

Rapport nr 2010-008

# Enkla geometrier

Andreas Carlsson



Swerea SWECAST AB  
Box 2033, 550 02 Jönköping  
Telefon 036 - 30 12 00  
Telefax 036 - 16 68 66  
swecast@swerea.se  
<http://www.swereawecast.se>

© 2011, Swerea SWECAST AB

## Sammanfattning

Trots gjutindustrins stora möjligheter att gjuta komplicerade detaljer i sandgjuten aluminium finns ännu idag problem med att gjuta de enklaste geometrier. En enkel geometri kan till exempel vara en platta, cylinder eller något som har stora plana ytor utan geometriförändringar och ofta en relativt tunn väggjocklek (låg modul). Det finns också andra typer av enkla geometrier såsom klot eller någon annan typ av komponent med liten area i förhållande till sin volym (hög modul).

För att nå kvalitet i sin gjutna komponent är en grundförutsättning att använda en så ren smälta som möjligt

En av de viktigaste riktlinjerna att följa är att hålla smältans hastighet låg. För aluminium är det cirka 0,3 m/s för att inte orsaka turbulens i smältan.

Gjutsimulering är ett bra (och ibland nödvändigt) verktyg för att stödja och utvärdera beredningen. Med hjälp av simulering kan många av defekttyperna minimeras eller undvikas helt.

En enkel platta togs fram och gjutsimulerades för att illustrera gjutfenomen. Stelningsförloppet är fundamentalt. Ett riktat stelnande där detaljen, efter inlett stelnande, riktat stelnar genom detaljen mot eventuella matare

Även en fiktiv kon simulerades och bland annat problematik med mötande smältfronter blev tydlig.

Även för enkla geometrier krävs en god beredning. Följande punkter bör tas i beaktning:

- Smältans hastighet bör inte överstiga 0,3 m/s och ska inte överstiga 0,5 m/s.
- Orientering av gjutssystem.
  - Lägg gjutsystemet så den större delen av gjutgodset hamnar relativt lågt och minimera höjden. Placera öppna ytor nedåt
- Delning
  - Placera delningsplanet så lågt som möjligt i förhållande till gjutgodset och genom den största tvärsnittsarean i gjutgodset
- Matare
  - Undvik i första hand matare om möjligt. Följ annars anvisningar för matning
- Expanderande system
  - Använd expanderande ingjutsystem. I ett expanderande system ökar areorna genom ingjutsystemet och håller smältans hastighet låg
- Stigande fyllnad
  - En stigande fyllnad ger ett lugnt formfyllnadsförlopp utan onödig turbulens i smältan
- Nedlopp

- Nedloppet styr metalflödet genom gjutsystemet. Höjden styrs av gjutgodset och eventuell toppmatare
- Inlopp
  - Inloppen bör sitta mot tjockare sektioner på godset. Lägg inloppen i flödesriktningen för att undvika erosion och turbulens. Flera inlopp kan användas för att minska risken för oönskade värmecentra
- Skapa ett riktat stelnande och håll matarvägar öppna
- Undvik stora plana horisontella ytor, luta formen vid behov
- Var vaksam mot mötande smältfronter. Kan komponenten gjutas stående?
- Gjutsimulera
  - Gjutsimulera för att göra rätt från början

För övrigt bör även:

- Gasinnehållet i smältan minimeras
  - Gjut inte med för hög temperatur
  - Tänk på fukten

**Nyckelord:**

Enkla geometrier, gjutning, simulering

# Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>TILLKOMST .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>INLEDNING.....</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>SYFTE OCH MÅL .....</b>	<b>1</b>
<b>4</b>	<b>SMÄLTAN.....</b>	<b>2</b>
<b>5</b>	<b>BEREDNING.....</b>	<b>3</b>
5.1	ORIENTERING AV GJUTSYSTEM.....	3
5.2	INGJUTSYSTEM .....	3
5.2.1	<i>Smältans hastighet.....</i>	<i>3</i>
5.2.2	<i>Inlopp.....</i>	<i>5</i>
5.2.3	<i>Slaggfälla.....</i>	<i>5</i>
5.3	MATARE.....	5
<b>6</b>	<b>SIMULERING.....</b>	<b>6</b>
6.1	SIMULERING ALLMÄNT .....	6
6.1.1	<i>Pre processen / Modelluppsättning .....</i>	<i>6</i>
6.1.2	<i>Post processen / resultatanalys.....</i>	<i>6</i>
6.2	PLATTA.....	7
6.2.1	<i>Liggande platta.....</i>	<i>7</i>
6.2.2	<i>Lutad platta.....</i>	<i>9</i>
6.2.3	<i>Lutad platta utan inlopp .....</i>	<i>9</i>
6.3	KON.....	11
<b>7</b>	<b>SLUTSATSER.....</b>	<b>14</b>
<b>8</b>	<b>FRAMTIDA ARBETE .....</b>	<b>15</b>
<b>9</b>	<b>REFERENSER.....</b>	<b>15</b>



## 1 Tillkomst

Enkla geometrier är ett projekt finansierat av Gjuteriföreningen och utfört av Swerea SWECAST och deltagande företag. Projektbudget var 200 000 SEK.

Projektgruppen bestod av

Andreas Carlsson Swerea SWECAST      Projektledare

Magnus Larsson Suncab

Torbjörn Uddén Mönsterås Metall

Rapporten är sammanställd av projektledaren.

## 2 Inledning

Trots gjutindustrins stora möjligheter att gjuta komplicerade detaljer i sandgjuten aluminium finns ännu idag problem med att gjuta de enklaste geometrier. En enkel geometri kan till exempel vara en platta, cylinder eller något som har stora plana ytor utan geometriförändringar och ofta en relativt tunn vägg tjocklek (låg modul). Det finns också andra typer av enkla geometrier såsom klot eller någon annan typ av komponent med liten area i förhållande till sin volym (hög modul).

En enkel geometri torde vara enkel att gjuta. Så är ofta inte fallet. Trots att geometrin är enkel kommer fortfarande de vanliga defekterna kopplade till sandgjuten aluminium finnas i komponenten. En genomtänkt beredning är nödvändig för ett lyckat resultat. Därför kommer denna rapport att ge en sammanfattande bild av sandgjuten aluminium och dess vanligaste defekter samt ingjutsystemets påverkan på dessa. Vikt läggs vid simulering som bör användas som en naturlig del i beredningsarbetet.

## 3 Syfte och mål

Målet med rapporten är att belysa de svårigheter som finns med beredning av sandgjutna aluminiumkomponenter och introducera läsaren till de teorier som finns inom ämnet idag.

## 4 Smältan

För att nå kvalitét i sin gjutna komponent är en grundförutsättning att använda en så ren smälta som möjligt. Två vanliga föroreningar i smältan är [1] och [6]:

- Inneslutningar, oxider
- Inlöst gas

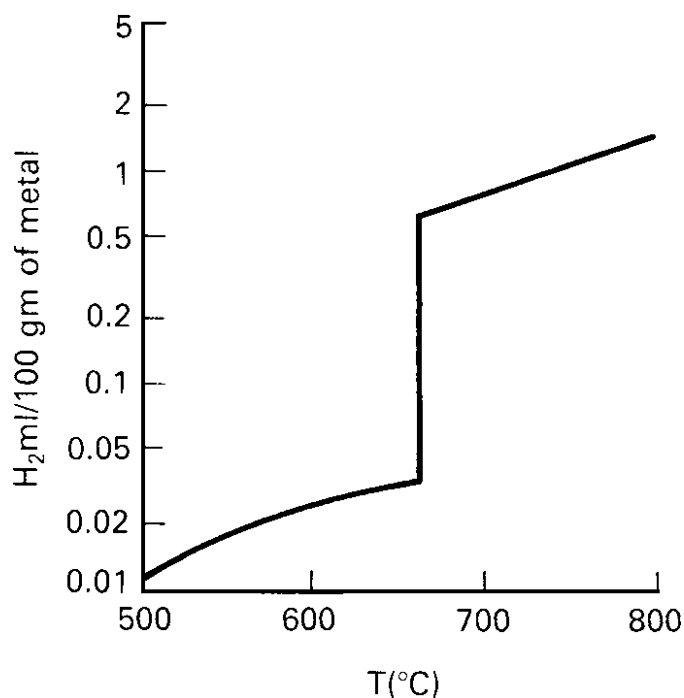
Oxiderna kan till exempel vara ett resultat av återsmält skrot eller från andra delar av tillverkningskedjan.

Gas är normalt vätgas som skapas av fukt. Fukten kan till exempel komma från atmosfären eller från förbränning av fossilt material till ugnen. Vätgasen skapas via fuktens reaktioner med smältan [1]. Ekvation (1) och (2) exemplifierar de kemiska reaktionerna.  $M$  i ekvationerna motsvarar smältan.



Påverkan från fukt i atmosfären kan vara så stor att den har direkt koppling mot kassationsgraden. Aluminiumgjuterier kan ha högre kassationsgrad på sommaren på grund av den högre luftfuktigheten [2].

Mängden vätgas som kan lösas in i smältan är temperaturberoende, Figur 1. Ju hetare smältan är desto mer vätgas kan lösas in innan smältan mätts. Problem uppstår under gjutningen när smältan svalnar. Då frigörs den inlösta vätgasen och gasen ger upphov till defekter, Figur 1.



Figur 1: Inlösning av vätgas i aluminium som funktion av temperaturen.

För att minska vätgasen kan man till exempel sänka luftfuktigheten eller introducera gasspolning. Det är också positivt att gjuta med så låg temperatur som möjligt då mindre vätgas kan lösas in i smältan.



## 5 Beredning

Beredningen innefattar många olika aspekter. Nedan beskrivs ett antal moment och några exempel vad som bör tänkas på. Detta varierar naturligtvis mycket beroende på vilken typ av komponent som ska gjutas.

### 5.1 Orientering av gjutsystem

Det finns några generella regler för hur gjutsystemet bör orienteras [3]:

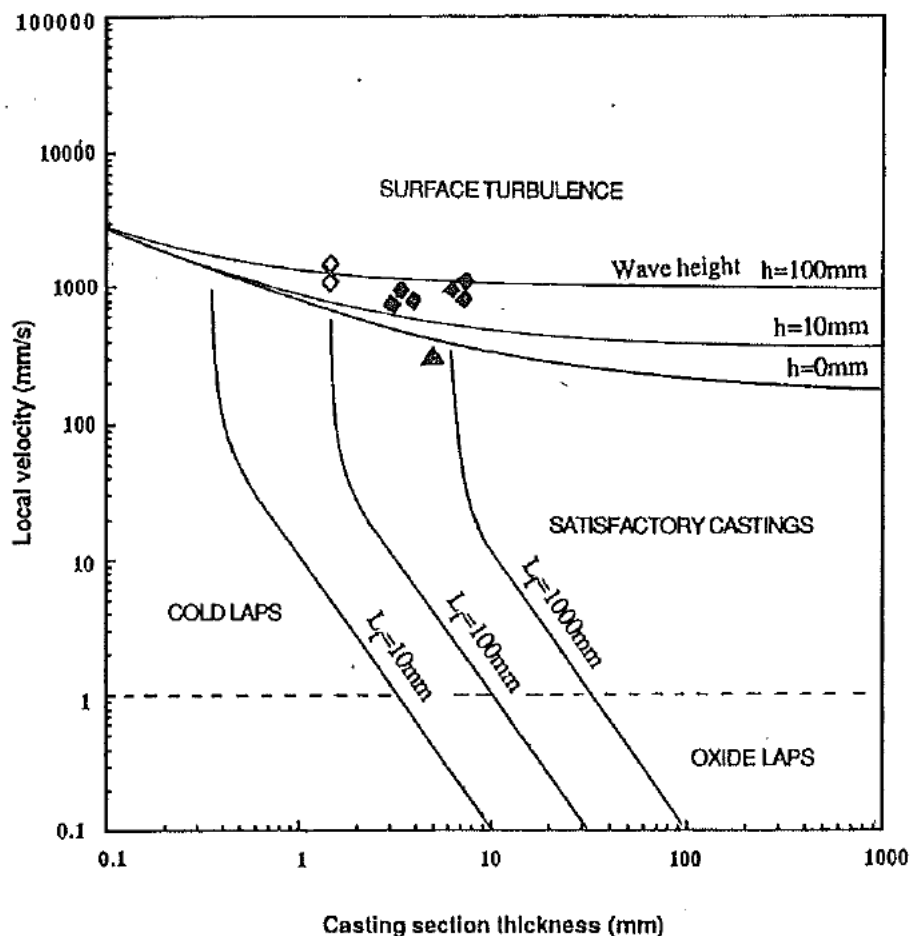
- Orientera komponenten så att modellen lätt kan tas bort från formen. Gör normalt genom att placera delningsplanet genom den största tvärsnittsarean i gjutgodset.
- Undvik brutna delningsplan.
- Utnyttja naturlig släppning.
- Om en yta har dimensionskrav, behåll hela ytan i en del av formen.
- Ytor där gjutskägg måste undvikas placeras i en del av formen.
- Ytor som ska bearbetas placeras med fördel i botten eller åt sidorna i formen. Detta på grund av att orenheter ofta flyter uppåt och ger en mer svårbehandlad yta i toppen på godset.
- Gjutsystemet ska orienteras så att matning underlättas.
- Gjutsystemet ska orienteras så att fall av smältan undviks. Fallen leder till onödig turbulens i smältan.
- Gjutsystemet måste rymmas i flaskan.
- Minimera användningen av kärnor.

### 5.2 Ingjutsystem

Det finns ett oändligt antal varianter av ingjutsystem och de flesta gjuterier har sitt eget recept på hur systemet ska se ut. Det finns dock ett par generella regler att följa för att nå ett bra resultat.

#### 5.2.1 Smältans hastighet

En av de viktigaste riktlinjerna att följa är att hålla smältans hastighet låg. För aluminium är det cirka 0,3 m/s för att inte orsaka turbulens i smältan [4] och [6]. Om det är svårt att undvika kan upp till 0,5 m/s tolereras. Studier visar att en högre smälthastighet ökar risken för defekter betydligt. Speciellt är hastigheten viktig då smältan äntrar formutrymmet vid inloppen.



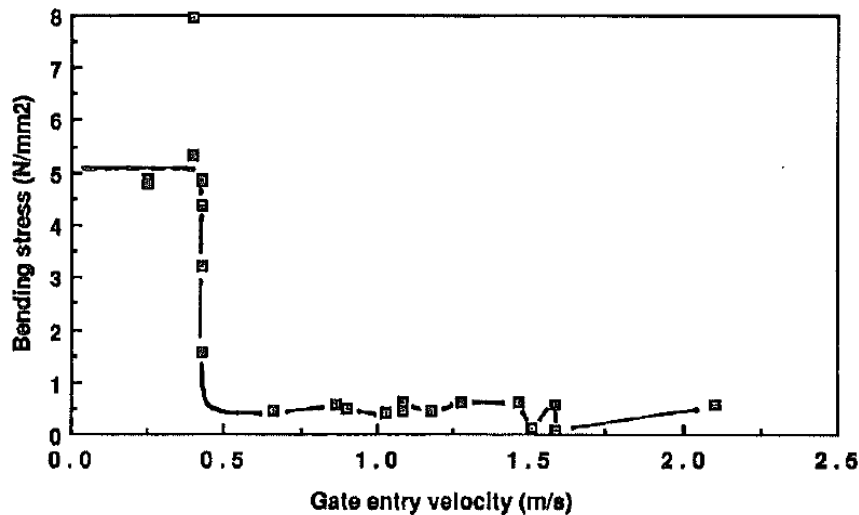
Figur 2: Diagram över tillåten smälthastighet. Y-axel i logaritmisk skala och mm/s [4].

Man skiljer på två typer av turbulens; ytturbulens och bulk-turbulens. Som inses av namnet hittar man ytturbulens på smältans yta och detta är den typ av turbulens som är viktig att undvika. Turbulensen på ytan bryter aluminiumets ytfilm och underlättar för inneslutningar och gas att ta sig in i smältan och därmed skapa defekter i gjutgodset.

För att åstadkomma en lugn formfyllnad med minimal turbulens är ett expanderande system med stigande fyllning det bästa alternativet för att då nå en detalj med jämn och hög kvalitet. [5]. Ett expanderande system kännetecknas av att areorna ökar genom systemet. Normalt brukar areaförhållandet vara 1:2:4 eller 1:2:2 mellan nedlopp, gjutkanal och inlopp. Arean i botten på nedloppet kommer då fungera som strypning.

För nedlopp, gjutkanal och inlopp är ett rektangulärt tvärsnitt lämpligare än ett cirkulärt då tendensen till turbulens är lägre i ett rektangulärt snitt. Använd radier där det är tillämpligt.

Undersökningar visar att hastigheten på smältan i inloppen har betydelse för de mekaniska egenskaperna hos detaljen. Om hastigheten överstiger 0,5 m/s ses en reducerad hållfasthet, Figur 3.



Figur 3: Hållfasthet som funktion av inloppshastighet [4].

### 5.2.2 Inlopp

Inloppen förser formutrymmet med smälta. Några riktlinjer för inloppen är:

- Sätt inloppen på tjockare sektioner
- Använd gärna flera inlopp för att minska temperaturgradienten i gjutgodset.
- Liera inloppen i flödesriktningen för att undvika erosion av formen (kan svepa med partiklar) eller turbulens.

### 5.2.3 Slaggfälla

Slaggfällans funktion är omtvistad. Ibland bidrar den positivt och ibland har den ingen effekt. Det krävs att slaggfällan är rätt utformad så att verkligen den första smältan stannar i fällan.

I ett trycksatt system minskar areorna genom systemet vilket gör att hastigheten på smältan in i komponenten blir hög. Gjutningen blir också beroende på gjutaren vilket kan leda till skiftande kvalitet.

## 5.3 Matare

På grund av att materialet krymper under stelning och svalning måste nytt material matas på för att kompensera för detta. Om godset inte matas där det behövs bildas krympopor.

Det finns några generella regler för matare [1]:

- Måste vi ha en matare överhuvudtaget? Omkonstruktion?
- Mataren måste stelna samtidigt eller senare än godset
- Mataren måste vara volymmässigt tillräckligt stor för att förse godset med tillräckligt mycket smälta.

- Mataren får inte skapa ”hot spots”
- Matarvägarna måste hållas öppna
- Tryckskillnaden mellan matare och gods måste vara tillräckligt stor för att kunna mata.
- Det måste finnas tillräckligt med tryck i alla delar i godset för att undvika porositet.

Matarna bör helst placeras på släta ytor för att underlätta borttagning. Av samma skäl är utvändiga matare mer fördelaktiga än inre.

## 6 Simulering

Gjutsimulering är ett bra (och ibland nödvändigt) verktyg för att stödja och utvärdera beredningen. Med hjälp av simulering kan många av defektyperna minimeras eller undvikas helt.

I denna rapport har gjutsimuleringsprogrammet Nova Flow & Solid använts som demonstrationsprogram för att utvärdera beredning.

Två enkla geometrier skapades, en platta och en kon för att se resultatet av några olika beredningar.

### 6.1 Simulering allmänt

#### 6.1.1 Pre processen / Modelluppsättning

Som indata till simuleringen behövs som regel:

- Legering (materialdata)
- Form- och kärnmaterial (materialdata)
- Geometri
- Gjuttemperatur
- Filter och filtertyp
- Hur ser flödet av smälta ut från skänk till kopp?
- En ”tillräckligt” fin mesh

#### 6.1.2 Post processen / resultatanalys

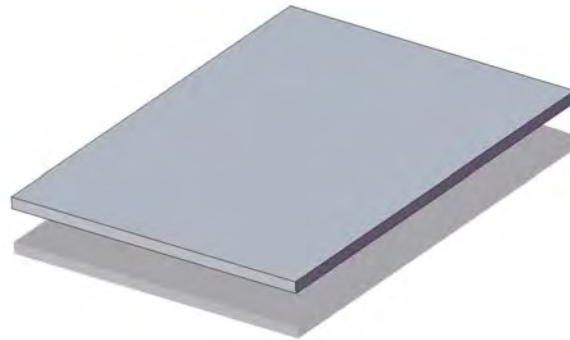
Det finns nästan oändligt många sätt och parametrar att undersöka ur en gjutsimulering för att bedöma processens duglighet. Exempel på några utdata ur Nova Flow & Solid är:

- Fraction solid – Andelen stelnat i smältan.
- Temperaturen på smältan
- Hastigheten på smältan

- Områden med risk för krympporer
- Termisk modul
- Exponerad smältyta

## 6.2 Platta

En enkel platta togs fram med måtten 540 x 400 x 15 mm, Figur 4.



Figur 4: Testobjekt, platta med dimensionerna 540 x 400 x 15 mm.

Plattan beredd på 3 olika sätt för att visa beredningens påverkan på gjutresultatet, Figur 5. För gjutsimuleringen används Nova Flow & Solid, v4.3r6.



Figur 5: Från vänster: a) Liggande platta, b) Lutande platta och c) Lutande platta utan inlopp.

### 6.2.1 Liggande platta

Om plattan gjuts liggandes blir:

- Smältfronten uppdelad tidigt vilket leder till fler inneslutningar och filmbildning i aluminiumet, Figur 6.
- Stor smältarea exponeras
- Vågbildning, Figur 7.

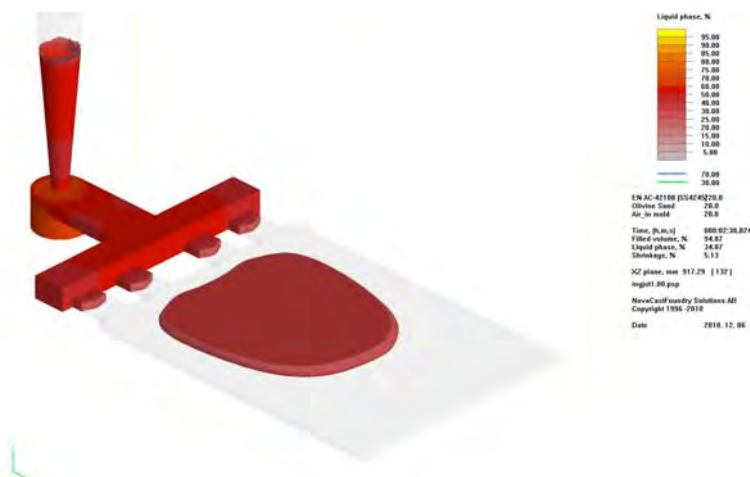


Figur 6: Fragmenterad smältfront med stor risk för filmbildning, inneslutningar och kallflytningar/kallveck.



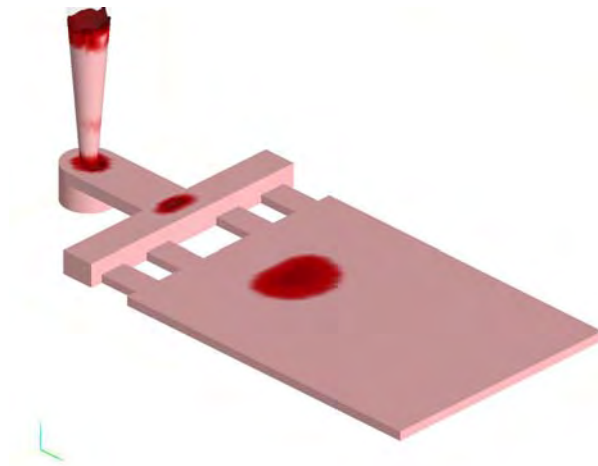
Figur 7: Vågbildning. Smältan når fram till änden av formutrymmet och skvalpar sedan tillbaka. Vid gjutning av filmbildande legeringar finns risk att det bildas inneslutningar av oxidfilmer.

Stelningsförloppet är fundamentalt. Ett riktat stelnande där detaljen, efter inlett stelnande, riktat steltnar genom detaljen mot eventuella matare. I Figur 8 ses den sist steltnade smältan. Smältan har delats av och steltnandet blir då inte riktat. Risken för sugningsporer är stor.



Figur 8: Smältan delas av under stelning och ingen matning finns tillgänglig. Överhängande risk för sugningar.

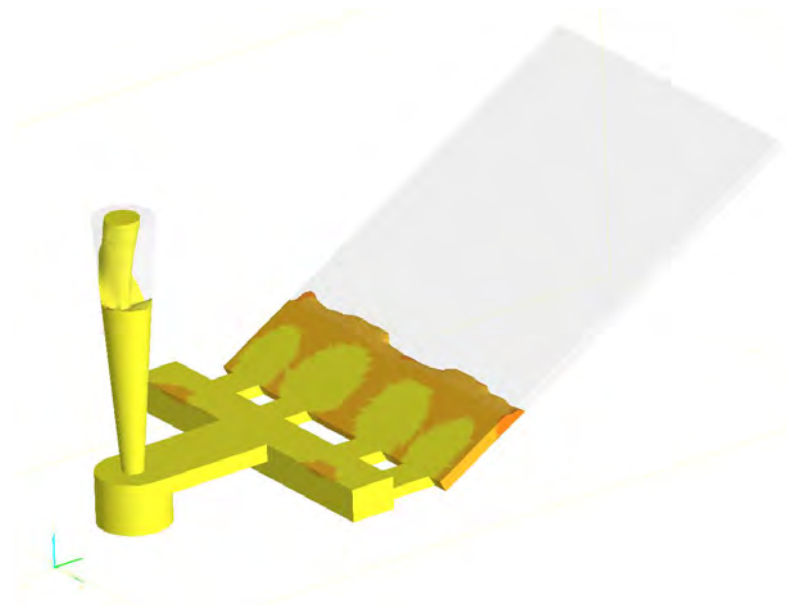
Sugningspredikteringen i Nova Flow & Solid visar tydligt sugningar i området som sammanfaller med den sist steltnade smältan som inte matats ordentligt, Figur 9.



Figur 9: Sugningsprediktering i Nova Flow & Solid för den liggande plattan.

### 6.2.2 Lutad platta

Bättre är istället att gjuta plattan med en vinkel. I detta fall testades 30 grader, Figur 10.

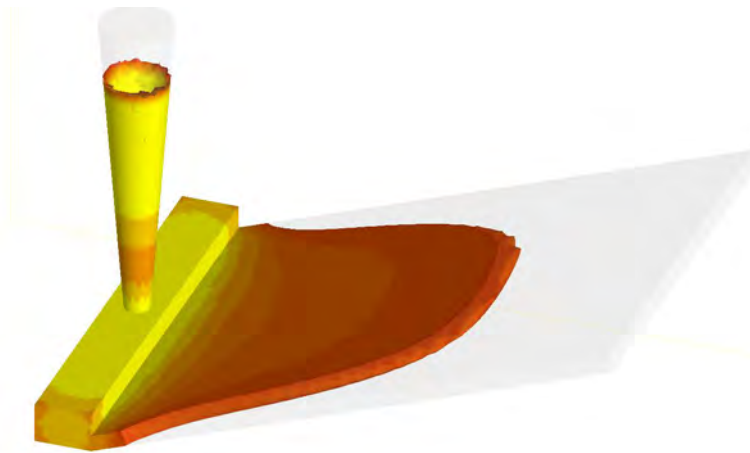


Figur 10: Då plattan lutas 30 grader fås en bättre formfyllnad med sammanhållen smältfront.

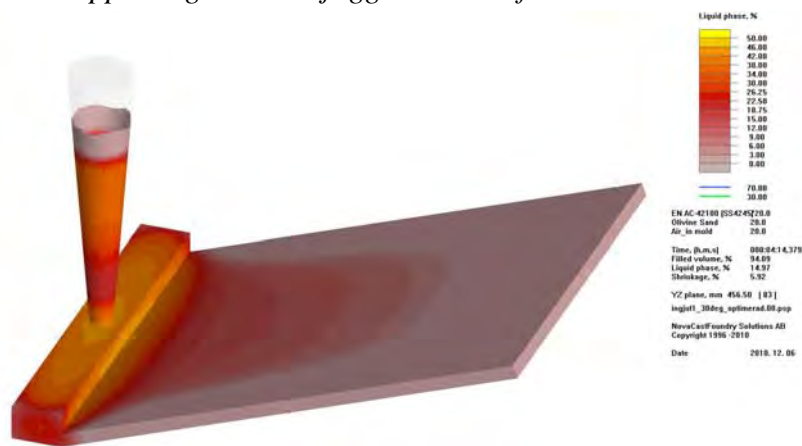
Fördelen är att ingjutsystemet fylls innan detaljutrymmet. Smältfronten hålls samman av gravitationen som leder till en kraftigt förbättrad formfyllnad.

### 6.2.3 Lutad platta utan inlopp

Att luta plattan löser dock inte problem med porer som sågs i Figur 9: Sugningsprediktering i Nova Flow & Solid för den liggande plattan.. Istället kan inloppen plockas bort för att skapa ett värmecentra i ingjutsystemet och låta smältan stelna riktat mot detta, Figur 11, Figur 12 och Figur 13.



Figur 11: Då inloppen togs bort möjliggörs i detta fall ett riktat stelnande.



Figur 12: Smältan stelnar in mot injutsystemet.



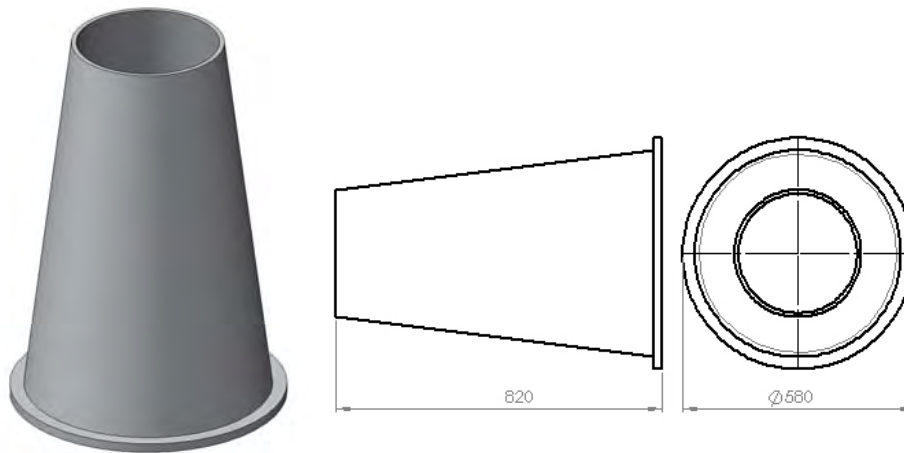
Figur 13: Porfritt på grund av det riktade stelnandet.

Det riktade stelnandet leder till ett (åtminstone virtuellt) porfritt resultat i Figur 13. Jämför med Figur 9.



### 6.3 Kon

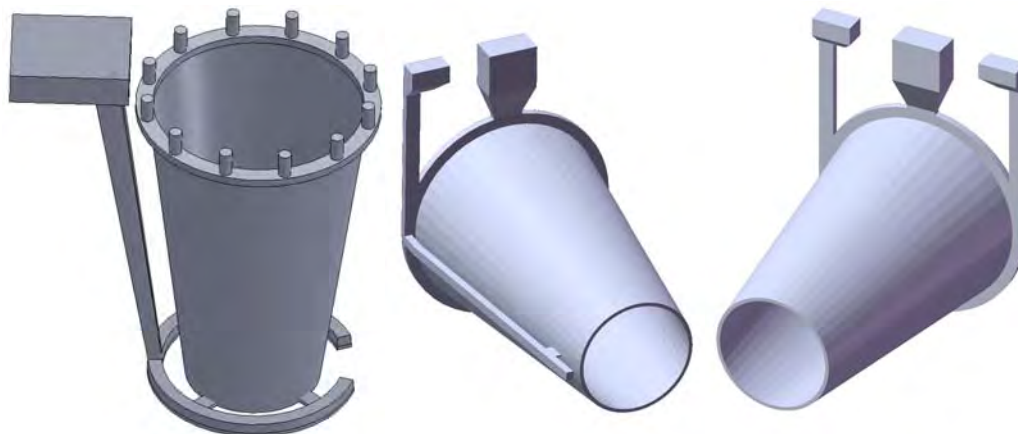
För att testa en enkel geometri som ändå har viss komplexitet konstruerades en kon, Figur 14.



Figur 14: Konen och dess mått.

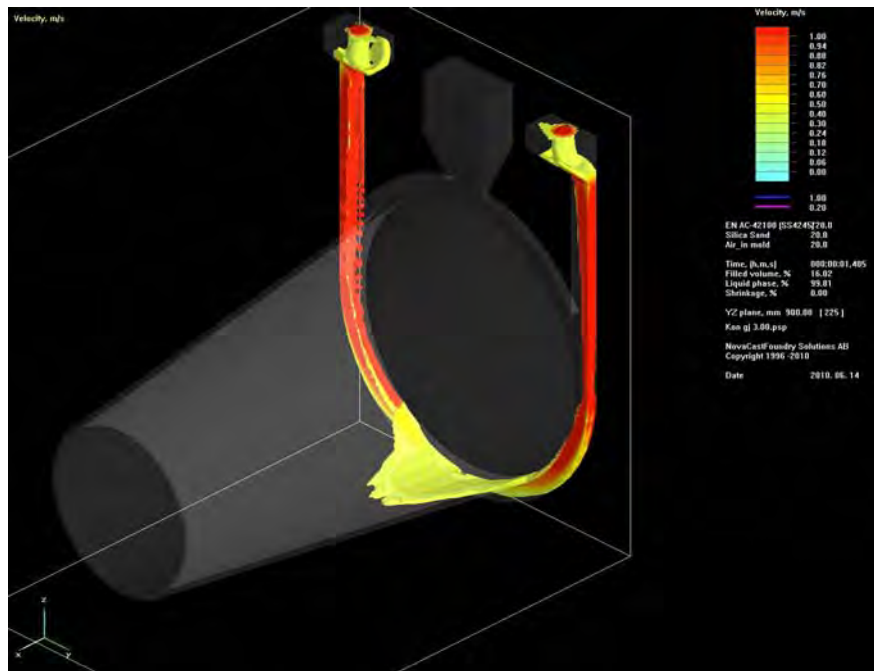
Ett antal förslag på ingjutsystem togs fram och dessa används för att exemplifiera hur gjutsimulering kan användas för att stötta och utvärdera beredningen innan en dyr modell tillverkas.

Systemen är numrerade enligt Figur 15. I system A gjuts konen stående medan den ligger i B och C. Skillnaden mellan B och C är främst att C har ett extra nedlopp.



Figur 15: Från vänster: a) System A, b) System B och c) System C.

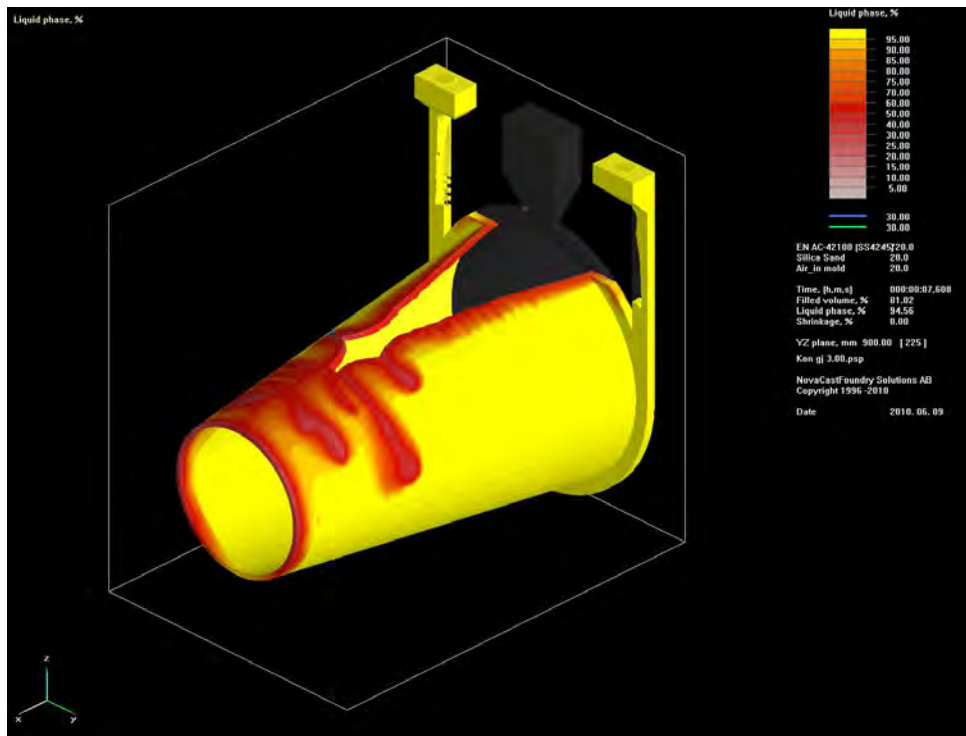
För gjutsimuleringen används Nova Flow & Solid, v4.3r6.



Figur 16: Hastighet vid formfyllnad av kon.

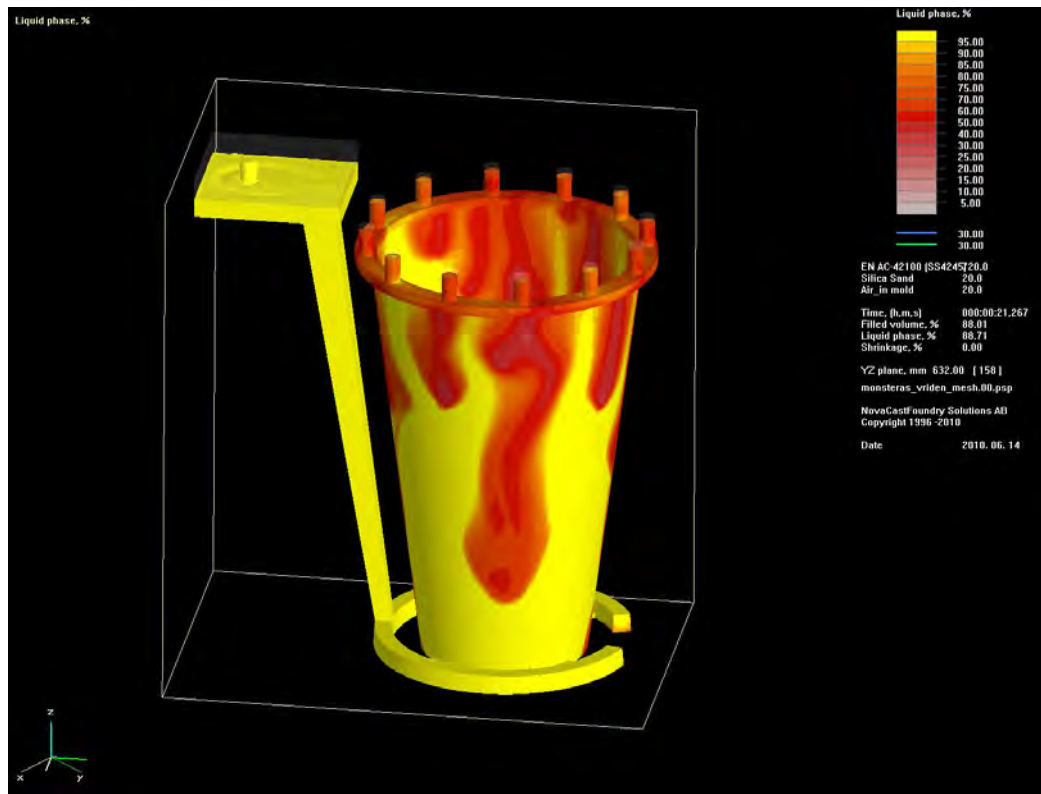
Vid analys av simuleringen kan smältans hastighet lätt utvärderas genom hela gjutningen. Efter detta kan nödvändiga åtgärder vidtas för att optimera smältans hastighet genom injutssystemet, såsom lägre nedlopp, större inlopp etc.

Då konen gjuts liggande finns risk att det bildas defekter där de två smältfronterna går ihop i toppen av konen. Det illustreras i form av en fraction solid plot i Figur 17. Fraction solid visar hur stor andel i smältan som stelnat. När de två smältfronterna möts är det stor risk för defektansamling, två stora anledningar till detta är att många oxider och gasinneslutningar är lätta och befinner sig just i smältfronterna samt att smältfronter är så pass kall att smältfronterna inte fullständigt kan flyta ihop på toppen av röret. I takt med att smältan stelnar sänks flytbarheten hos smältan och när en viss nivå av stelnat material finns i smältan slutar den flyta helt.



Figur 17: Fraction solid plot där två smältfronter närmar sig varandra.

Om konen istället gjuts stående kan problem med mötande smältfronter undvikas. I det här fallet behöver dock smältan gå en längre väg och risken för kallflytningar ökar, Figur 18. Ett bra alternativ kan vara en kompromiss där formen lutas. Låt simuleringen ge feedback på gjutsystemet.



Figur 18: Konen gjuten stående.

## 7 Slutsatser

Även för enkla geometrier krävs en god beredning. Följande punkter bör tas i beaktning:

- Smältans hastighet bör inte överstiga 0,3 m/s och ska inte överstiga 0,5 m/s.
- Orientering av gjutssystem.
  - Lägg gjutssystemet så den större delen av gjutgodset hamnar relativt lågt och minimera höjden. Placera öppna ytor nedåt
- Delning
  - Placera delningsplanet så lågt som möjligt i förhållande till gjutgodset och genom den största tvärsnittsarean i gjutgodset
- Matare
  - Undvik i första hand matare om möjligt. Följ annars anvisningar för matning
- Expanderande system
  - Använd expanderande ingjutsystem. I ett expanderande system ökar areorna genom ingjutsystemet och håller smältans hastighet låg
- Stigande fyllnad
  - En stigande fyllnad ger ett lugnt formfyllnadsförlopp utan onödig turbulens i smältan
- Nedlopp
  - Nedloppet styr metalflödet genom gjutssystemet. Höjden styrs av gjutgodset och eventuell toppmatare

- Inlopp
  - Inloppen bör sitta mot tjockare sektioner på godset. Lägg inloppen i flödesriktningen för att undvika erosion och turbulens. Flera inlopp kan användas för att minska risken för oönskade värmecentra
- Skapa ett riktat stelrande och håll matarvägar öppna
- Undvik stora plana horsisontella ytor, luta formen vid behov
- Var vaksam mot mötande smältfronter. Kan komponenten gjutas stående?
- Gjutsimulera
  - Gjutsimulera för att göra rätt från början

För övrigt bör även:

- Gasinnehållet i smältan minimeras
  - Gjut inte med för hög temperatur
  - Tänk på fukten

## 8 Framtida arbete

Det är svårt att definiera en enkel geometri. Alla gjutsystem har sin speciella karakteristik och ibland unika problem.

För att kunna bereda sin process på rätt sätt krävs gjuterfarenhet men även förmåga att gjutsimulera på ett fysikaliskt korrekt sätt.

Framtida arbete kan vara att undersöka respektive ”geometriberoende” parameter och avgöra dess betydelse för det gjutna resultatet och hitta ett optimalt recept för gjutningen. Med geometriberoende menas till exempel smältahastighet, renhet i smältan eller hur länge en smältfront kan vara exponerad mot luft innan den inte längre kan smälta ihop med annan mötande front.

Förbättrade indata till gjutsimulering står också på önskelistan, till exempel till värmeöverföringen i gjutsystem.

## 9 Referenser

- [1] J. Campbell, Castings, 2nd edition, Butterworth Heinemann, (2002)
- [2] Modern Casting, Controlling Aluminum gas porosity, January 2006, (2006)
- [3] S. Guleyupoglu, J.L. Hill, Parting direction and parting plane selection criteria for sand castings, AFS Transactions, (1995)
- [4] S.M.A Boutorabi, J. Campbell, J. Ranyoro, Critical gate velocities for film-forming casting alloys: A basis for process specification, AFS Transactions, (1992).
- [5] P. E. Persson, Ingjutsteknik, Gjuteriföreningsskrift 971223, (1997)

- [6] M. Jolly, Prof. John Campbells ten rules for making reliable castings, JOM, Maj 2005, (2005)
- [7] S. Guleyupoglu, Casting process design guidelines, AFS Transactions (1997)