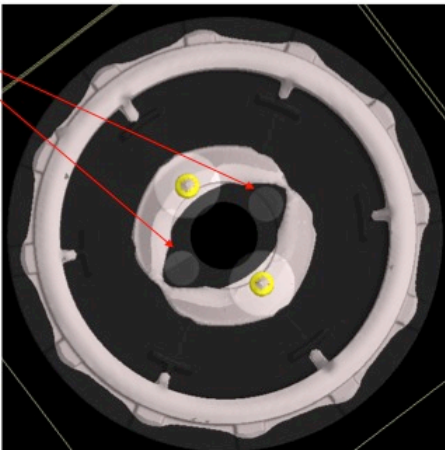
### Sisempi laakerikotelo

**2. Simulointi:** eksot PX810 2kpl, kokillit 2kpl

→ osoittaa, että jähmettyminen jakautuu kahteen selvään syöttöalueeseen

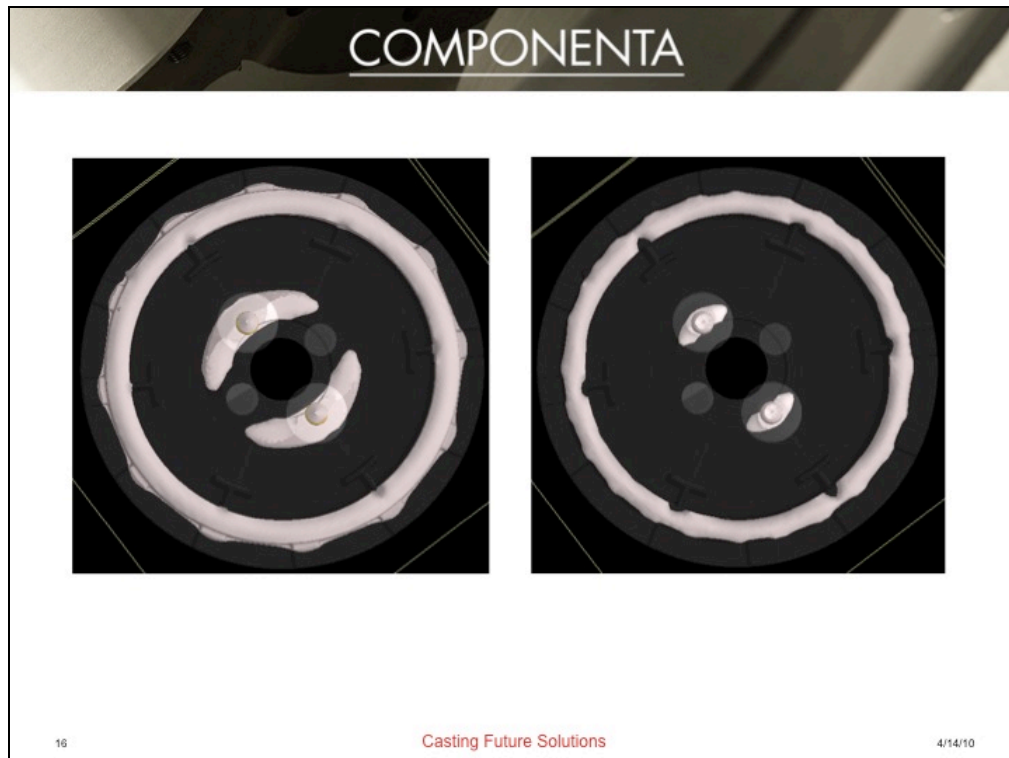
Huokoisuusnäyttämässä kehällä ei ollut huokoisuutta lainkaan

KOKILLI: kartiokokilli D56, d50, h70



Casting Future Solutions

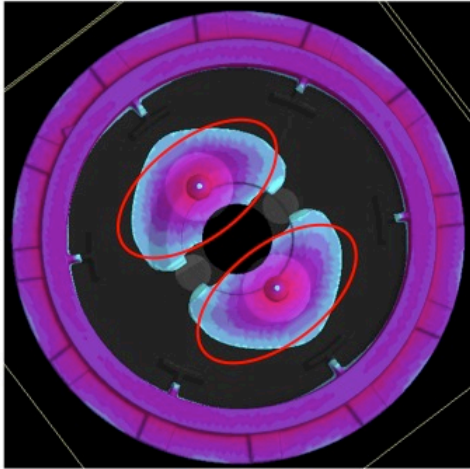
4/14/10



## COMPONENTA

Lämpökuva osoittaa, että keskirengas jakautuu selkeästi kahteen syöttöalueeseen

Seuraava askel kappaleen tuotannon optimoinnissa on ehdottaa asiakkaalle pieniä konstruktio muutoksia, joilla valettavuus saadaan kustannustehokkaammaksi sekä koneistettavuutta parannettua.

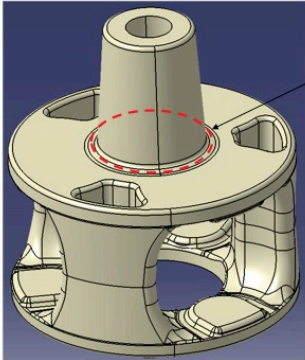


17 Casting Future Solutions 4/14/10

## Simulointianalyysi, planeetankannatin

**COMPONENTA**

Planeetankannatin



Ongelmana imuhuokoisuus "tornin" juuressa

Nykyinen järjestelmä  
6 kpl/muotti, torni alamuotissa

28 Casting Future Solutions 4/14/10

**COMPONENTA**

Planeetankannatin



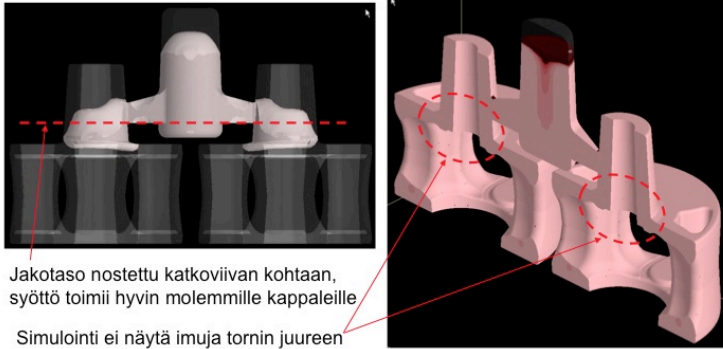
Ehdotettu järjestelmä:

6 kpl/muotti,  
kappale käännetään  
entiseen nähden ylösalaisin pöydässä ja  
syötetään suoraan akseliin

29 Casting Future Solutions 4/14/10

**COMPONENTA**

Planeetankannatin



Jakotaso nostettu katkoviivan kohtaan,  
syöttö toimii hyvin molemmille kappaleille

Simulointi ei näytä imuja tornin juureen

30 Casting Future Solutions 4/14/10

## Simulointianalyysi, runkolaakerin satula

COMPONENTA

Runkolaakerin satula

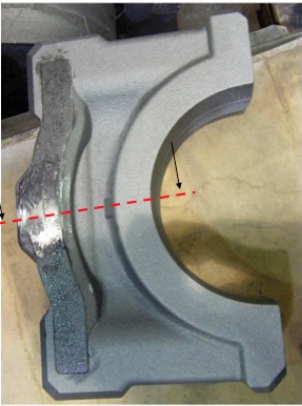
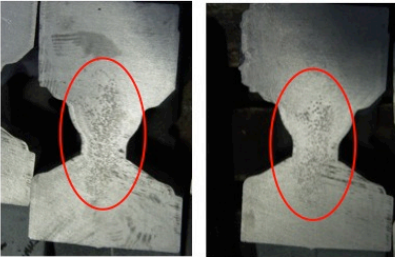


2 kpl / muotti  
 Nettopaino ~135 kg/kpl  
 Eksot. syöttö Tele 1100-40 (62)  
 Rei'issä kromiittihiikkakeernat

18 Casting Future Solutions 4/14/10

COMPONENTA

Runkolaakerin satula

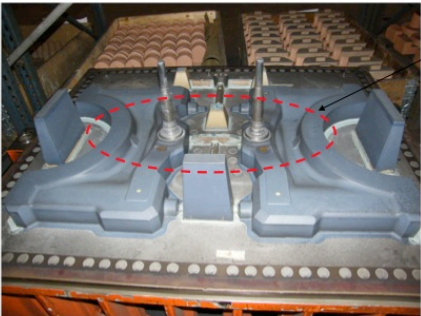



Ongelmana sankkigrafiitin muodostuminen kappaleen uuman kohdalle

19 Casting Future Solutions 4/14/10

COMPONENTA

Runkolaakerin satula

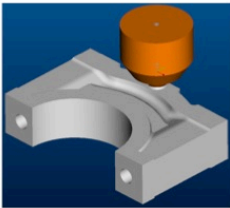


Kuuma alue, jossa Metalli pysyy pitkään sulana.

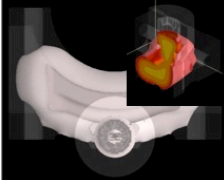
20 Casting Future Solutions 4/14/10



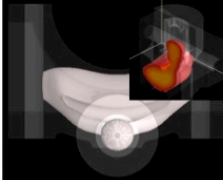
## COMPONENTA



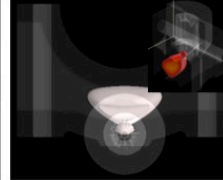
**Vaihtoehto 1.**  
Nykyinen järjestelmä, ei kokillia



Alkup.: puuroalue jälkeen 1h



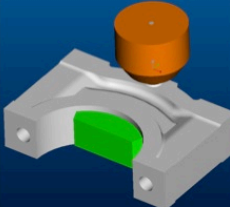
Alkup.: puuroalue jälkeen 1,5h



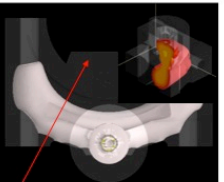
Alkup.: puuroalue jälkeen 2,0h

21
Casting Future Solutions
4/14/10

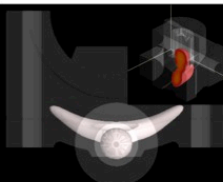
## COMPONENTA



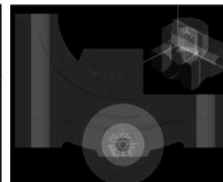
**Vaihtoehto 2.**  
Kokilli kaaren sisäpinnalla



Kokilli: puuroalue jälkeen 1h



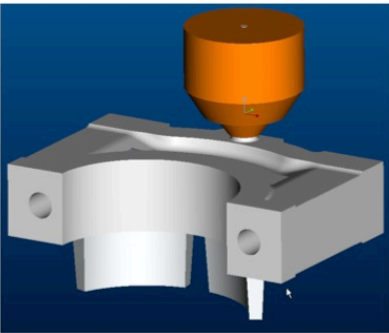
Kokilli: puuroalue jälkeen 1,5h



Kokilli: puuroalue jälkeen 2,0h

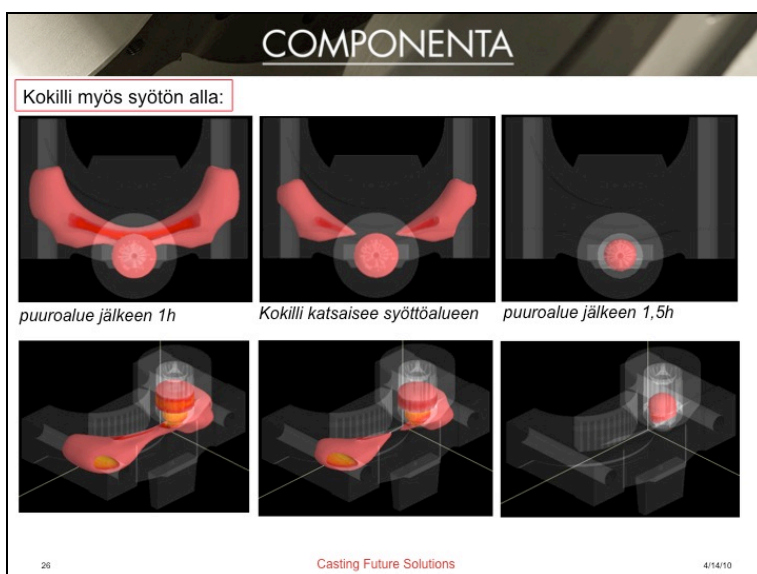
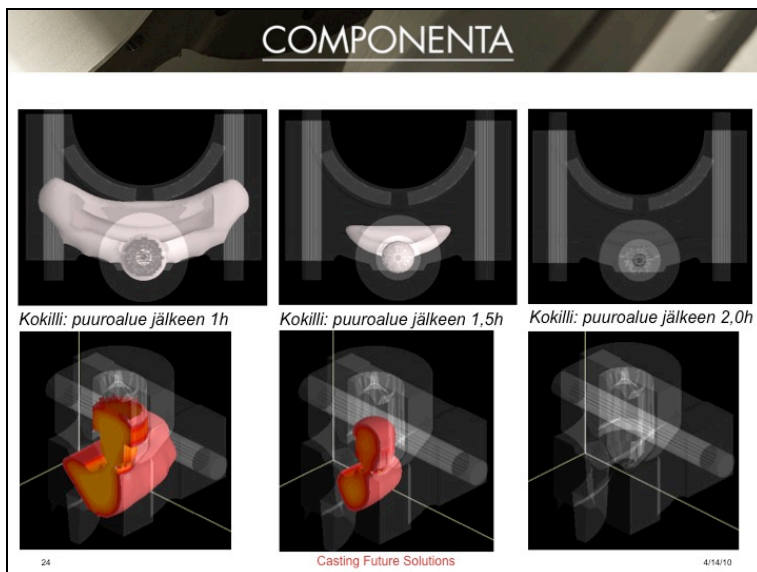
22
Casting Future Solutions
4/14/10

## COMPONENTA



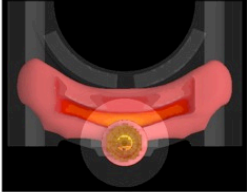
**Vaihtoehto 3.**  
2 kpl kokilleja kappaleen alapinnalla

23
Casting Future Solutions
4/14/10

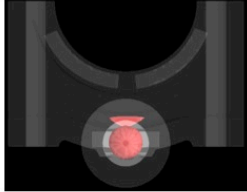


## COMPONENTA

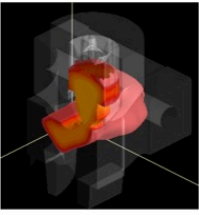
Pienempi kokilli syötön alla:



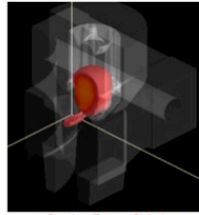
*puuroalue jälkeen 1h*



*puuroalue jälkeen 1,5h*



27



Casting Future Solutions

Simulointien johtopäätöksenä ehdotettu kokillien käyttöä puuroalueen pienentämiseksi ja jäähdytysajan lyhentämiseksi jolloin sakkigrafiittia ei pääsisi syntymään.

4/14/10