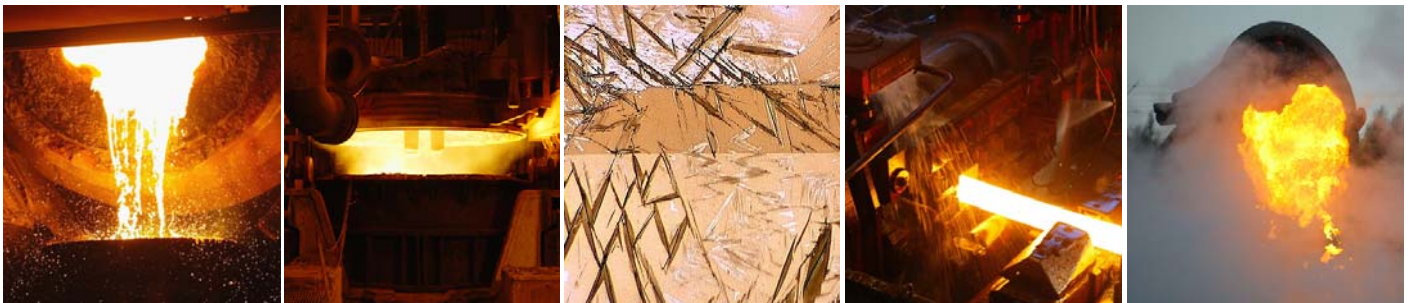


# Nästa generation götgjutningsystem

## Next generation of ingot casting systems

Zhe Tan, Mikael Ersson och Pär Jönsson, KTH Tillämpad processmetallurgi  
Johan Lönnqvist och Carl-Åke Däcker, Swerea KIMAB  
Peter Lidegran, Scana Steel Stavanger

Kommitté 24053 publicerad 2012-10-10





## Sammanfattning

Projektet ingår i Strategiskt stålforskningsprogram för Sverige 2007-2012, finansierat av VINNOVA och Jernkontoret.

Projektet syftade till att åstadkomma förbättringar av göttingstekniken genom att studera: a) nya sätt att tillsätta gjutpulver, b) test av användning av swirlteknik i drift och c) förslag till komponenter till nästa generations ingjutsystem.

Försök med upphängda timglasformade gjutpulverpåsar har provats och jämförts med nuvarande tillsatsmetoder hos Ovako Hofors och Scana Steel Björneborg. De timglasformade påsarna möjliggör en förlängd tömningstid, vilken ansågs vara positivt. Utvärdering gjordes bl a genom att studera götyornas utseende efter strippning. Försöken hos Ovako Hofors visar att man minskar gjutpulverrester på botten av götytor där en sliten kokillsats använts genom att använda timglasformade gjutpulverpåsar samt att man får en förlängd tömningstid av gjutpulverpåsar, vilket var Ovakos önskemål. Försöken hos Scana i Björneborg visar att en timglasformad upphängd gjutpulverpåse ger en bättre täckning av överytan under fyllnadsförloppet första minuter än med vanlig tillsatsmetod. Det ger även en förlängd tömningstid vilket tros minska risken för inkapsling av gjutpulver.

Studier av möjligheter att implementera swirlblad i drift har genomförts hos Scana Steel Stavanger. Detta gjordes i två separata kampanjer, där den huvudsakliga skillnaden var att inloppsvinkeln i slutstenen var 62 grader i kampanj 1 och 52 grader i kampanj 2. Båda kampanjerna visade att swirlbladen höll under produktionsförhållanden, vilket var en viktig målsättning. Den mindre vinkeln på 52 grader gav bäst resultat map göt- och kokillkvalitet. Genom filmning visades det att ett stabilt spolöga och en jämn fördelning av gjutpulver bildas vid användande av ett swirlblad. Dessa resultat verifierades även med matematisk modellering. Det fanns en tendens att gjutpulverförbrukningen minskade med användande av swirlblad, men det måste bekräftas med minst veckovis långa driftförsök. Dessa var dock inte möjliga att genomföra inom ramen för ett forskningsprojekt, utan måste utföras av målverken själva.

Projektet inriktade sig även på att studera komponenter till nästa generations ingjutsystem. Syftet med en ny design av ett gjutsystem är att åstadkomma ett lugnare fyllningsförlopp när stålet flödar in i kokillen. Målet har uppfyllts i detta projekt. Ett stort antal simuleringar av olika komponenter men med fokus på swirl har simulerats. Generellt visar detta arbete att ett rätt implementerat swirlblad i gjutkanalerna kan reducera fluktuationerna i humphöjd, minska den maximala skjuvspänningen vid kanalväggarna och minska fluktuationerna i skjuvspänning. Det bör dock påpekas att en optimal placering av ett swirlblad är viktigt, där hänsyn måste tas till lokala förhållanden i varje göttinganläggning.

### Nyckelord:

Götting, stål, gjutsystem, swirl, modellering, gjutpulver, inneslutning, renhet

## Summary

This project belongs to Strategic Research Programme for Sweden 2007-2012 funded by VINNOVA and Jernkontoret.

The aim of the project was to improve the ingot casting technology by studies of: a) new ways of adding casting powder, b) test of swirl technology during production and c) components for the next generation ingot casting systems.

Trials with hanging of hour-glass-shaped mould-powder bags have been carried out at Ovako Hofors and Scana Steel Björneborg. The hour-glass-shaped bags enable a prolonged emptying time, which was considered to be positive. An evaluation of the results was for example done by studying the ingot surfaces after stripping. The trials at Ovako Hofors show that remains of mould powder at the bottom part of ingot sides are reduced when hour-glass-shaped mould powder bags are used in combination with a worn set of moulds. The trials also show a prolonged emptying time for the hour glass shaped mould powder, as Ovako desired. The trials at Scana Steel Björneborg showed that an hour-glass-shaped bag gives a better covering of the steel surface during the first minutes of casting than ordinary mould powder additions. It also gives a prolonged emptying time, which is assumed to decrease the risk of mould powder entrapment at the bottom of the ingot.

Implementation of swirl blade technology in production has been done at Scana Steel Stavanger. Plant trials were carried out in two separate campaigns. The main difference was the flaring angle of the inlet stone and it was 62 and 52 degrees in campaign 1 and 2, respectively. Both campaigns illustrated that the swirl blades could withstand the harsh production atmosphere, which was an important goal of the project. The smaller angle resulted in better results with respect to ingot and mold surface qualities. By filming the filling it was shown that the open eye was stable and that an even distribution of casting powder was found around it, when using a swirl blade. These experimental findings were also verified by mathematical modeling. There was also a tendency that the casting powder consumption decreased when using a swirl blade. However, these findings need to be verified even more in the future with at least trials for several weeks. These were not possible to carry out within the frame of this project, but they need to be carried out by the companies themselves.

The project also focused on studying possible components for the next generation ingot casting systems. The purpose is to obtain calm initial filling conditions as the steel enters the mould. This goal has been reached in the current project. A large number of different simulations have been made with focus on how to apply the swirl technique. In general, this work shows that a correctly implemented swirl blade has the potential to reduce the fluctuations in hump height, decrease the maximum shear stress and to decrease the fluctuations in shear stress. Finally, it must be pointed out that it is very important to optimize the placement of the swirl blade to the existing design of the ingot casting system including the powder addition technique and the mould size.

### Keywords:

Ingotcasting, steel, casting system, swirl, modelling, mould powder, inclusion, cleanliness

# JERNKONTORET

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1.    | INLEDNING.....  | 5  |
| 1.1   | State of the art.....   | 5  |
| 1.2   | Vetenskapligt nyhetsvärde.....  | 6  |
| 1.3   | Projektets plats inom programmet.....   | 6  |
| 2.    | MÅL   | 7  |
| 3.    | METOD.....  | 7  |
| 3.1   | Driftsförsök för kvantifiering av effekt med förbättrad gjutpulvertillsats (WP1).....     | 7  |
| 3.2   | Driftsförsök för kvantifiering av effekt av swirl (WP2).....                              | 7  |
| 3.2.1 | Kampanj 1.....  | 7  |
| 3.2.2 | Kampanj 2.....  | 8  |
| 3.3   | WP3 Matematisk modellering för framtagning av ny standard.....                            | 8  |
| 3.3.1 | Introduktion.....   | 8  |
| 3.3.2 | Beräkningsförfarande.....   | 10 |
| 4.    | FORSKNINGSRESULTAT.....   | 11 |
| 4.1   | Driftsförsök för kvantifiering av effekt med förbättrad gjutpulvertillsats (WP1).....     | 11 |
| 4.1.1 | Verksförsök hos Ovako Hofors 2010-04-14, 15.....  | 11 |
| 4.1.2 | Verksförsök hos Ovako Hofors 2010-09-13.....  | 12 |
| 4.1.3 | Verksförsök med gjutpulvertillsats hos Ovako Steel AB. Hofors 2012-04-11.....             | 17 |
| 4.1.4 | Sammanfattning av försök hos Ovako Hofors.....  | 20 |
| 4.1.5 | Verkförsök hos Scana Steel Björneborg 2010-10-13,14.....                                  | 21 |
| 4.1.6 | Verkförsök hos Scana Steel Björneborg 2010-11-25.....                                     | 25 |
| 4.1.7 | Verkförsök hos Scana Steel Björneborg 2011-01-26, 27.....                                 | 28 |
| 4.1.8 | Sammanfattning av försök hos Scana Steel Björneborg.....                                  | 33 |
| 4.2   | Driftsförsök för kvantifiering av effekt av swirl (WP2).....                              | 34 |
| 4.2.1 | Slutsten A, Kampanj 1.....  | 34 |
| 4.2.2 | Slutsten B, Kampanj 2.....  | 35 |
| 4.2.3 | Summering av driftsförsök.....  | 38 |
| 4.3   | Matematisk modellering för framtagning av ny standard (WP3).....                          | 40 |
| 4.3.1 | Flödesförhållanden.....   | 40 |
| 4.3.2 | Humphöjd.....   | 45 |
| 4.3.3 | Skjuvspänning vid infodringsytor.....   | 49 |
| 5.    | SLUTSATSER.....   | 52 |
| 5.1   | Driftsförsök för kvantifiering av effekt med förbättrad gjutpulvertillsats (WP1).....     | 52 |
| 5.2   | Driftsförsök för kvantifiering av effekt av swirl (WP2).....                              | 53 |
| 5.3   | Matematisk modellering för framtagning av ny standard (WP3).....                          | 54 |
| 6.    | FORTSATT ARBETE.....  | 56 |
| 7.    | REFERENSER.....   | 57 |
|       | Bilaga 1 – Projektorganisation och medverkande.....                                       | 59 |
|       | Bilaga 2 – Publikationer.....   | 60 |
|       | Bilaga 3 – Annan resultat- och kunskapsförmedling.....                                    | 61 |
|       | Bilaga 4 – Stålforskningsprogrammet.....  | 62 |
|       | Bilaga 5 - Kommentarer vid syning av göt Ovako Hofors 2010-09-13.....                     | 63 |
|       | Bilaga 6 - Kommentarer vid syning av göt hos Ovako Hofors 2012-04-11.....                 | 67 |
|       | Bilaga 7 - Kommentarer vid syning av göt hos Scana Björneborg 2010-10-13. (Försök 1) .... | 71 |
|       | Bilaga 8 - Kommentarer vid syning av göt hos Scana Björneborg 2010-11-25.....             | 72 |
|       | Bilaga 9 - Kommentarer vid syning av göt hos Scana Björneborg, Charge E2159.....          | 74 |
|       | Bilaga 10 -Kommentarer vid syning av göt hos Scana Björneborg Charge E2163.....           | 75 |
|       | Bilaga 11- Kommentarer vid syning av göt hos Scana Björneborg Charge E2164.....           | 76 |



## 1. INLEDNING

### 1.1 State of the art

Ståltillverkare har spenderat mycket tid på att förbättra göt gjutningsprocessen för att åstadkomma ett förbättrat utbyte samt en förbättrad kvalitet. Detta kan exemplifieras av Blanks [1] systematiska studier av processparametrar baserat på produktionserfarenhet. Förutom själva processen, har det även funnits ett intresse av att studera effekten av icke-metalliska inneslutningar på stålkvaliteten. Dessa icke-metalliska inneslutningar bildas primärt när ämnen med hög syreaffinitet reagerar med syre under skänkbehandling samt genom reaktioner med slagg och infodring [2]. Det har t ex konstaterats att högkolhaltiga kromhaltiga kullagerstål innehåller en låg totalsyrehalt samt få inneslutningar strax innan gjutning [3]. När gjutningen påbörjas finns enligt Freborg [4] ett antal olika potentiella platser för bildande av exogena inneslutningar. Dessa kan t ex vara kanalens mittsten och gränssytan mellan stål och gjutpulver. Här har en teknik tagits fram för att förhindra skadlig reoxidation vid kanalens mittsten [4]. Freborg konstaterade också att gjutpulver är en källa för exogena inneslutningar, baserat på förekomsten av gjutpulver i prov tagna från kokillen under fyllningsprocessen [5,6]. Neddragningen av gjutpulver antogs vara orsakad av strömningsförhållandena i kokillen [1, 3, 5, and 7]. Detta exempel visar betydelsen av att studera strömningsförhållandena i kokillen vid fyllning. Det bör även nämnas att övrig utveckling inom området ingjutsystem har rört sig om förbättrat materialval för teglet, bandning av vissa komponenter för att undvika söndersprickning under gjutningen och förändringar av utloppsdimensioner. En nyligen gjord litteraturstudie visar att när det gäller utveckling och förändring av ingjutsystemet, så har inte mycket öppen forskning bedrivits de senaste decennierna, i förhållande till mängden stål som producerats med metoden [Drillon och Annika].

Göt gjutningsprocessen har även studerats med hjälp av vattenmodellering. Bl.a. har Freborg [4] studerat hälften av ett gjutsystem bestående av 6 kokiller. Syftet var att studera hur kanalsystemet kunde modifieras i syfte att minska turbulensen i gjutsystemet. Eriksson et al. [8] har också studerat hastighetsfälten vid fyllning av en kokill i syfte att erhålla data för verifiering av matematiska beräkningar av fyllningen.

Ett flertal forskare har simulerat flödesförhållandena vid göt gjutningsprocessen. Fyllning av cylindriska och rektangulära kokiller har studerats av Jönsson et al. [9] och van der Graaf [10]. Dessutom har Eriksson et al. undersökt fem olika turbulensmodeller vid modellering av fyllning av kokiller [11]. Dessa predikteringar har i sin tur jämförts med mätningar i vattenmodell [8]. Nyligen har även Eriksson et al. undersökt påverkan av en inloppsvinkel på slutstenen på flödesförhållandena i kokillen med användande av en LES modell. De bästa resultaten erhöles med en vinkel på 25 grader. Denna slutsten resulterade i att stålytan i princip var flat under hela fyllningen samt att de horisontella stål hastigheterna var låga.

Hallgren et al. [12-14] studerade effekten av ett swirlblad placerat i kanalen på flödesförhållandena i kokillen under fyllning. I simuleringarna användes en förenklad geometri som inte innefattade gubben eller hela kanalsystemet. En likartad hastighet antogs som gränsvillkor vid inloppet. Användandet av ett swirlblad ledde till lugnare fyllningsförhållanden och en lägre humphöjd, dvs. storleken på den upphöjda krater som bildas på stålytan när stålet forcerar in i kokillen [12-14].

# JERNKONTORET

## 1.2 Vetenskapligt nyhetsvärde

Gjutpulvertillsats sker idag genom att man lägger i, slänger i under gjutning, eller hänger upp en eller flera färdigpaketerade påsar med en förutbestämd gjutpulvermängd anpassad för den götstorlek som skall gjutas. Detta har identifierats som en risk för gjutpulverneddragning och skapande av vågor som ger dåliga götytor.

Gjutsystemet består av kanaltegel, som läggs i spår i en metallplatta. Man fixerar med omgivande olivinsand och har murbruk ovanpå i jämnhöjd med plattans överyta. Dagens ingjutsystem är en källa till inneslutningar genom:

- inläckage av omgivande sand
- sprickande/reagerande material som dras med stålet in i kokillen
- att ofördelaktiga strömningsförhållanden råder, som i sin tur medför gjutpulverneddragning i kokillen

Allt detta orsakar risker för icke-metalliska makro-inneslutningar som endast med tur upptäcks innan de hamnar hos kund. Idag har man egentligen inte några bra metoder att upptäcka dem. Dessutom kan dagens metoder för tillsats av gjutpulver ge upphov till skvalp, som påverkar götytorna negativt, och neddragningar av gjutpulver.

1968 publicerade Jernkontoret en standard för kanaltegel [26]. Vid tidpunkten för standardens tillkomst var CFD-beräkningar inte möjliga. Det fanns inte turbulensmodeller som var tillämpbara och inte heller datorkraft. Tillverkningsmetoderna för tegel var begränsade till den ännu använda våtformningsmetoden, med relativt dåliga dimensionstoleranser. Standarden inriktades därför på att skapa så billiga kanaltegel som möjligt för stålindustrin. Strömningstekniska hänsyn togs inte alls. Trots detta var succén ett faktum som belyses av att standarden är i användning ännu efter 40 år!

I ett tidigare Jernkontorsprojekt, finansierat av Teknikområde 24 Gjutning och stelning och medlemsföretag [27], har en mängd olika idéer testats för att förlänga gjutpulvertillsatsen så att en mer kontinuerlig tillsats sker, med mindre stålskvalp som följd. De mest lovande idéerna identifierades, men det fanns inte tid inom projektet att genomföra en tillräckligt lång försöksserie för att få fram ett underlag som beskriver den tekniska och ekonomiska potentialen förknippad med respektive metod, i jämförelse med dagens metod.

Inom Jernkontoret drevs även ett projekt, som syftade till att åstadkomma en lugnare överyta under götgjutning med hjälp av swirl-teknik [13]. Här genomfördes några inledande försök där man visade att de swirlblad som skulle användas fungerade och höll för belastningen. Man gjorde även modellförsök med vatten samt numeriska beräkningar som visade att fyllning med ett markant lugnare förlopp kunde uppnås i jämförelse med vid ett normalt förfarande. Även här saknades dock den vitala verifikationen genom flera försöksserier i drift.

## 1.3 Projektets plats inom programmet

Projektets mål och innehåll faller inom följande kategorier inom Strategiskt Stålforskningsprogram för Sverige 2007-2012:

- Utveckling av stål för hållbar tillväxt i samhället - genom längre livslängd på produkter, större materialutbyte och minskat behov av omsmältningprocesser.
- Avancerad modellering - skall användas vid design av nästa generations ingjutsystem.



# JERNKONTORET

- Förbättrad processteknik - göt gjutningsprocessen förbättras för att minska de icke-metalliska inneslutningarna. Den idag svagaste länken i kedjan angrips!

## **2. MÅL**

Det övergripande målet är att öka göt gjutarnas internationella konkurrensförmåga genom att förbättra göt gjutningssystemet så att antalet icke-metalliska inneslutningar i stålet minskar. Projektet förväntades leverera:

**WP1:** En statistiskt säkerställd utvärdering av den tekniska och ekonomiska potentialen förknippad med en övergång från dagens sätt att tillsätta gjutpulver till den inom projektet förordade metoden.

**WP2:** En statistiskt säkerställd utvärdering av den tekniska och ekonomiska potentialen förknippad med användande av swirl-teknik för att skapa ett lugnare fyllningsförlopp.

**WP3:** En ny standard för komponenter till nästa generations ingjutsystem med design baserad på fluiddynamiska beräkningar och utnyttjande av modern tillverkningsteknik för keramer.

Graden av uppfyllandet av dessa mål redovisas i kapitel 5: Slutsatser.

## **3. METOD**

Arbetet har utförts i tre delar (WP) som beskrivs nedan.

### **3.1 Driftsförsök för kvantifiering av effekt med förbättrad gjutpulvertillsats (WP1)**

Detta delmoment har utförts av Swerea KIMAB i samarbete med Ovako Hofors och Scana Steel Björneborg. Metoden har varit driftsförsök med ordinarie uppföljning, med jämförelse mellan försöksgrupp och referensgrupp. Verkförsök har utförts enligt målverkens önskemål. Försöken har utförts i flera omgångar vid bägge målverken. Efter varje omgång har en sammanfattning gjorts och beslut tagits om nästkommande försöksomgång skall utföras på liknande sätt eller vilka ändringar som ska genomföras.

### **3.2 Driftsförsök för kvantifiering av effekt av swirl (WP2)**

Detta delprojekt har utförts av KTH i samarbete med Scana Steel Stavanger. Metoden har varit driftsförsök och utvärdering har i största möjliga grad skett med ordinarie uppföljning. Jämförelse har skett mellan provgrupp och referensgrupp. Driftsförsöken utfördes i två kampanjer.

#### **3.2.1 Kampanj 1**

Syftet med försöken var att prova om det är tekniskt möjligt att montera ett swirlblad i en vertikal position i gjutkanalen och se om det håller under normala driftförhållanden. Detta hade aldrig provats tidigare. Vid försök vid Scana Björneborg och vid Ovako har endast horisontellt placerade swirlblad provats under driftförhållanden. Dock har försök med vatten och simuleringar av Hallgren et al [15] visat att det vore fördelaktigt att placera swirlblad i

# JERNKONTORET

den vertikala delen av gjutkanalen. Mer specifikt leder en sådan placering till en minskad humphöjd (höjd på stål som höjer sig över ytans basnivå) och lugnare inloppsförhållanden vid den initiala fyllningen.

## **3.2.2 Kampanj 2**

Syftet med försöken var dels att prova om det är tekniskt möjligt att montera ett swirlblad på olika positioner och att bekräfta att det håller. Dessutom att se hur swirlbladet påverkar gjutpulverdistributionen och ytdefekter som orsakats av gjutpulver, som under stelningen fastnar vid götytan. Under den andra kampanjen genomfördes försök med fyra charger, varav två var referensmältor utan användning av swirlblad. Vid de två försöken med swirlblad placerades dessa i den horisontella delen av gjutkanalen.

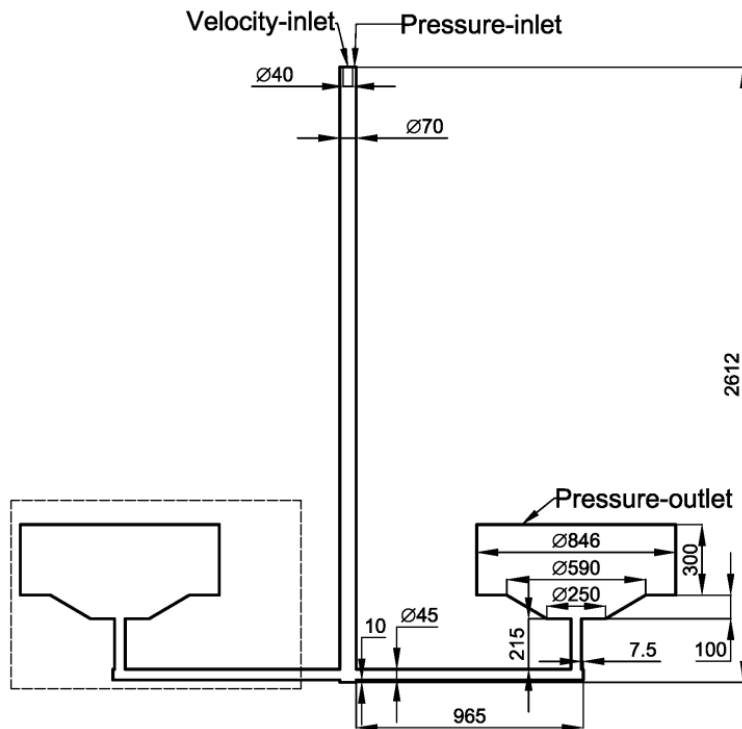
## **3.3 WP3 Matematisk modellering för framtagning av ny standard**

Denna aktivitet har utförts av KTH och följts upp av götgjutningskommitten på Jernkontoret. Metoden har varit matematisk modellering delvis för ett helt ingjutsystem från det utvalda målverket Scana Steel Stavanger, men också för design av olika komponenter för nästa generations ingjutssystem med förbättrade fyllningsförhållanden.

### **3.3.1 Introduktion**

Inom WP2 och WP3 har en tredimensionell modell för ett komplett fyllningssystem som representerar förhållandena vid målverket Scana Steel Stavanger utvecklats. Den innefattar fyllning av två kokiller av storleken 6.2 ton. En femtedel av höjden på kokillen har simulerats eftersom syftet var att studera flödesförhållandena vid den initiala fyllningen av kokillen. Diametern på gubben är 70 mm och diametern på kanalsystemet är 45 mm [16]. Inledningsvis simulerades fyllningen för ett existerande system, dvs. utan användandet av swirltekniken. En schematisk beskrivning av beräkningsdomänen visas i **Figur 1**. I figuren visas även en reducerad geometri för en kokill och en göt kanal (streckad linje), vilken också simulerades för att jämföra resultaten med andra forskares resultat [2, 12-14].

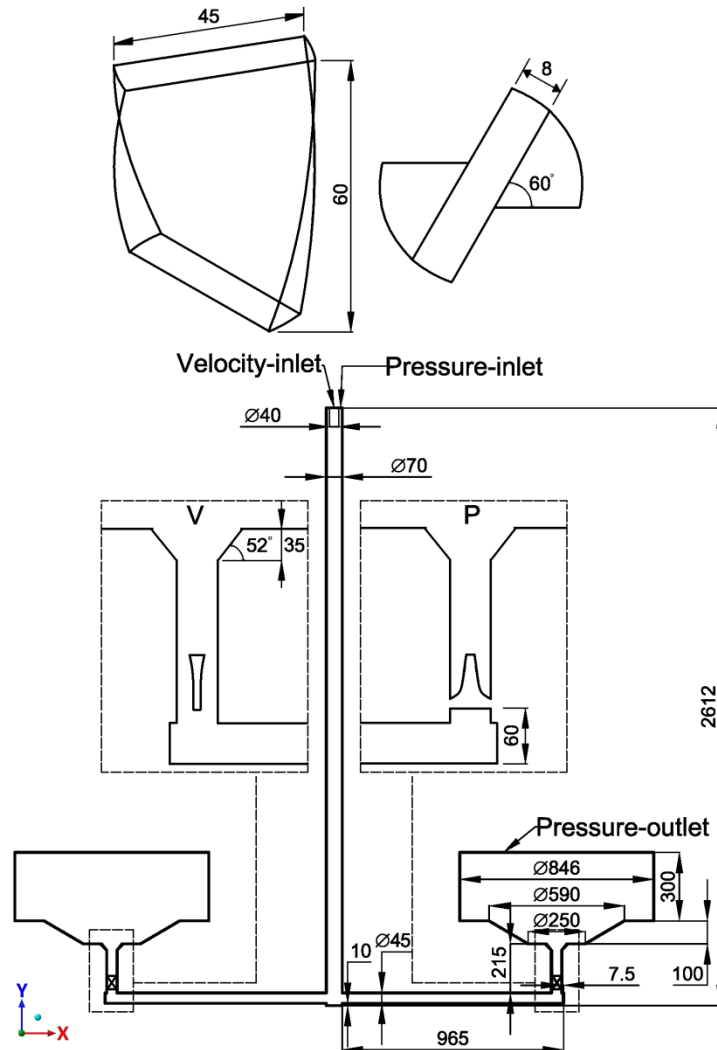
# JERNKONTORET



**Figur 1.** Schematiskt diagram av beräkningsdomän samt viktiga gränsvillkor som användes för att simulera fyllning av en kokill utan användande av swirlblad.

I Figur 2 visas beräkningsdomänen och viktiga gränsvillkor för de simuleringar som utförts med en modifierad geometri. Totalt studerades tre olika kombinationer, nämligen i) en förstord utloppsvinkel, ii) ett swirlblad placerat horisontellt i gjutkanalen och iii) ett swirlblad placerat axiellt i gjutkanalen. Swirlbladen hade en vridningsvinkel på 60 grader och en 60 mm längd, vilket var baserat på tidigare forskares resultat [13, 14].

# JERNKONTORET



**Figur 2** Schematiskt diagram av beräkningsdomän samt viktiga gränsvillkor som användes för att simulera fyllning av en kokill med modifierad geometri av fyllningssystemet. Data för vridningsvinkel och placering av swirlblad är markerade med streckade linjer. Här står P för en horisontell placering av ett swirlblad i gjutkanalen och V för en vertikal placering i gjutkanalen.

## 3.3.2 Beräkningsförfarande

I beräkningarna var det nödvändigt att uppnå en balans mellan beräkningsnoggrannhet och tid för simulering. Eftersom luftens hastighet är liten och fokus inte var på termiska förhållanden så antogs det inte nödvändigt att simulera ett kompressibelt flöde. Dessutom kräver en simulering av kopplingen mellan temperatur och tryck mycket små tidskalor och extremt små beräkningsceller för att simulera volymförändringarna hos luft. Därför försumrades variationen av luftens densitet med avseende på temperatur. Överlag kan de viktigaste antagandena summeras enligt följande:

- Inloppshastigheten till göt gjutningssystemet antogs vara konstant
- Både stål och luft antogs bete sig som inkompressibla Newtonska fluider
- Stålets och luftens materialegenskaper antogs vara konstanta
- Hänsyn togs ej till kemiska reaktioner
- Hänsyn togs ej till värmeöverföring eller stelning

# JERNKONTORET

Baserat på ovanstående antaganden löstes Navier-Stokes mass- och momentekvationer med lämpliga gränsvillkor. Dessutom användes den så kallade Volume-of-fluid (VOF) metoden som utvecklats av Hirt och Nichols [17], för att beräkna förändringen av stålytan under fyllningen. Det kommersiella mjukvaruprogrammet ANSYS FLUENT 12.1/13.0<sup>®</sup> [18] användes för samtliga beräkningar. En mera detaljerad beskrivning av beräkningsförfarandena finns redovisade i författarnas publicerade data.[19],[20])

## **4. FORSKNINGRESULTAT**

### **4.1 Driftsförsök för kvantifiering av effekt med förbättrad gjutpulvertillsats (WP1)**

#### **4.1.1 Verksförsök hos Ovako Hofors 2010-04-14, 15**

Två försök utfördes med olika typ av gjutpulvertillsats.

##### **1**

Charge N8145, Stål 803. Hörnkokill, 2:a stigplanet av tre. En påse á 6 kg snörptes på mitten med treslaget hampasnöre. Ungefär hälften av gjutpulvret i vardera halva. Snörpningen gav en timglasform på påsen med ca 10 cm x 5 cm vid midjan. Påsen hängdes i en fiskevåg med ett snöre genom ett hål i lunckerplattan istället för boxens kilar. Påsens underkant var 30 cm ovanför inloppshålet. Tid för påsens tömning mättes genom att se på vågen.

| <u>Tid (s)</u> | <u>händelse</u>                     |
|----------------|-------------------------------------|
| 0              | gjutstart                           |
| 12             | öppning underdel (momentan tömning) |
| 35             | öppning överdel                     |
| 55             | överdel tömd.                       |

##### **2**

Charge N8145, Stål 803. Hörnkokill, 3:e stigplanet av tre. En wellpappskiva häftades fast under påsen. Påsens underkant var 30 cm ovanför inloppshålet. Wellpappen täckte hela vägen ut till kokillens innerkanter. Påsen hängdes i fiskevåg genom hål i lunckerplattan.

| <u>Tid (s)</u> | <u>händelse</u>      |
|----------------|----------------------|
| 0              | gjutstart            |
| 17             | påsen börjar tömmas  |
| 27             | ca 5 av 6 kg är tömt |
| 46             | påsen tömd           |

# JERNKONTORET

**15 april.**

Två försök med snörpt påse.

| FÖRSÖK 1 |                        | FÖRSÖK 2 |                         |
|----------|------------------------|----------|-------------------------|
| tid (s)  | händelse               | tid (s)  | händelse                |
| 0        | gjutstart              | 0        | gjutstart               |
| 10       | öppna underdel         | 11       | öppna underdel          |
| 35       | tömning slut i överdel | 81       | tömning slut i överdel. |

Snörpt påse verkar ge en tömning det slag som Ovako tror sig vilja ha. D.v.s. en viss mängd gjutpulver tillsatt strax efter start för att täcka överytan och resterade gjutpulver kontinuerligt under början av fyllnadsförloppet. Forskningskommittén föreslog att denna metod som skulle användas för en längre provning. Gemensamt för de tre försöken med snörpning kan sägas att ca 3 kg gjutpulver tillsätts momentant ca 10 s efter gjutstart, tiden för tillsättning av de resterande 3 kg varierar men sker ej momentant. Att läsa av vågen vid tömning fungerade väl för påsens undre del. För den övre delen var det svårare. Möjligen flyter påsen ovanpå gjutpulverbädden och stålet innan den är helt tömd.

## **4.1.2 Verksförsök hos Ovako Hofors 2010-09-13**

Försök med gjutpulverpåsar snörpta på mitten med ett snöre, likt ett timglas hängande över inloppshålet provades hos Ovako Hofors. Timglasformen på gjutpulverpåsen förväntades ge en längre tömningstid av en hängande gjutpulverpåse vilket skulle motverka ett kraftigt momentant nedslag av allt gjutpulver på stålytan.

Tidigare under projektet hade ett mindre försök med bl.a. timglasformade gjutpulverpåsar provats hos Ovako Hofors där förlängda tömningstider hos påsarna kunde mätas. Därefter beslutades att en större försöksserie med timglasformade gjutpulverpåsar skulle provas. I detta försök knöts hälften (12 st) av påsarna på en gjutplåt till timglasform, medan den andra hälften var av normal sort. Götan fick svalna under huv till rumstemperatur och därefter synades och fotograferades götets fyra sidoytor. Tömningstid för påsar mättes inte vid detta försök.

Datum: 2010-09-13  
Charge: N9535  
Stålsort: Ovako 280  
Götvikt: 4,2 ton  
Gjutpulver: Metallurgica M25 (en påse á 6 kg per göt)  
Kokill: Hade vid försök anv. 105 ggr av livslängd 130.

## **Genomförande**

Normalt hängs en gjutpulverpåse á 6 kg 30 cm ovanför inloppshålet i kokillen. Dessa färdigfyllda gjutpulverpåsar knöts på mitten med ett treslaget hampasnöre för att få en timglasform med uppskattningsvis hälften av gjutpulvret på vardera sidan om midjan. Midjan lämnade en

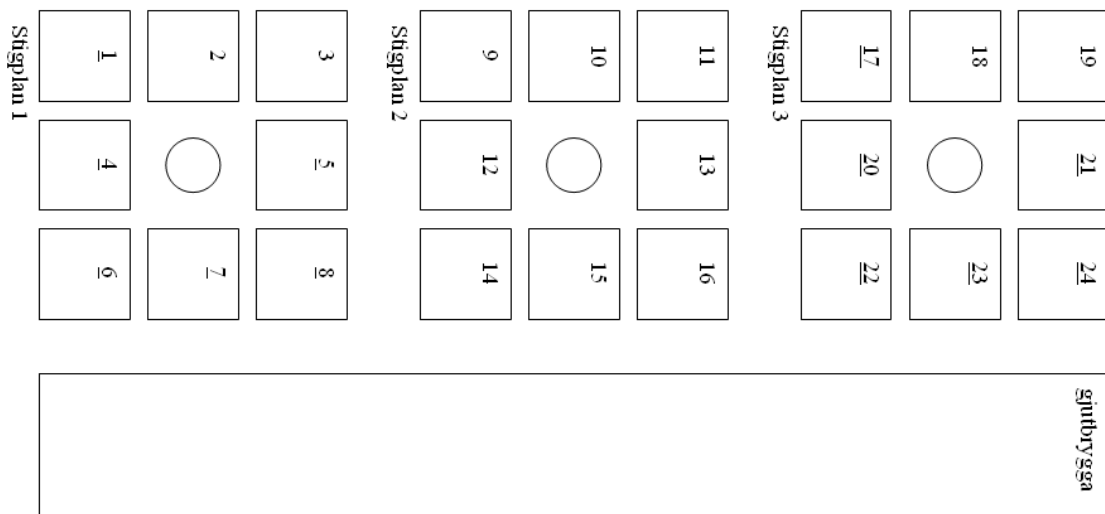
# JERNKONTORET

genomföring på ca 5 cm x 10 cm, se figur 3. De timglasformade påsarna hängdes på samma höjd och position som normalt används.

Försöket gjordes vid en gjutplåt, 24 kokiller jämnt fördelade på tre stigplan. Det tar ungefär 9 – 11 minuter att fylla ett stigplan där det första stigplanet fylls snabbast. Därför placerades de 12 timglasformade gjutpulverpåsar i första och sista stigplanet för att kunna studera inverkan av fylltid. I Figur 4 visas numrering av göt. Understrukna nummer visar påsar med timglasform.



**Figur 3.** Timglasformad gjutpulverpåse



**Figur 4.** Numrering av göt vid en gjutplåt. Understrukna nummer visar var timglasformade gjutpulverpåsar använts.

Två timmar efter gjutning strippades alla göten och placerades under en värmeisolerad huv för svalning. Ca 12 timmar senare togs göten ut från huvan och ytterligare ca fem timmar senare var göten tillräckligt svala för att kunna synas och fotograferas.

# JERNKONTORET

Samtliga göt synades och kommentarer infördes i den mall som tidigare utarbetats inom projektet. Kommentarer gjordes endast angående gjutpulverrelaterade fel på götets fyra sidor, från botten upp till boxen.

Fotografering gjordes av nedre delen av samtliga göts fyra sidoytor med digitalkamera. Belysning med 500 W bygglampa vinkelrätt mot götets sidor. Fotograferingen skedde under tak, utan dagsljus.

Samtliga kommentarer vid syning av göt finns sammanställda i Bilaga 5. Fotografier av samtliga göts sidor finns sparade.

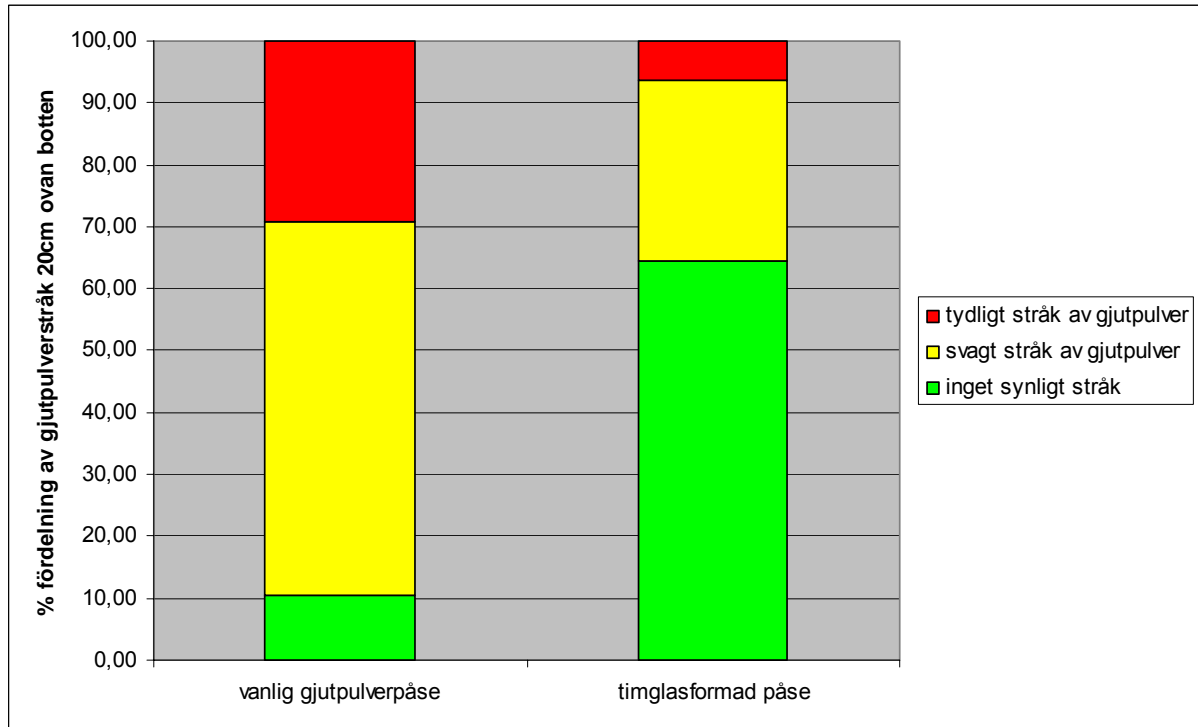
På flera göt ses ett stråk av gjutpulver intryckt i götet som går tvärs över götsidan, vinkelrätt mot götets höjd. I de fall stråket uppträder är det nästan uteslutande ca 20 cm ovanför götets botten. Bland kommentarerna i bilagan anges om stråket är svagt eller tydligt. Stråket uppträder i högre grad bland de göt där vanlig gjutpulverpåse använts. Jämförelse av detta visas i Tabell 1 och Figur 5. Anledningen till att stråket uppträder är troligen gjutpulver som stänkt ut mot götets sidor efter gjutpulvrets nedslag på stålbadytan. Denna nedslagseffekt minskas av timglasformade gjutpulverpåsar där endast hälften av gjutpulvret tillsätts momentant vid samma tillfälle. Något samband mellan gjutpulverstråk i botten av göt och götets position på stigplanet eller stigplanen sinsemellan kan ej ses.

**Tabell 1.** Fördelning av gjutpulverrelaterade fel.

|                             | Vanlig gjutpulverpåse | Timglasformad påse |
|-----------------------------|-----------------------|--------------------|
| Inget synligt stråk         | 10,4 %                | 64,6 %             |
| Svagt stråk av gjutpulver   | 60,4 %                | 29,2 %             |
| Tydligt stråk av gjutpulver | 29,2 %                | 6,2 %              |
| Summa:                      | 100 %                 | 100 %              |



# JERNKONTORET



**Figur 5.** Fördelning av gjutpulverrelaterade fel

I Figur 6 och Figur 7 visas exempel på gjutpulverstråk i botten av göt. I Figur 8 visas avsaknaden av sådant stråk. Kokillerna var ganska slitna varför götytorna i övrigt ser lite skrovliga ut.



**Figur 6.** Visar ett tydligt stråk av gjutpulverintryck över hela götets sida vid röd pil. (göt 15A)

# JERNKONTORET



*Figur 7. Visar ett tydligt stråk av gjutpulverintryck över hela götets sida vid röd pil. (göt 3A)*



*Figur 8. Visar inget stråk av gjutpulverintryck. (göt 6A)*

# JERNKONTORET

Vid syning av götytorna gjordes även kommentarer av övriga gjutpulverrelaterade fel högre upp på sidorna. Dessa fel tros dock inte ha något samband med typ av gjutpulverpåse. Felen består av små hål på götytorna, där gjutpulverklumpar gjort intryck. Gemensamt vid dessa försök är att hålen oftast och i störst antal finns längre upp på götets övre tredjedel (götet är ca 2 m högt, varav boxen är ca 20 cm djup). Flest gjutpulverhål hittades på det tredje stigplanet. Där syntes även vertikala rinningar av gjutslag från boxkanten och några dm ner.

Fortsatta försök skulle kunna bestå av upprepning av det som redan genomförts och även att ta tillvara bottenklipp (ca 50 kg) efter valsning från göt där normala och timglasformade gjutpulverpåsar använts. Bottenklippen kan kapas i skivor för att undersöka inre kvalitet med avseende på eventuella indragningar av gjutpulver. Att ta tillvara på dessa bottenklipp kräver en viss arbetsinsats då göten måste följas från gjutning till valsning för att inte blandas ihop.

Kommentarer vid syning av götytor, endast map gjutpulverrelaterade fel, är sammanfattade i Bilaga 5. Sidorna är benämnda A, B, C och D bland kommentarer och fotografier. Sidornas benämning säger ingenting om hur göten var orienterade på stigplanet eller göten sinsemellan. Benämningen finns endast för att det underlättade sorteringen vid fotografering. Bedömningen utfördes visuellt av Sölve Hagman, Ovako Hofors och Johan Lönnqvist, Swerea KIMAB. Det som benämns ”hål” motsvarar ca 1cm<sup>3</sup>. Fotografier finns av samtliga götsidors nedre del för jämförelse av bedömningar. Tecknet ”⊥” betyder vinkelrät mot götets höjd.

Timglasformade gjutpulverpåsar användes sedan i 100 efter varandra följande charger (2400 göt) hos Ovako Steel. Dessa göt följdes upp i valsverket och jämfördes med göt där vanlig gjutpulverpåse använts. Jämförelse gjordes av avtag på grund av bottenfel samt sliptid per m<sup>2</sup>. Underlaget ansågs för litet för att kunna dra några säkra slutsatser och inga tydliga skillnader kunde ses i det underlag som fanns. En av dessa charger (N9881) har undersökts med ultraljud av Ovako. Inga detekterbara defekter kunde finnas där. Stålsort var 803N som även i vanliga fall sällan visar några defekter.

## **4.1.3 Verksförsök med gjutpulvertillsats hos Ovako Steel AB. Hofors 2012-04-11**

Vid detta försök skulle en relativt ny kokillsats användas för att se hur det kunde skilja sig mot föregående försök hos Ovako där en sliten kokillsats använts.

Inga stråk av gjutpulver konstaterades på det sätt som förekom i föregående försök. Däremot svaga ränder tvärs över götet från 20 cm och uppåt på nästan alla göt. Detta kan betyda att stråk av gjutpulver uppkommer främst p.g.a. slitna kokiller där gjutpulver lägger sig i sprickor. I sådana fall ses effekten av timglaspåse på slitna kokiller, där timglasformen gör nytta. Syning av götytor efter strippning och svalning utfördes av Saman Mostafae, Ovako och Johan Lönnqvist Swerea KIMAB. Kommentarer vid syning finns sammanställda i Bilaga 6. I Figur 9 visas numrering av göt på stigplan.

Datum: 2012-04-11

Charge: V7236

Stålsort: Ovako 280

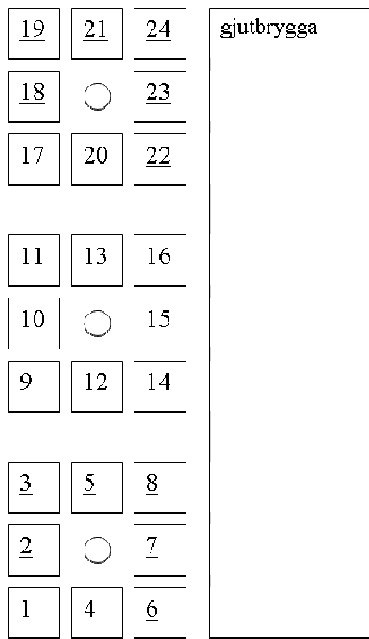
Götvikt: 4,2 ton

Gjutpulver: Metallurgica M25, en påse á 6kg per göt

Kokillsats: ca 30 ggr av livslängd ca 130 ggr



# JERNKONTORET



**Figur 9** Numrering av göt på stigplan.

**Tabell 2** Fördelning av ytdefekter på göt antal anmärkningar:

|                      | påsform   |           | stigplan |           |          |
|----------------------|-----------|-----------|----------|-----------|----------|
|                      | timglas   | vanlig    | 1        | 2         | 3        |
| <b>grop 0 - 30</b>   | <b>10</b> | <b>13</b> | <b>6</b> | <b>13</b> | <b>3</b> |
| grop 30 - 100        | 13        | 12        | 11       | 8         | 6        |
| grop 100 - 200       | 21        | 17        | 7        | 12        | 19       |
| ränder 0 - 30        | 4         | 6         | 0        | 7         | 5        |
| ränder 20-100        | 26        | 21        | 27       | 12        | 6        |
| ränder 100 - 200     | 0         | 0         | 0        | 0         | 0        |
| utbuktning 0 - 30    | 0         | 3         | 2        | 1         | 0        |
| utbuktning 20 - 100  | 2         | 3         | 4        | 0         | 1        |
| utbuktning 100 - 200 | 0         | 0         | 0        | 0         | 0        |

(cm över botten)

I Tabell 2 visas fördelningen av mindre defekter på götytor. Av denna framgår:

- Inga skillnader mellan vanlig påse eller timglas vid detta försök.
- Inga stråk av gjutpulver ses på det sätt som förekom vid föregående försök
- Ränder förekommer oftare/tydligare på tidigt stigplan där flödet från skänk är högst.
- Ränder ses tydligast från 20 cm upp till mitten av göthöjd, över hela sidan.
- Gropar ses ganska jämnt fördelat på olika stigplan och höjder på göt

# JERNKONTORET

Figur 10 och 11 visar exempel på ytdefekter.



*Figur 10* Göt 16D, grov rand med gjutpulver, 20cm ovan botten



*Figur 11* Göt 12 D1, tydliga ränder 40 – 100 cm ovan botten, 145 cm ovan en stor grop.

# JERNKONTORET

## **4.1.4 Sammanfattning av försök hos Ovako Hofors.**

Tillsats av gjutpulver vid götgjutning sker vanligen genom att man placerar en eller flera gjutpulverpåsar på botten av kokillen eller hänger gjutpulverpåsen ovanför kokillbotten. En vanlig gjutpulverpåse får en närmast momentan tömning.

Hos Ovako Hofors hängs en gjutpulverpåse ovanför inloppshålet till kokillen. Ovako önskade prova en alternativ tillsatsmetod som kan ge en förlängd tömningstid, i syfte att minska risken för inkapslat gjutpulver, få mindre gjutpulverrester på götsidorna samt en bättre täckning av stålytan med gjutpulver. Alternativ tillsatsmetod bör inte medföra extra kostnader eller ökad arbetsinsats jämfört med dagens tillsatsmetod.

Vid försöken hängdes en timglasformad gjutpulverpåse på samma position, 30 cm rakt ovanför inloppshålet. Jämförelse av vanliga och timglasformade gjutpulverpåsar visar att en förlängd tömningstid fås med timglasform. En vanlig gjutpulverpåse töms momentant medan den timglasformade påsen släpper ut hälften av gjutpulvret momentant och andra halvan av mängden under gjutningens första minut. Påsarnas tömningstid mättes genom att hänga dem i en våg under gjutning.

För att studera timglasformade gjutpulverpåsars inverkan på götyornas utseende efter strippning preparerades hälften av kokillerna vid en charge med timglasformade påsar och den andra hälften med vanliga gjutpulverpåsar. Göten låts svalna till rumstemperatur efter strippning och synades av personal från Ovako och Swerea KIMAB. I de fall en äldre, slitna kokillsats använts syntes en tydlig skillnad på götyorna då vanliga eller timglasformade gjutpulverpåsar hade använts. Ett horisontellt stråk av gjutpulverrester över hela götets bredd, ca 20 cm ovan götets botten, uppstod oftare där vanlig gjutpulverpåse använts. Försöket upprepades på en charge där icke slitna kokiller användes. Vid detta tillfälle uppstod inget stråk av gjutpulver på det sätt som konstaterades vid tidigare försök. De slitna kokillerna har ofta sprickor och ojämnheter. De tydliga gjutpulverstråken som syntes vid försök med en äldre kokillsats tros därför ha uppkommit då gjutpulver/gjutsagg lagt sig i sprickor och sedan fastnat på götet. Detta var särskilt tydligt då en större mängd gjutpulver fanns på götytan kort efter gjutstart om en vanlig gjutpulverpåse använts.

Timglasformade gjutpulverpåsar användes sedan i 100 efter varandra följande charger (2400 göt) hos Ovako Steel. Dessa göt följdes upp i valsverk och jämfördes med göt där vanlig gjutpulverpåse använts. Jämförelse gjordes av avtag på grund av bottenfel samt sliptid per m<sup>2</sup>. Underlaget ansågs för litet för att kunna dra några säkra slutsatser och inga tydliga skillnader kunde ses i det underlag som fanns. En av dessa charger (N9881) har undersökts med ultraljud av Ovako. Inga detekterbara defekter kunde noteras. Stålsorten var 803N, som också i vanliga fall sällan uppvisar några defekter.

Försöken hos Ovako Steel i Hofors visar att man minskar gjutpulverrester på botten av götytor då slitna kokillsats använts genom att använda timglasformade gjutpulverpåsar samt att man får en förlängd tömningstid av gjutpulverpåsar vilket var Ovakos önskemål.

# JERNKONTORET

## **4.1.5 Verkförsök hos Scana Steel Björneborg 2010-10-13,14**

Ett första försök genomfördes hos Scana Steel Björneborg som ett inledande försök till ett kommande huvudförsök.

Tidigare inom projektet hade gjutpulvertillsats med timglasformade gjutpulverpåsar hängande ovanför inloppshålet provats hos Ovako, Hofors med positivt resultat. Därför valdes samma tillsatsmetod att även provas hos Scana Steel Björneborg på några av deras göt som kalläggs. De göt hos Scana där försöken utfördes hade en liknande storlek och geometri som de göt som undersöktes hos Ovako Hofors.

Två försök gjordes hos Scana. Hälften av göten vid respektive försök använde upphängda gjutpulverpåsar med timglasform. I den andra hälften av varje försökscharge låg påsarna på botten som de normalt gör. Samma mängd gjutpulver (4 påsar á 3 kg) användes till varje göt. Timglasformen åstadkoms genom att knyta ett snöre på mitten av påsen med ungefär hälften av pulvret på vardera sidan. Genomföringen var ca 5x10 cm. Förhoppningen med timglasform är att den undre delen av gjutpulvret ska tömmas momentant och den övre delen tillsätts lite senare och under några sekunder. Detta ska ge ett mildare nedslag av gjutpulver på stålbadsytan.

Gjutningen vid första försöket förlöpte som planerat. Vid det andra försöket användes ett tunnare hampasnöre än i första försöket för upphängning av gjutpulverpåsar. I detta fall brann snöret upp innan påsarna öppnats. Det andra försöket får därför anses misslyckat.

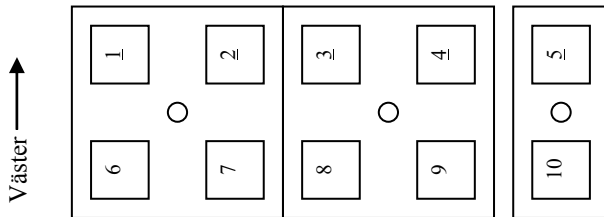
|             | Försök 1            | Försök 2                           |
|-------------|---------------------|------------------------------------|
| Datum:      | 2010-10-13          | 2010-10-14                         |
| Charge:     | E1839               | E1845                              |
| Stålsort:   | 814A                | 613B                               |
| Götvikt:    | -                   | 4,1 ton                            |
| Gjutpulver: | Intocast            | Intocast (4st påsar á 3kg per göt) |
| Kokill:     | S84, 8st : S87, 2st | S74, 12st                          |

# JERNKONTORET

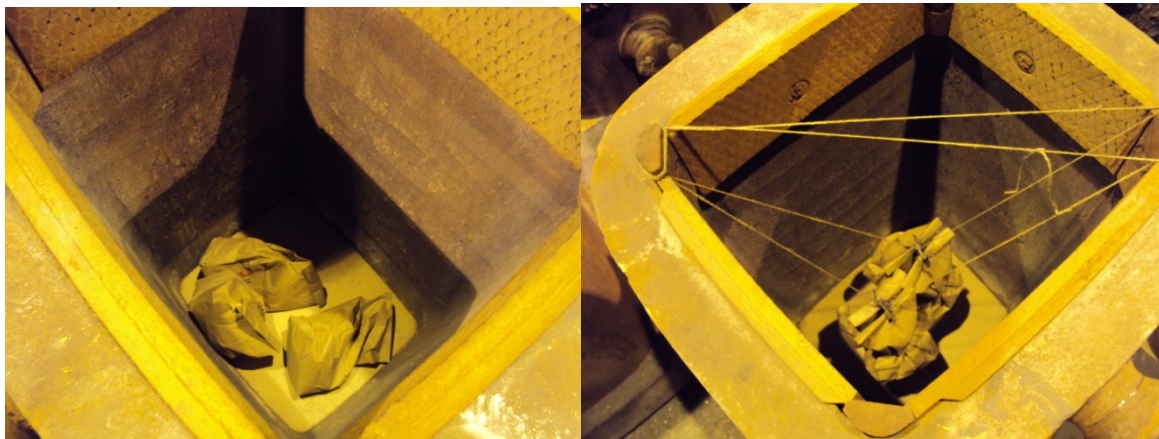
## Genomförande

### Försök 1 2010-10-13

Normalt läggs fyra gjutpulverpåsar á 3 kg på botten av dessa kokiller. Vid detta tillfälle hängdes påsarna 30 cm ovanför inloppshålet i hälften av kokillerna (1–5). I de övriga (6-10) låg påsarna på botten, se Figur 12. Kokill 1-4 samt 6-8 var av typen S84 och kokill 5, 10 av typen S87. I figur 13 visas exempel på gjutpulverpåsarernas placering innan gjutning.



**Figur 12.** Numrering av göt vid försök 1. Understrukna nummer visar var gjutpulverpåsar hängdes ovanför inloppshålet.



**Figur 13.** Påsar på botten, påsar hängande.

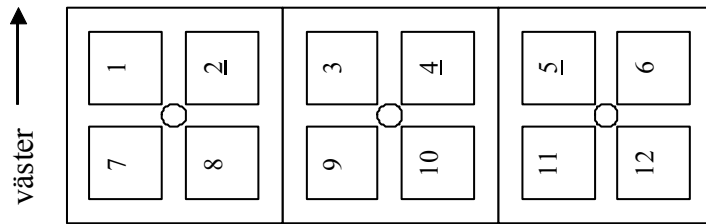
Göten var fördelade på tre stigplan med gjutstart vid kokill 1,2,6 och 7. Fylltider var 8:10, 9:40 samt 8:20 mm:ss. Flödet ur skänk var ej justerbart, någon skyddsgas användes inte. Skicket på kokillerna varierade. Nr. 3 såg väldigt sliten ut, nr 4 såg väldigt bra ut. Hur länge kokillerna använts är okänt.

Ungefär sex timmar efter gjutning strippades göten och lades utomhus för svalning utan kokill eller huva. Dagen efter synades götens ytor av Mats Söder, Scana och Johan Lönnqvist, Swerea KIMAB. Göten fotograferades och kommentarer om götyornas utseende med avseende på gjutpulverrelaterade fel antecknades enligt tidigare framtagna mall, se Tabell 5. Fotografering skedde utomhus i dagsljus vid detta tillfälle.



# JERNKONTORET

## Försök 2, 2010-10-14



**Figur 14.** Placering av kokiller vid försök 2. Upphängda påsar i kokill 1-6

Gjutpulverpåsar var upphängda på den västra sidan, kokill 1-6. De övriga påsarna låg på botten. Ett tunnare hampasnöre användes under det andra försöket än vad som använts under det första. Detta brann upp direkt efter gjutstart varför påsarna för ned innan de tömts ur. Gjutpulvret hamnade ändå mer centrerat på stålytan än för de påsar som lagts på måfå över botten. Under fyllningen av kokillerna syntes spolögat genom smält gjutpulver för några av de göt där påsarna lagts på botten.

Det var svårt att kvantifiera götytans kvalitet. Flera av kokillerna var slitna vilket gav avtryck i ytan och antas göra det svårare att särskilja gjutpulverrelaterade fel från övriga ytfel än om nya kokiller används. Något streck av gjutpulver en bit ovanför kokillens botten likt det som syntes tydligt vid försöken hos Ovako kunde inte se vid något göt bland dessa försök. Däremot syntes rinningar av gjutpulver på ytorna. Detta antas vara smält gjutpulver som rinner eller trycks upp av stålsmåltans menisk mot kokillväggen under fyllning. Ofta har dessa rinningar ett svagt horisontellt vågmönster. Rinningarna verkade förekomma i större utsträckning samt djupare och bredare bland göt där gjutpulverpåsar placerats på botten än där de varit upphängda. Där rinningarna förekommer syns de oftast på götets övre halva. Upphängda gjutpulverpåsar i centrum av götet kan ge en jämnare fördelning av gjutpulvret på stålytan än där påsarna lagts på måfå på kokillbotten. Detta kan vara en förklaring till att rinningarna tycks tydligare på göt där påsar lagts på botten och pulvret fördelats ojämnt. Figur 15 visar ett tydligt exempel på en rinning.



**Figur 15.** Tydlig rinning på göt inom rödmarkerat område.

# JERNKONTORET

På basen av detta försök beslöts att kommande försök skulle genomföras på samma sätt som under det andra försöket. Öljetter införskaffades till gjutpulverpåsar samt tåligt treslaget hampasnöre.

Kommentarer vid syning av götytor endast map gjutpulverrelaterade fel är sammanfattade nedan i Bilaga 7. Sidorna är benämnda A, B, C och D bland kommentarerna. Sidornas benämning säger ingenting om hur göten var orienterade på stigplanet eller göten sinsemellan.

Benämningen finns endast för att det underlättade sorteringen vid fotografering. Bedömningen har gjorts visuellt Mats Söder, Scana och Johan Lönnqvist, Swerea KIMAB. Sida C har ej synats då den låg nedåt.

# JERNKONTORET

## 4.1.6 Verkförsök hos Scana Steel Björneborg 2010-11-25

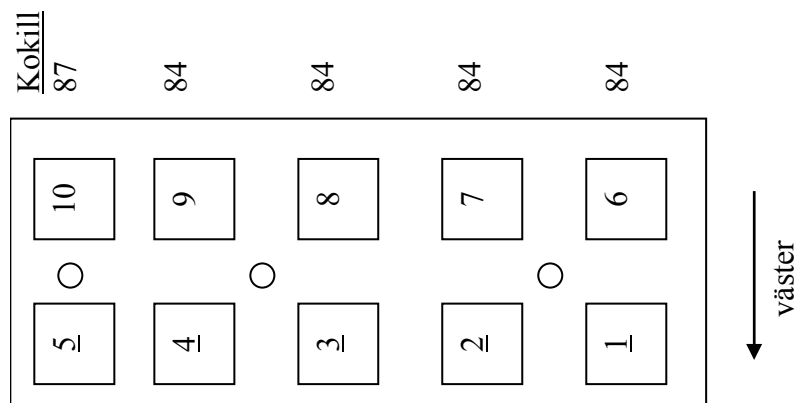
Ett andra försök med gjutpulvertillsats genomfördes 2010-11-25 med samma metod som föregående försök 2010-10-13.

Vid kokillmodell 84 samt 87 används normalt fyra gjutpulverpåsar á 3 kg, som läggs på botten. Vid detta försök hängdes samma antal påsar 30 – 40 cm ovanför inloppshålet vid hälften av kokillerna för en charge. På samtliga upphängda påsar knöts även ett snöre mitt på påsen som gav ca 5 – 10 cm bred midja. Göten ytor jämfördes efter svalning m.a.p. gjutpulverrelaterade fel. Påsar hängdes i kokill nr 1 - 5, se Figur 16.

Öljetter, ca 1 cm ytterdiameter provades att fästa i påsarna men dessa visade sig för små för ändamålet. Istället gjordes ett hål i påsen strax under den rullade kanten som upphängnings-snöret trädde genom. Detta var tillräckligt för att hålla upp påsarna. Snöret var av treslaget hampa, ca 4 mm diameter. Klenare hampasnöre har provats tidigare men brann av för tidigt.

|                |                          |
|----------------|--------------------------|
| Charge:        | E1979                    |
| Stålsort:      | Scana 542                |
| Gjuttemp stål: | 1560 °C                  |
| Gjutpulver:    | Intocast, Syntherm B 207 |
| Mjukningstemp: | 1170 °C                  |
| Smälttemp:     | 1310 °C                  |

Gjutningen vid charge E1979 gick som förväntat. Täckningen med gjutpulver var bra för samtliga göt. Inget extra gjutpulver tillsattes under fyllning. Tiden mättes från gjutstart vid varje stigplan tills att hängsnöret till påsarna gick av. Ett snöre användes för att hålla uppe alla fyra påsar. Det var tydligt när snörena gick av. Troligen var det gjutpulver kvar i påsarna vid detta tillfälle samtidigt som stålet ej nått upp till påsarnas höjd. Anta att göten är 2 m höga och fylls med ett jämnt flöde under 7 min. I så fall når stålytan upp till påsarna efter minst en minut. Tider och data visas i Tabell 3.



**Figur 16.** Kokilluppställning vid gjutning

# JERNKONTORET

**Tabell 3.** Tider uppmätta vid gjutförsök

| Kokill nr  | Kokillsort | Ungefärlig tid till brott på hängsnöre efter gjutstart | Gjuttid per stigplan |
|------------|------------|--|----------------------|
| 1, 2, 6, 7 | 84         | 17 s   | 7 min                |
| 3, 4, 8, 9 | 84         | 45s respektive 20s                                     | 9 min                |
| 5, 10      | 87         | 17s  | 7 min                |

Göten synades av Johan Lönnqvist, Swerea KIMAB och Mats Söder, Scana Steel. Samtliga göt fotograferades i dagsljus. Samma typer av fel kunde hittas på både referens och försöksgöt. Syningen finns sammanställd i Bilaga 8.

Ett tydligt fenomen på götytorna har kallats rinningar, dessa kunde även ses vid föregående försök 2010-10-13. Rinningarna liknar grunda intryck i göten som om gjutpulverslagg runnit ned för götytan vid fränkrympning. Dessa s.k. rinningar ses oftast på götets övre halva. Antingen längs ett hörn eller mitt på en sida. Oftast går de ända upp till boxens nederkant. Rinningarna är smalast nedtill, ibland har de en svagt vågig yta. Möjligen är dessa rinningar oftare förekommande bland referensgöt. Dessa gropar kan liknas vid det som i ”Catalogue of Ingot Defects” [21] kallas Longitudinal scoring. Detta uppkommer p.g.a. hög smälthastighet och/eller låg viskositet i gjutslag. Gjutpulverrester på kokillvägg. Figur 17 visar exempel på rinningar.



**Figur 17.** Rinningar på göt

Ett annat fenomen är små gropar orsakade av gjutpulver. Dessa gropar är typiskt 0,5 – 1 cm<sup>3</sup> och återfinns främst på götens nedre halva. Groparna ligger oftast tätare in mot mitten av sidorna och avtar ut mot kanterna. Groparna kan liknas vid koppärr till sin form, ganska runda. Antalet gropar och dessas storlek är större bland referensgöten. Dessa typer av gropar uppmärksammades inte vid föregående försök 2010-10-13 då de inte förkom i samma utsträckning. Dessa gropar kan liknas vid det som i ”Catalogue of Ingot Defects” [21] kallar Trapped casting flux och uppkommer av bl.a. olämplig gjutpulversort och kvalitet eller gjutpulverrester från kokillvägg vid tidigare gjutning. Figur 18 visar exempel på gropar.

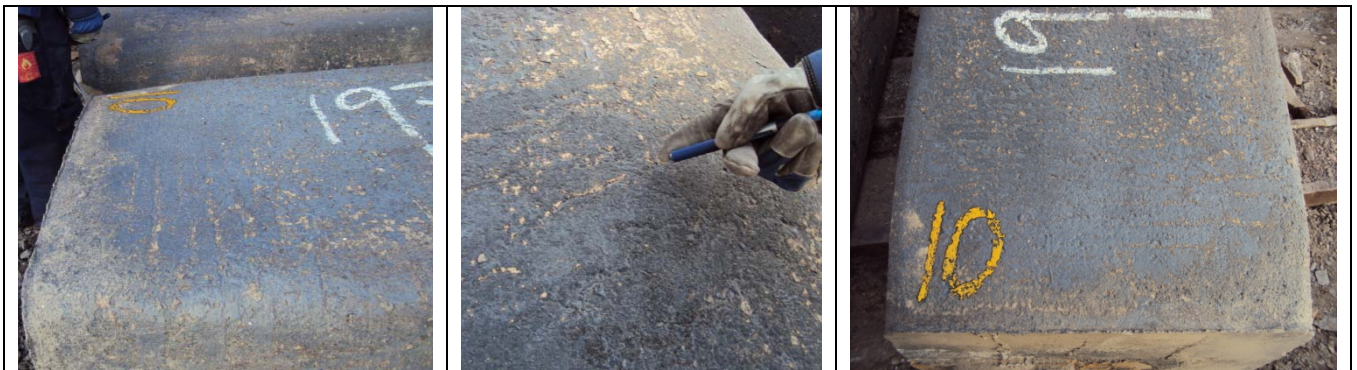


# JERNKONTORET



**Figur 18.** Gropar i göt

Vid ett par av göten (nr. 5 och 10) ses parallella veck mitt på en av götens sidor. Dessa veck är svagt vågformade och ses på götens nedre halva. Det är oklart varför dessa veck uppkommit. Göt nr 5 och 10 utgör det sista stigplanet. Dessa gropar kan liknas vid det som i ”Catalogue of Ingot Defects” [21] kallar Transverse scoring och uppkommer p.g.a. felaktig gjuthastighet, kall kokill och/eller olämpligt gjutpulver. Figur 19 visar dessa veck.



**Figur 19.** Veck på göt

Ytterligare en charge E 1975 var tänkt att undersökas vid detta tillfälle. Tyvärr märktes inte göten efter gjutning. Vid detta s.k. blindtest var det omöjligt att särskilja vilka göt som var försöks eller referens. Uppenbart var att denna charge hade en betydligt jämnare yta på göten jämfört med charge E1979. Det var olika stålsort vid dessa charger men gjuttemperaturen skiljde endast  $10^{\circ}\text{C}$ . ( $T_{Ch1975}^{gjutning} = 1570^{\circ}\text{C}$ , stål: 823C), ( $T_{Ch1979}^{gjutning} = 1560^{\circ}\text{C}$ , stål: 542). I övrigt var det samma typ av kokill och gjutpulver. Likvidustemperaturen är  $65\text{-}70^{\circ}\text{C}$  lägre än gjuttemperaturen för båda stålsorterna. Därför kan inte heller olika likvidustemperatur vara en orsak till denna skillnad av ytornas utseende. Denna skillnad tros inte förklaras av skicket på kokillerna. Även göten vid försök 2010-10-13 har betydligt mindre gropar än charge E1979.

Vid kommande försök planeras en 9 kg påse per kokill att användas. Påsarna kommer ha en stor öljet och samma sorts gjutpulver, B207.

Scana Steel Björneborg använder idag Intocast B207 till samtliga stålsorter. Den innehåller ca 4 % kol. Intocast har även ett snarlikt gjutpulver, B207/12, där  $C_{\text{tot}} = 12\%$ . Detta borde ge en högre smälttemperatur på pulvret och smälta långsammare vilket i sin tur skulle kunna motverka s.k. rinningar. Detta kan vara av intresse att prova i framtiden.

# JERNKONTORET

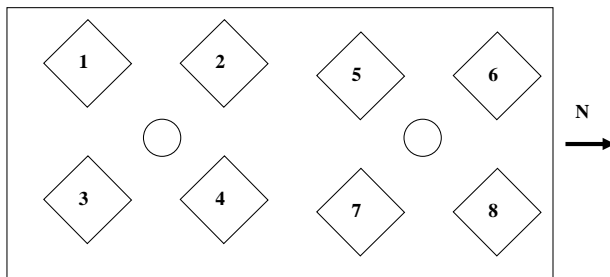
Kommentarer vid syning av götytor endast m.a.p. gjutpulverrelaterade fel är sammanfattade i Bilaga 8.

## 4.1.7 Verkförsök hos Scana Steel Björneborg 2011-01-26, 27

Vi detta försök jämfördes normal tillsatsmetod med fyra gjutpulverpåsar á 3 kg liggande på botten av kokill med en gjutpulverpåse á 9 kg, upphängd ca. 30 cm ovanför inloppshålet med eller utan midja. Samma sorts gjutpulver användes vid samtliga försök. Försök gjordes vid tre olika charger, E2159, E2163 och E2164.

### Charge E2159

Charge: **E2159**  
Stål: 442B  
Gjutpulver: Syntherm B207, Intocast  
Kokiller: 8st S76  
Gjutgrop bredvid transformatorbyggnad.



Figur 20 Numrering av göt vid charge E2159

Tabell 4 Charge E2159

| Kokill | Gjutpulverpåse   | Extra tillsatt      | Kommentar  |
|--------|------------------|---------------------|--|
| 1, 2   | 1 x 9kg upphängd | Enstaka påsar (1kg) | Tydligt spolöga, ca 15-20cm diam.  |
| 3, 4   | 4 x 3kg botten   | -                   | Täckning ok  |
| 5, 6   | 4 x 3kg botten   | Enstaka påsar (1kg) | Tydligt spolöga, ca 15-20cm diam.  |
| 7, 8   | 1 x 9kg upphängd | Enstaka påsar (1kg) | Tydligt spolöga, ca 15-20cm diam. Påsar upphängda i våg. Påsarna tömdes momentant 10 – 11s efter gjutstart. Påsarna öppnades i botten. |

Gjuttid stigplan 1: 09:30 mm:ss      Gjuttid stigplan 2: 13:00 mm:ss

Gjutningen vid charge E2159 gick utan stopp eller andra missöden. Gjutpulverpåsar som var upphängda tömdes innan snöre brann av. Påsarna hängdes ca 30 cm ovanför inloppshål. Ingen påse hade timglasform vid denna charge.

Enligt operatören är det brukligt att tillsätta enstaka 1 kg gjutpulverpåsar under fyllning av dessa typer av kokiller.

# JERNKONTORET

Kommentarer vid syning av göt hos Scana Charge E2159 visas i Bilaga 9.

## Charge E2163

Charge: **E2163**  
Gjutpulver: Syntherm B207, Intocast  
Kokiller: S84, S87  
Gjutgrop bredvid i södra änden av gjuthallen

**Tabell 5** Charge E2163

| Kokill     | Gjutpulverpåse       | Extra tillsatt | Kommentar  |
|------------|----------------------|----------------|--|
| 1, 2, 7    | 1x9kg upphängd       | En st 1kg      | Spolöga tydligt vid start efter gjutning   |
| 6          | 1x9kg botten         | En st 1kg      | Spolöga tydligt vid start efter gjutning   |
| 3, 4, 8, 9 | 1x9kg upphängd midja | En st 1kg      | Spolöga ej synligt strax efter gjutstart men framträdde efter några minuters gjutning        |
| 5          | 1x9kg upphängd midja | Inget extra    | Inget spolöga synligt. Våg ovanpå kokill. Påse tömdes momentant 15s efter gjutstart          |
| 10         | 1x9kg upphängd midja | Inget extra    | Inget spolöga synligt. Våg ovanpå kokill. Påse öppnades 16s efter gjutstart, tömd 7s senare. |

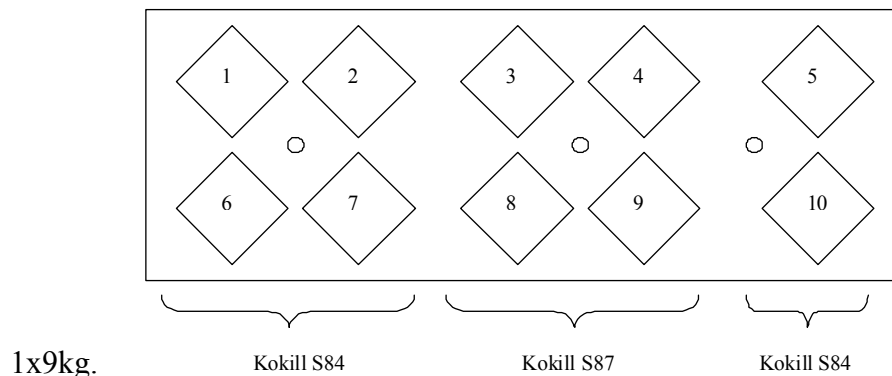
Gjuttid stigplan 1: ca 10 min

Gjuttid stigplan 2: ca 10 min

Gjuttid stigplan 3: ca 6 min

Gjutningen gick bra, inga fel eller fördröjningar. Märkning av göt vid strippning gjordes endast av göt nr 5 och 10. Övriga göt omärkta. De kan dock särskiljas mellan stigplan då det varit olika kokilltyper.

Tre av fyra göt vid 1:a stigplanet (S84) hade upphängda påsar utan midja, 1x9 kg.  
Fyra av fyra göt vid 2:a stigplanet (S87) hade upphängda påsar med midja, 1x9 kg.  
Två av två göt vid 3:e stigplanet (S84) hade upphängda påsar med midja,



**Figur 21.** Numrering av göt vid charge E2163

Kommentarer vid syning av göt hos Scana Charge E2163 visas i Bilaga 9.

# JERNKONTORET

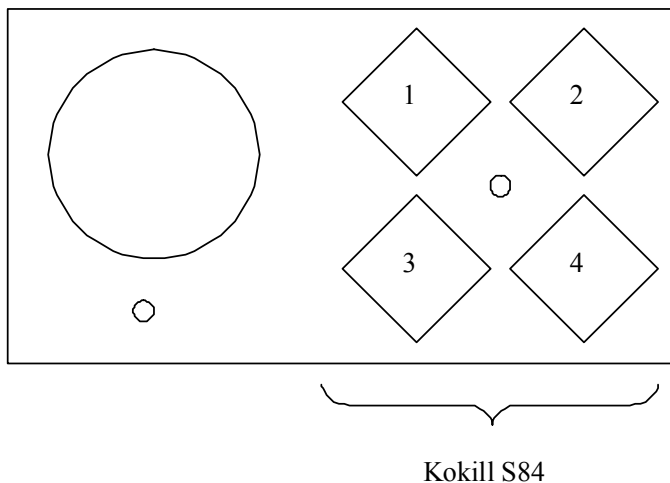
## Charge E2164

Charge: **E2164**  
Stål: 218A  
Gjutpulver: Syntherm B207, Intocast  
Kokiller: S84, stigplan 2 av 3.  
Gjutgrop bredvid i södra änden av gjuthallen

**Tabell 6** Charge E2164

| Kokill | Gjutpulverpåse        | Extra tillsatt | Kommentar                                |
|--------|-----------------------|----------------|--|
| 1      | 4x3kg botten          | ?              | Spolöga tydligt vid start efter gjutning |
| 3      | 4x3kg botten          | ?              | Ej möjligt att se                        |
| 2      | 1x9kg upphängd, midja | En st 1kg påse | Spolöga tydligt, våg ovanpå kokill       |
| 4      | 1x9kg upphängd, midja | En st 1kg påse | Spolöga tydligt, våg ovanpå kokill       |

Påse vid kokill 2 öppnades 10s efter gjutstart och var tömd 28s senare.  
Påse vid kokill 4 öppnades 14s efter gjutstart och var tömd 34s senare.



**Figur 22.** Numrering av göt vid charge E2164



# JERNKONTORET



**Figur 23.** Uppställning med vågar vid charge E2164

Kommentarer vid syning av göt hos Scana Steel Björneborg, charge E2164 visas i Bilaga 10.

E2159:

- Spolögat var tydligt vid samtliga göt under fyllnadsförloppet, oavsett om 4x3 kg på botten eller 1x9 kg upphängd gjutpulver användes.
- Koppighet, mindre gropar uppträder på nedre halvan av samtliga göt oavsett gjutpulvertillsats
- Rinningar och svaga s.k. ripplemarks på götens övre halva förekommer i varierande omfattning och utseende oavsett gjutpulvertillsats.

E2163:

- Spolögat var till en början efter gjutstart mindre framträdande bland göt där 1x9 kg upphängd gjutpulverpåse med timglasform använts. Spolögat framträdde efter en stunds gjutning ändå och även för dessa göt tillsattes extra gjutpulver.
- Koppighet, mindre gropar uppträder på nedre halvan av samtliga göt oavsett gjutpulvertillsats
- Rinningar på götens övre halva förekommer i varierande omfattning och utseende oavsett gjutpulvertillsats. Rinningarna ses i mindre omfattning för göt 5 och 10 som fylldes sist, då även flödet från skänk var lägst

E2164:

- Spolögat var till en början efter gjutstart mindre framträdande bland göt där 1x9 kg upphängd gjutpulverpåse med timglasform använts. Spolögat framträdde efter en stunds gjutning ändå och även för dessa göt tillsattes extra gjutpulver.
- Inget av göten har någon uttalad koppighet/gropighet. Oklart varför då det förekommit bland samtliga tidigare försök.
- Rinningar förekommer bland samtliga fyra göt men i mindre utsträckning för göt 2 och 4 där 1x9 kg påse upphängd med midja använts.

Operatörerna tillsatte efter behov extra gjutpulver under fyllnadsförloppet. Det var överlag samma mängd (1 kg) extra gjutpulver för de allra flesta göten bland dessa försök.

# JERNKONTORET

Götens sidoytor efter strippning visar ingen tydlig skillnad beroende på tillsatsmetod av gjutpulver. Ofta ses en koppig, smågropig yta på götens nedre halva och rinningar och svaga ripplemarks på den övre halvan.

1 st gjutpulverpåse á 9 kg upphängd ovanför inloppshålet eller 4 st påsar á 3 kg verkar ge likartad täckning under fyllnadsförloppet och utseende på götets ytor efter strippning.

Rinningar på götens övre halva tros ha uppkommit av smält gjutpulver, slagg som dras uppåt under fyllnadsförloppet. Dessa rinningar samt svaga s.k. ripplemarks tyder på att ett mindre lättsmält gjutpulver är mer lämpat vid dessa stålsorter och gjuttemperaturer. Ett mindre lättsmält gjutpulver ger även en lägre gjutpulverförbrukning.

Samtliga göt fotograferades.

Gjutpulverpåsar á 9 kg med en st öljet var enkelt att hänga på plats i kokillen. Ett starkt hampasnöre knöts i en ögla genom påsens öljet och hängdes diagonalt över två boxkilar. Om snöret var för långt lindades det ett extra varv runt en av kilarna. Se **figur 24** där rest av snöre sitter kvar i boxkilar.



*Figur 24. Visar hur gjutpulverpåse hängts över boxkilar.*

# JERNKONTORET

## **4.1.8 Sammanfattning av försök hos Scana Steel Björneborg**

Scana Steel Björneborg var projektets andra målverk. Scana ville prova att använda en liknande tillsatsmetod av gjutpulver som hos Ovako Hofors. Även kokillgeometri och götvikt var liknande hos de båda målverken. Vanlig tillsatsmetod av gjutpulver skiljer sig mellan målverken. Scana använder normalt fyra st gjutpulverpåsar á 3 kg, som läggs på botten i kokillen för dessa typer av kokiller.

Vid ett första försök hängdes fyra st timglasformade gjutpulverpåsar ca 30 cm ovanför kokillbotten för hälften av kokillerna och vanlig tillsatsmetod i de övriga kokillerna. Götytorna synades av personal från Scana och Swerea KIMAB efter att göten strippats och svalnat till rumstemperatur. Något horisontellt stråk av gjutpulverrester på götyornas nedre del såsom hos Ovako kunde inte ses. Däremot ses andra defekter på götytorna hos Scana som tydliga rinningar av gjutslag på götens övre halva. Rinningarna har ofta ett svagt horisontellt vågmönster och tros bero på gjutslag som tryckts upp av stålsmältans menisk under fyllnadsförloppet. Dessa rinningar förekommer i något större utsträckning bland försök med vanlig tillsatsmetod. Upphängda gjutpulverpåsar antas ge en jämnare fördelning över hela överytan. Upprepning av detta försök visade liknande utseende på götytor där rinningar förekommer i något större utsträckning för Scanas vanliga tillsatsmetod.

Vid nästkommande försök jämfördes vanlig tillsatsmetod med en gjutpulverpåse á 9 kg, med och utan timglasform, upphängd 30 cm ovan inloppshålet. Här visade upphängd gjutpulverpåse á 9 kg med timglasform en förlängd tömningstid samt en bättre täckning av överytan under fyllnadsförloppets första minuter jämfört med gjutpulverpåsar på botten och upphängd gjutpulverpåse utan timglasform. Vid detta försök förkom rinningar på götytor i samma utsträckning oavsett metod för gjutpulvertillsats.

Försöken hos Scana i Björneborg visar att en timglasformad upphängd gjutpulverpåse á 9 kg ger en bättre täckning av överytan under fyllnadsförloppets första minuter än med vanlig tillsatsmetod. Det ger även en förlängd tömningstid vilket tros minska risken för inkapsling av gjutpulver. Gjutpulvret som används hos Scana Steel Björneborg anses vara för lättsmält för gjuttemperaturer som använts vid dessa försök.

Scana Steel Björneborg avser att, som en följd av projektresultaten, införa upphängd gjutpulverpåse istället för den nuvarande placeringen på botten.

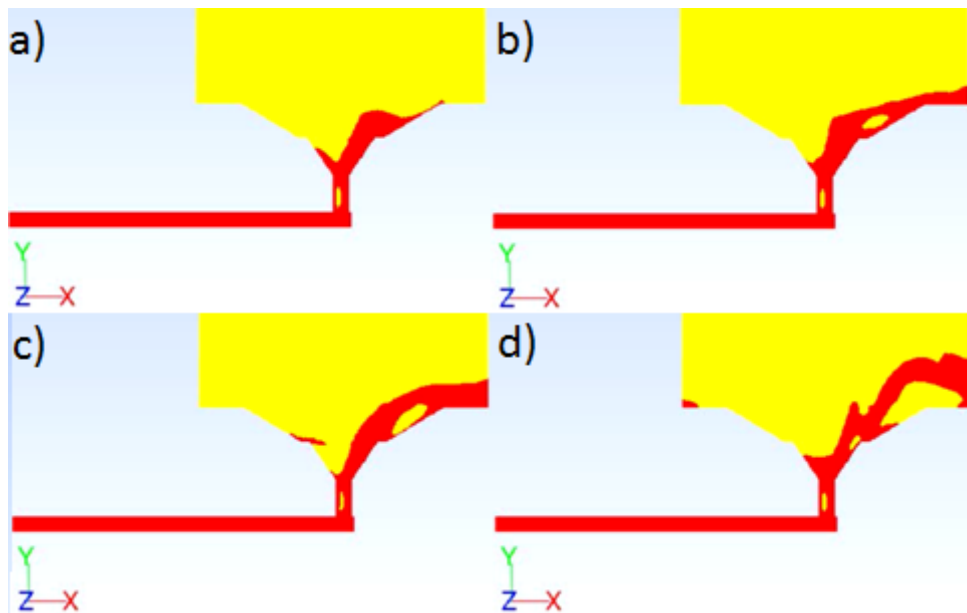
# JERNKONTORET

## 4.2 Driftsförsök för kvantifiering av effekt av swirl (WP2)

Driftsförsök utfördes under två separata kampanjer som beskrevs ovan. Den stora skillnaden var att under kampanj 1 användes en slutsten i gjutsystemet som hade en större vinkel. Mer specifikt var vinkeln 62 grader i kampanj 1 (Slutsten A) och 52 grader i kampanj 2 (Slutsten B).

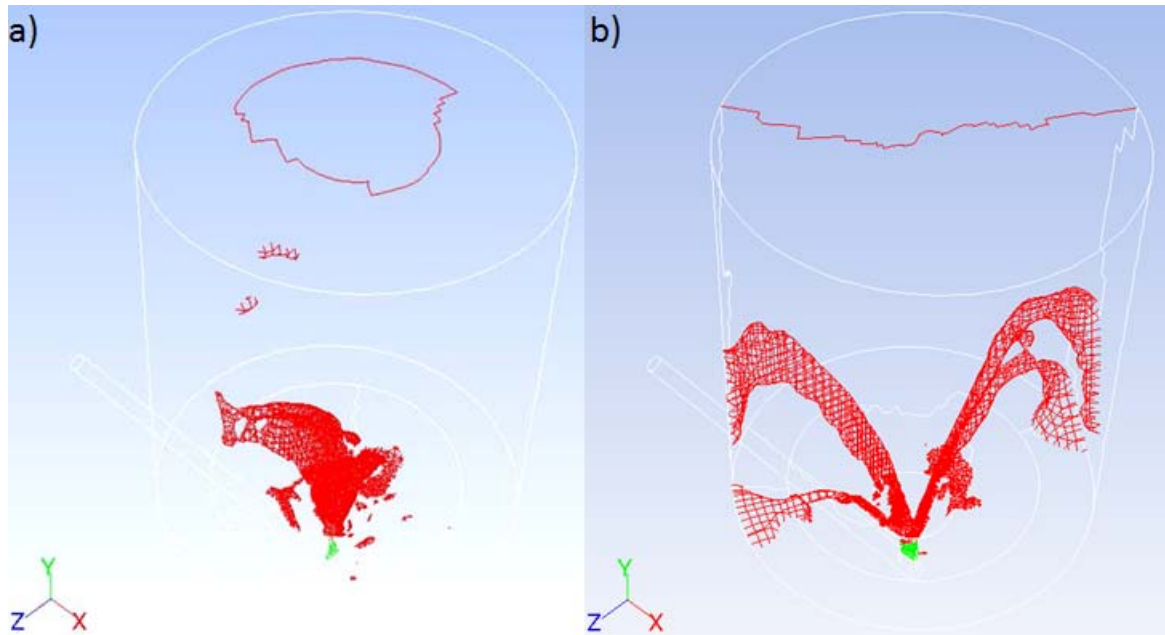
### 4.2.1 Slutsten A, Kampanj 1

I den kampanj 1 användes slutsten A, som hade en utloppsvinkel på 62 grader. Både de experimentella filmningarna samt simuleringarna visar att det inkommande ståflödet kommer i kontakt med kokillväggarna. Både försök och simuleringar utfördes för fall med och utan användande av swirlblad. Vid simuleringarna användes en reducerad modell av ingjutsystemet, som endast innefattade delar av den horisontella kanalen och inte gubben. Simuleringar för ett fall utan användande av ett swirlblad för olika inloppshastigheter visas i Figur 25. Resultaten visar att vid den inledande fyllningen leds stålet mot kokillväggen. I Figur 26 visas simuleringresultat vid fyllning med en inloppshastighet på 2.6 m/s och två olika placeringar av swirlbladet. Även i fallet med swirlblad syns att stålet kommer att slå i kokillväggarna vid den inledande fyllningen. Överlag visar resultaten att användandet av en inloppsvinkel på 62 grader orsakar en stor kontakt med kokillväggen. Detta kan leda till skador på kokillen mm, vilket gjorde att det beslutades att inloppsvinkeln i försöken i kampanj 2 skulle minskas.



**Figur 25.** Stålets kontakt med kokillväggen för olika inloppshastigheter: a) 2m/s, b) 2.3m/s, c) 2.45m/s och d) 2.6m/s. Simulering utan användande av swirlblad.

# JERNKONTORET



**Figur 26.** Stålets kontakt med kokillväggen för en inloppshastighet av 2.6 m/s och för olika placeringar av swirlblad: a) parallellt och b) vertikalt.

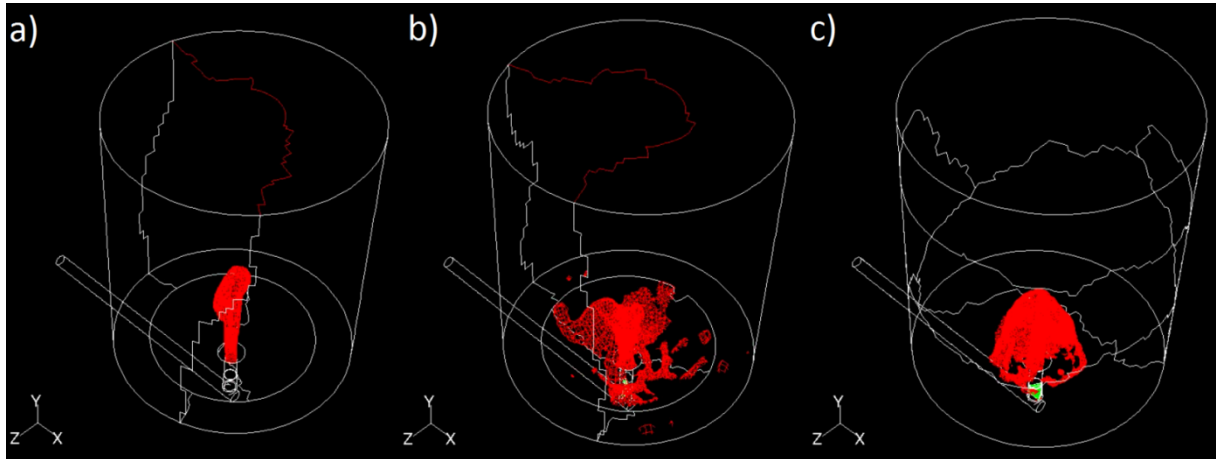
Försöken under kampanj 1 visade att stålets kontakt med kokillväggarna orsakade brända kokiller samt defekter i göten i de områden där stålet hade träffat kokillväggarna. Ytterligare detaljer gällande dessa försök finns redovisade i en rapport av Svensson [22].

## 4.2.2 Slutsten B, Kampanj 2

Resultaten i kampanj 1 visade att det var praktiskt möjligt att genomföra försök med placering av swirlblad i kanalen. Dock uppstod problem med uppstänk av stål, vilket inte härrörde till swirlbladet utan den relativt stora inloppsvinkeln på slutstenen. Inför kampanj 2 genomfördes därför ett antal förändringar gällande den experimentella uppställningen. Först minskade inloppsvinkeln i slutstenen från 62 grader till 52 grader. Därefter minskades även höjden på den vertikala delen av gjutkanalen. Vid simuleringarna användes dels en reducerad geometri av gjutsystemet som för försöken under kampanj 1. Dessutom genomfördes simulering för det kompletta ingjutssystemet inklusive gubben. Figur 27 visar resultat med användande av en reducerad geometri och en inloppshastighet av 2.6 m/s. Dessutom redovisas data för tre fall: a) utan swirl, b) swirl med ett parallellt placerat swirlblad och c) swirl med ett horisontellt placerat swirlblad. Överlag syns det att fyllningsförhållandena har förbättrats i fallet med en inloppsvinkel på 52 grader jämfört med en inloppsvinkel på 62 grader (kampanj 1).

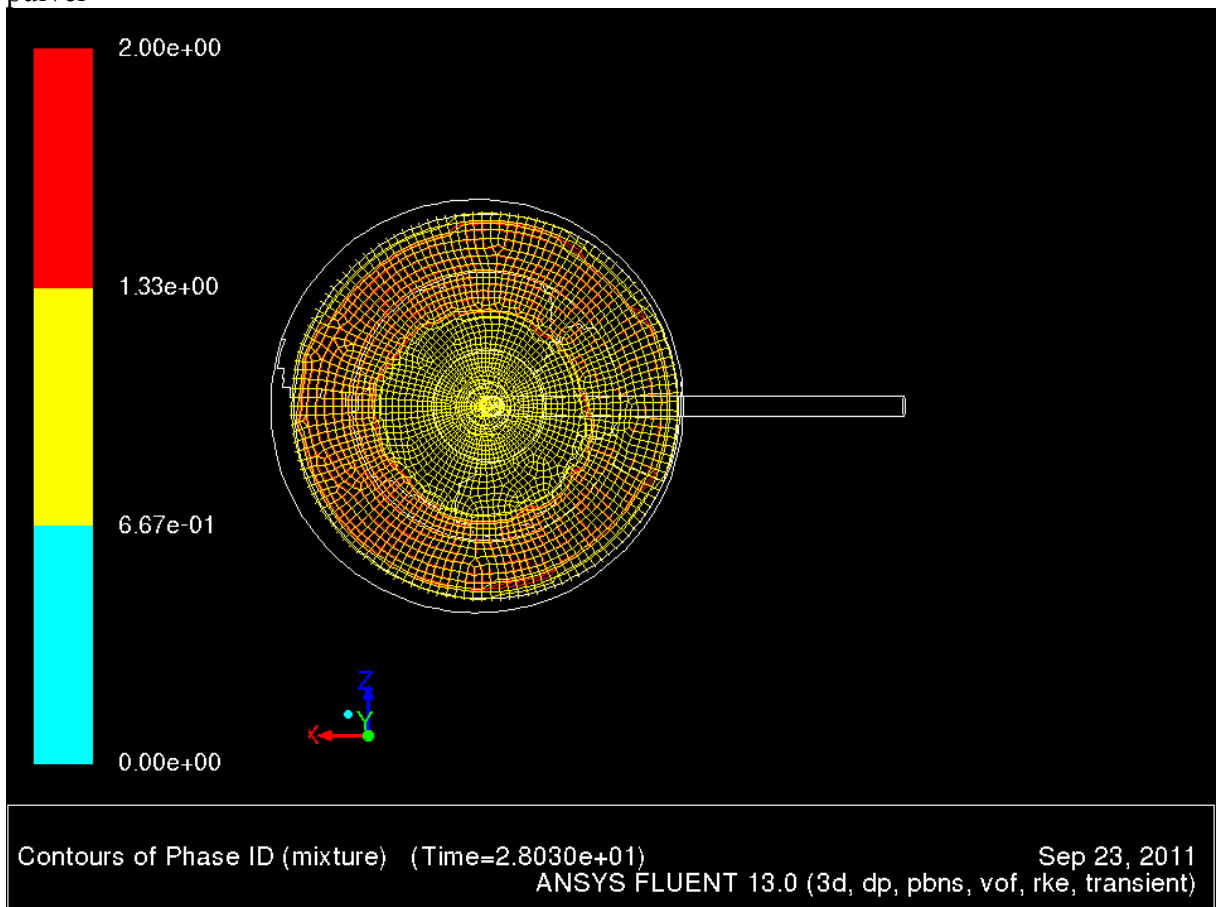


# JERNKONTORET



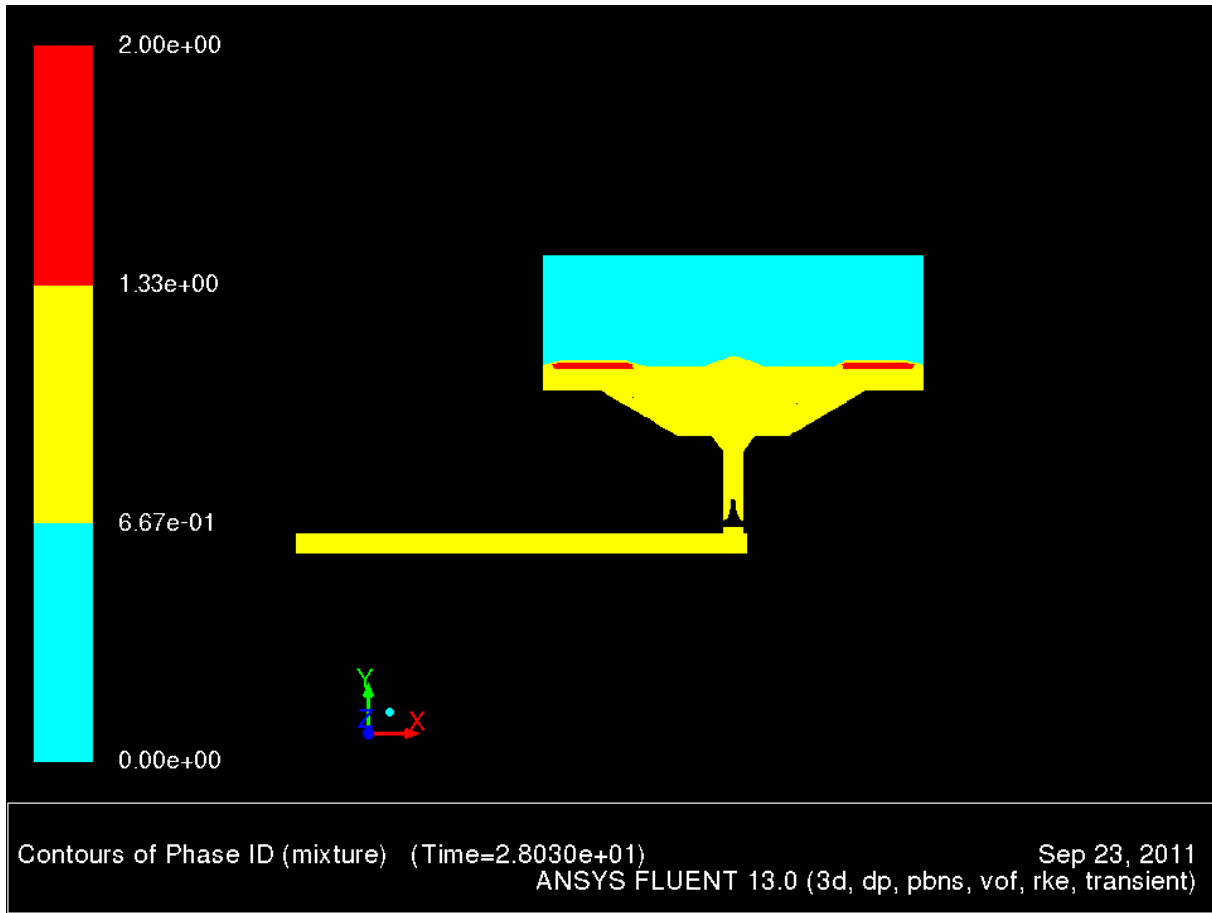
**Figur 27.** Kontur av stål för simuleringar vid en reducerande geometri och en inloppshastighet på 2.6 m/s: a) utan swirl, b) swirl med ett parallellt placerat swirlblad och c) swirl med ett vertikalt placerat swirlblad

Fördelningen av gjutpulvret under den inledande fyllningen är också av intresse att studera. Dessutom kan denna distribuering också observeras med hjälp av en kamera där speciellt det varmare stålet syns tydligt. Figur 28 och Figur 29 visar distributionen av gjutpulver



**Figur 28.** Fördelning av gjutpulver i kokill vid försök med en parallell placering av ett swirlblad. Bilden visar en situation sedd uppifrån där gult visar stål och rött visar gjutpulver.

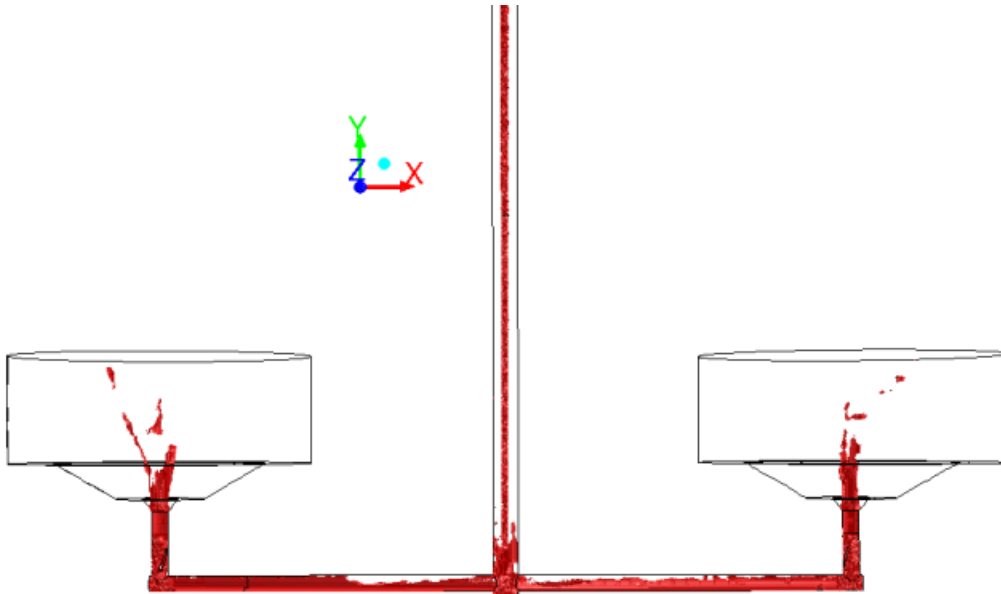
# JERNKONTORET



**Figur 29.** Fördelning av gjutpulver i kokill vid försök med en parallell placering av ett swirlblad. Bilden visar en situation sedd från sidan där gult visar stål och rött visar gjutpulver.

Försöken under kampanj simulerades även genom att ta hänsyn till hela ingjutningssystemet. Figur 30 visar resultat för ett parallellt placerat swirlblad. Denna försöksuppställning leder till uppstänk av ståldroppar. Simuleringar av ett vertikalt placerat swirlblad visar ett visst uppstänk av stål mot kokillväggen. Dock är uppstänket mindre än för försöken under kampanj 1 med en slutsten som hade en större inloppsvinkel.

# JERNKONTORET



**Figur 30.** Simulering av stålkonturer vid en tidpunkt 1.9 s från gjutstart.

Baserat på simuleringarna av slutstenen med en 52 graders inloppsvinkel valdes slutligen en parallell placering av ett swirlblad för genomförande av försök vid Scana Stavanger. Till exempel framkom att den simulerade fördelningen av gjutpulver stämde bra med de experimentella observationerna.

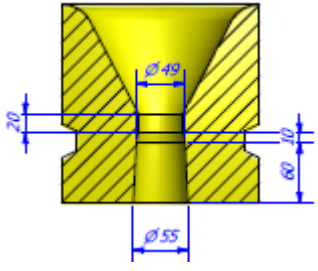
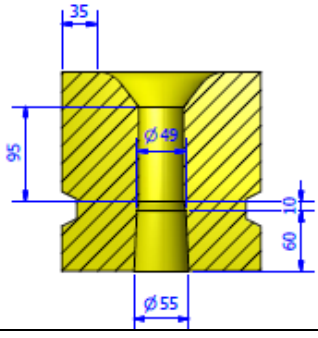
## **4.2.3 Summering av driftsförsök**

Resultaten från försöken i kampanj 1 och 2 visas i Tabell 7. Som nämnts tidigare var vinkeln 62 grader i kampanj 1 (Slutsten A) och 52 grader i kampanj 2 (Slutsten B). Försöken med den större inloppsvinkeln (62 grader) orsakade skador på både kokill och göt. Dessa skador eliminerades helt under kampanj 2, då inloppsvinkeln i slutstenen hade minskats till 52 grader. Dessutom var strippningen av göt från kokill svår i kampanj 1, troligen beroende på att stål frusit fast på kokillväggen i början av fyllningen. Resultaten i båda kampanjerna visar att fyllningstiden ökar med användande av swirl i jämförelse med referenscharger. Överlag ökar tiden från 390 s till 510 s i kampanj 1 och från 375s till 421-489 s i kampanj 2. Orsaken är att användningen av ett swirlblad bromsar upp fyllningen genom att swirlbladet fungerar som ett hinder. Detta är dock positivt bl.a. beroende på att gjutkanalerna då kan fyllas mer i de fall swirlblad används, vilket minskar gasinnehållet i stålet.



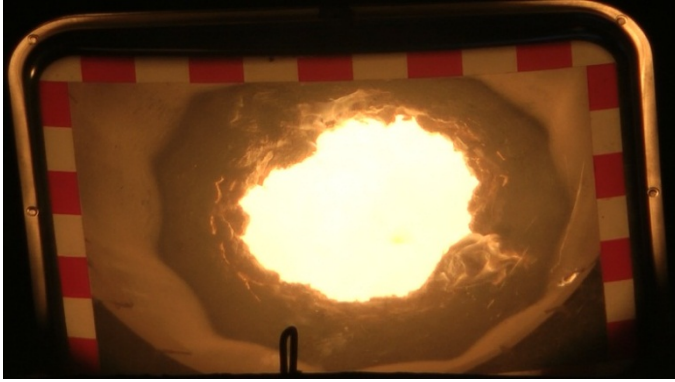
# JERNKONTORET

**Tabell 7.** Jämförelse av resultaten i kampanj 1 (Slutsten A) och kampanj 2 (Slutsten B).

|  | Slutsten A  | Slutsten B  |
|--|---|---|
| Geometri inkluderande placering av swirlblad |  |  |
| Implementering av swirlblad                  | Ja  | Ja  |
| Inloppsvinkel (°)                            | 62  | 52  |
| Fyllningstid utan swirl (s)                  | 390   | 375   |
| Fyllningstid med swirl (s)                   | 510   | 421-489   |
| Gjutpulverförbrukning                        | Normal  | Normal/mindre   |
| Gjutpulverdistribution                       | Vid ena sidan av kokillen   | Ringformad  |
| Strippning                                   | Svårt   | Lätt  |
| Väggsador                                    | Ja  | Nej   |
| Götsador                                     | Ja  | Nej   |
| Ytdefekter                                   | Ja  | Nej   |
| Spolöga                                      | Flyttar på sig  | I kokillcentrum   |
| Inneslutningsstorlek (µm)                    | 0-10  | 0-24  |
| Inneslutningssammansättning                  | O,Al,Si,Mg,Ca   | C,O,F,Mg,Al,Si,S,Ca,Ti,Cr,Mn,Fe,Ni,Tl   |
| Inneslutningsmorfologi                       | Undersöktes ej  | Sfärisk(rund), utsträckt, flerfasig   |
| Filmning                                     | Ja  | Ja  |

Försöken i kampanj 1 med den större inloppsvinkeln på slutstenen leder till att stålet slår in i kokillväggen samt att gjutpulvret lägger sig på ena sidan i kokillen. Dessutom kan man se från videoupptagningar och simuleringar att spolögat (dvs. stål) flyttar på sig under fyllningen på grund av de instabila fyllningsförhållanden som råder. Vid försöken i kampanj 2 med en mindre inloppsvinkel fås en stabilare gjutning. Spolögat återfinns endast i mitten av kokillen och gjutpulvret är spritt kring detta spolöga, vilket visas i Figur 31. Det bör påpekas att detta spolöga är en hump som lyfter sig från stålytans basnivå och som på detta sätt förflyttar gjutpulvret till området utanför spolögat.

# JERNKONTORET



*Figur 31. Bild över spolöga samt det omkringliggande gjutpulvret vid den initiala fyllningen med användandet av ett swirlblad.*

Resultaten visar också att en skillnad gällande inneslutningar observerades mellan kampanj 1 och 2. I kampanj 1 var inneslutningarna mestadels mindre än 10 mikrometer och innehöll elementen O, Al, Si, Mg och Ca. I kampanj 2 förekom även inneslutningar upp till 24 mikrometer och med en sammansättning som var mer komplex än i kampanj 1. Det bör påpekas att denna jämförelse är kvalitativ. Inom ramen för projektet fanns inte utrymme att bestämma skillnaderna kvantitativt.

Slutligen bör påpekas att det var en tendens att gjutpulverförbrukningen minskade i jämförelse med fyllning utan användande av swirlblad under kampanj 2.

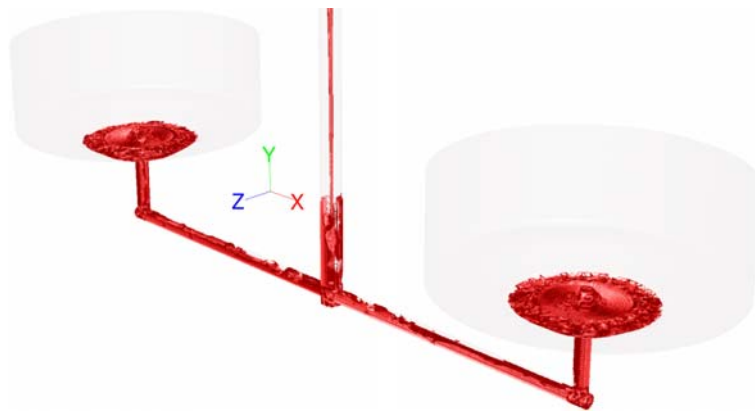
## **4.3 Matematisk modellering för framtagning av ny standard (WP3)**

### **4.3.1 Flödesförhållanden**

Flödesförhållandena under fyllning av göt är viktiga att studera eftersom flödet kan påverka förekomsten av exogena inneslutningar i slutprodukten. Dels kan inneslutningar bildas genom erosion och reaktioner med kanaltegel. Dessutom kan inneslutningar bildas genom reaktioner mellan gjutpulver och stål under speciellt den initiala fyllningen, då mycket turbulenta flödesförhållanden råder. Det är dock svårt att studera flödesförhållandena genom experiment i industriell skala. Därför utgör matematisk modellering en pedagogisk väg att visualisera flödesförhållandena.

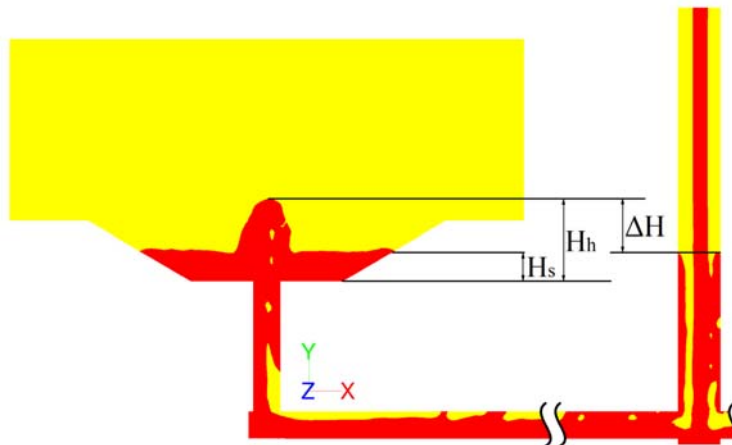
Flödesförhållandena för stål under den initiala fyllningsprocessen i ett standard inloppssystem visas i Figur 32. Efter ca 0.5 s från gjutstart faller stålet i gubben mot den centralt placerade infodringsstenen. Därefter riktas flödet horisontellt ut i de två existerande gjutkanalerna. När stålet når den horisontella delen stänker huvuddelen av stålet uppåt mot gubben och andra delar stänker mot övre delen av de horisontella kanalerna. Dessutom visar simuleringarna att en stor mängd inkapslad luft kommer in i kokillen efter ca 1.5 sekunder från gjutstart. Vid denna tidpunkt är höjden på det uppstänkta stålet i gubben lite mindre än höjden på stålet i den vertikala delen av gjutkanalen. Vid ca 2.0 sekunder når stålet kokillen. Vid samma tidpunkt ökar uppstänkningen av stål i gubben dramatiskt. Efter ca 2.5 sekunder är höjdskillnaden mellan stålet i kokillerna och det uppstänkta stålet i gubben ungefär lika stora.

# JERNKONTORET



**Figur 32.** Konturbild av flytande stål vid fyllning av ingjutsystemet. Data visas för en situation 5 sekunder efter gjutsstart och för en referenskokill utan modifieringar.

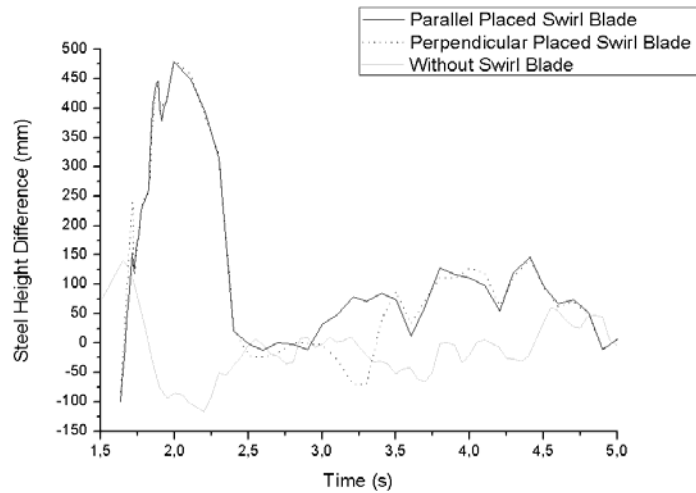
I samband med utvärderingarna av simuleringsresultaten definierades ett antal mått: Höjden på stålnivån i kokillen,  $H_s$ , höjden på humpen,  $H_h$  och skillnaden mellan nivån i kokillen och gubben,  $\Delta H$ . Dessa visas i Figur 33.



**Figur 33.** Definitioner av höjden på stålnivån i kokillen,  $H_s$ , höjden på humpen,  $H_h$  och skillnaden mellan nivån i kokillen och gubben,  $\Delta H$

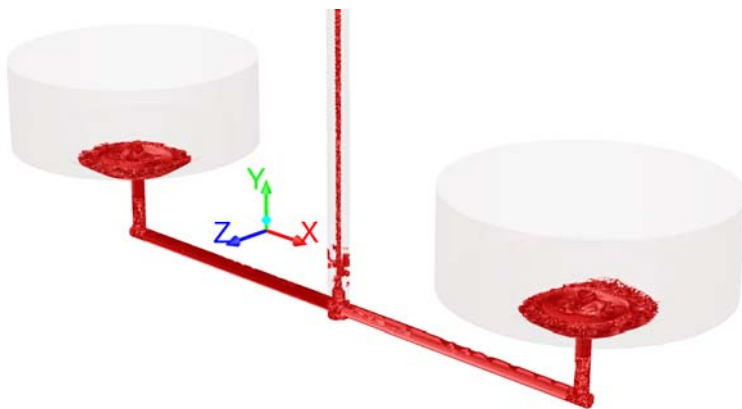
Data för skillnaden mellan nivån i kokillen och gubben med en ökad fyllningstid visas i Figur 34 för tre fall: i) referens, ii) ett vertikalt placerat swirlblad och iii) ett horisontellt placerat swirlblad. Bilden visar att höjdskillnaden är stor i början av fyllningen men att den senare sjunker kraftigt när mer stål har fyllt upp kokillen. Generellt kan sägas att det vore av intresse att kunna minska denna skillnad i början av fyllningen genom att åstadkomma en lugnare fyllning så att chanser för reoxidation genom reaktioner med gjutpulver kan minskas.

# JERNKONTORET



**Figur 34.** Skillnaden mellan nivån i kokillen och för tre fall: i) referens, ii) ett vertikalt placerat swirlblad och iii) ett horisontellt placerat swirlblad.

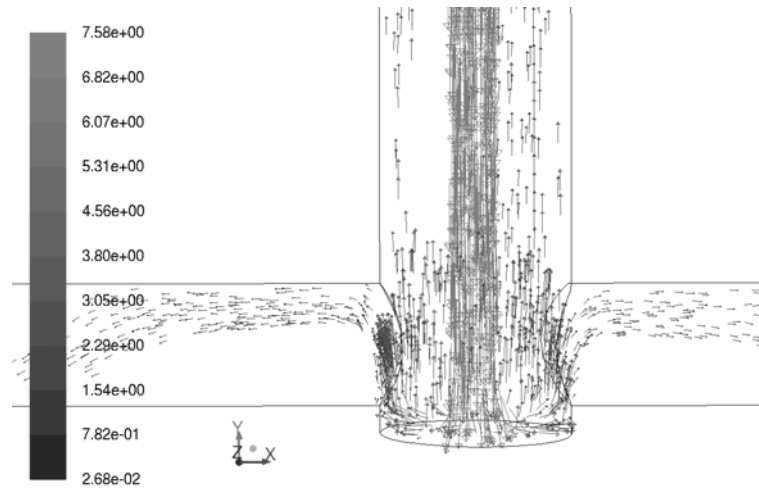
Flödesförhållandena för stål vid den initiala fyllningen för ett gjutsystem med ett horisontellt placerat swirlblad visas i Figur 35. I och med introduktionen av swirlbladet reduceras tvärsnittsarean. Detta medför en liten ökning av medelhastigheten på stålet efter att det passerar swirlbladet. Dessutom ökar det makroskopiska flödesmotståndet i systemet.



**Figur 35.** Konturbild av flytande stål vid fyllning av ingjutsystemet. Data visas för en situation 5 sekunder efter gjutsstart och för en simulering med ett horisontellt placerat swirlblad.

I Figur 36 visas hur det inkommande flödet från gubben riktas tillbaks upp mot gubben samt mot övre delarna av gjutkanalerna. Därefter strömmar stålet i gjutkanalen mot swirlbladet. När stålet når swirlbladet stoppas det, vilket orsakar att ett litet recirkulationsflöde uppstår.

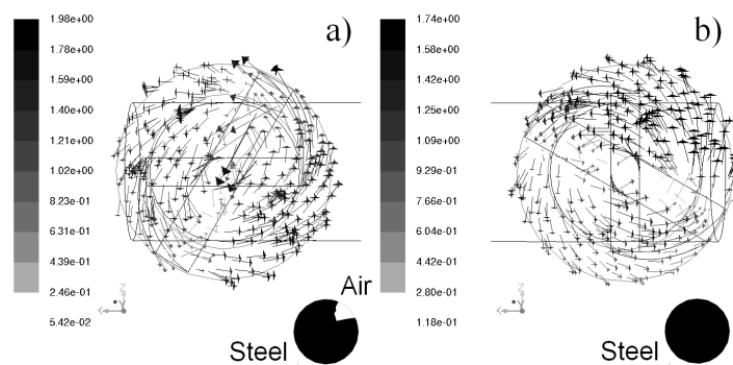
# JERNKONTORET



**Figur 36.** Hastighetsvektorer vid den centrala placerade infodringsstenen i gjutkanalen, efter ca 0.9 s från gjutstart.

Detta orsakar även att den horisontella delen av gjutkanalen fylls upp snabbare jämfört med referensfallet utan ett swirlblad. Efter ca 1.1 s börjar det uppstänkta stålet att falla ned från gubben, vilket orsakar en vågbildning i den horisontella delen av kanalen. Detta i sin tur leder till mer fyllda kanaler och således mindre gas i kanalerna. Flödet av stål samt effekten av swirlbladet som är placerat i kanalen leder till en initial kaotisk fyllning av kokillen efter ca 1.6 s från gjutstarten. Här bör påpekas att även placeringen av swirlbladet påverkar stålets flödesmönster under den initiala fyllningen.

Vid undersökningar som var baserad på simulering av en reducerad geometri av fyllningssystemet observerades en hög hastighetsprofil vid yttre delen av kanalväggen i vertikala delen i närheten av böjen. Därför studerades om en parallell eller en vertikal positionering var att föredra för att få de bästa fyllningsförhållanden, vilket visas i Figur 37.

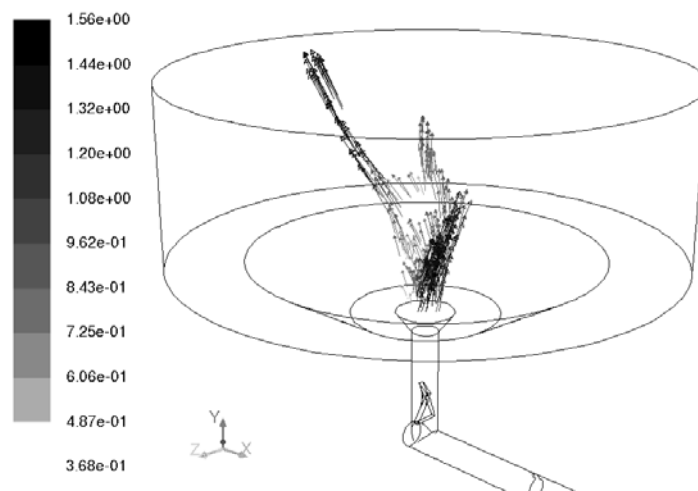


**Figur 37.** Hastighetsvektorer vid övre kanten av swirlbladet i den vertikala delen av kanalen för en a) parallell positionering och en b) vertikal positionering av swirlbladet. Data är tagna 5 s efter gjutstart.

En parallell placering av swirlbladet leder till ett jämnt fördelat massflöde av stål. När detta når kokillen bildas små mängder av droppar p.g.a. den tangentiella hastigheten som uppstår efter swirlbladet. Bilden visar även att närvaron av gas orsakar störningar i hastigheten. För

# JERNKONTORET

en vertikal placering av swirlbladet uppstår ett ojämnt massflöde, som leder stålet i motsatta riktningar samt orsakar bildning av droppar som stänker upp i kokillen. Huvudflödet av stål leds till insidan av kokillen. Ett litet flöde av stål separeras, vilket orsakar en våg mot kokillens yttersida. Detta illustreras i Figur 38, som visar en simuleringsresultat av fyllningsförloppet med användandet av ett vertikalt placerat swirlblad för en situation 1.9 s efter gjutstart. Detta kan leda till en ökad förslitning av kokillen i det område stålet träffar väggen. Specifikt kan en förslitning uppstå p.g.a. mekanisk påverkan, kemiska reaktioner samt en snabb stelning av stålet p.g.a. den höga termiska konduktiviteten hos kokillen. Senare kan även den ökade förslitningen orsaka problem vid strippningen av de stelnade göten från kokillen samt orsaka en sänkt livslängd på kokillerna.

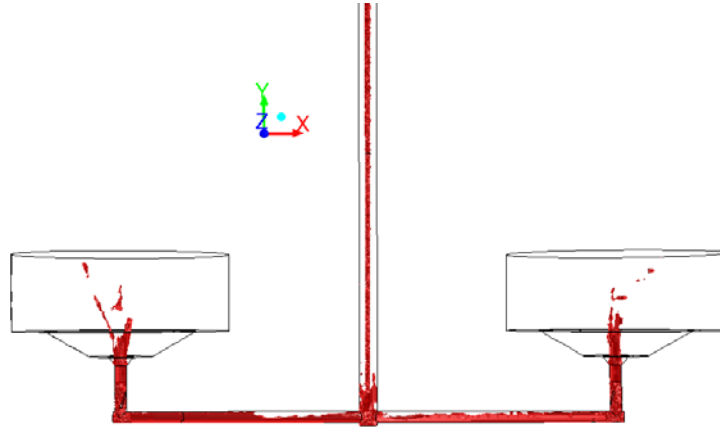


**Figur 38.** Bild av hastighetsvektorer för stålfödet vid inloppet av kokillen visat 1.9 s efter gjutstart. Simuleringen är gjord för ett vertikalt placerat swirlblad.

När fyllningen fortsätter så ökar fyllningsgraden i gjutkanalerna, vilket minskar gasfraktionen. Om dessa resultat jämförs med tidigare simuleringar utan användande av swirlblad [19] kan det konstateras att stålmängden ökar från 80.9% till 98.4% vid en tidpunkt 5 s från gjutstarten. Detta leder till ett lugnare fyllningsförlopp, som gör det enklare för operatörerna att tillsätta gjutpulver. Det bör dock nämnas att även vid användande av swirlblad bildar den ackumulerade luften i kanalen gasfickor, som visas i Figur 39. Detta i sin tur orsakar en hög skjivspänning i den horisontella delen av gjutkanalen, vilket kan leda till en erosion av infodringen och därmed en tillförsel av inneslutningar. Vid inloppet kan även ytan fluktuera i samband med att gasmängder lämnar kanalen.



# JERNKONTORET



*Figur 39. Konturbild av det flytande stålet i gjutsystemet 1.9 s från gjutstart.*

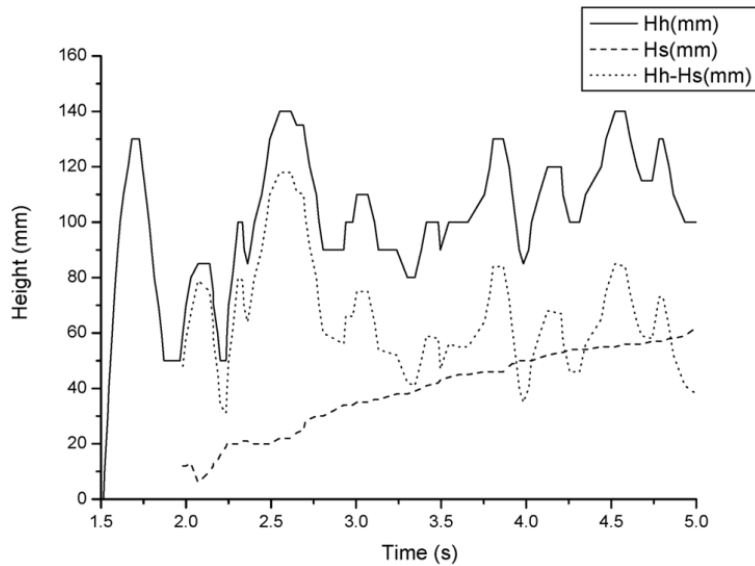
Variationen i skillnaden i stålhöjd som funktion av fyllningstid visas i Figur 34 för simuleringar med användande av swirlblad. Det är tydligt att en vertikal placering av ett swirlblad orsakar en liten skillnad i stålhöjd jämfört med en parallell placering av ett swirlblad, vid den initiala fyllningen av kokillen. Dessutom uppstår en distinkt skillnad i stålhöjd mellan en parallellt och vertikalt placerat swirlblad vid ca 3 s från gjutstart, vilken sedan kvarstår under ca 0.5 s. Men överlag är trenden densamma för båda simuleringfallen. I jämförelse med en simulering där inget swirlblad används är stålhöjdskillnaden högre när swirlblad används. Mer specifikt är maxvärdet med swirl och utan swirl maximum 475mm respektive 140mm. Detta är förväntat eftersom introduktionen av ett swirlblad ökar flödesmotståndet i kanalen.

## **4.3.2 Humphöjd**

Humphöjden som uppstår i början av fyllningen av är en viktig parameter som kan påverka distribution av gjutpulver samt graden av reoxidation av stål genom reaktioner med gjutpulver. En viktig sak är även att humphöjden kan observeras av operatörer i drift under en gjutning. Här bör det påpekas att Hallgren et al var de första som introducerade begreppet humphöjd i deras forskning [13]. De studerade även humphöjden matematiskt vid användande av swirlteknik, men tog inte hänsyn till hela gjutsystemet i sina studier. Definitionen av humphöjd ( $H_h$ ) och stålnivå ( $H_s$ ) som använts i detta arbete presenteras i Figur 33.

Humphöjden ( $H_h$ ) som beräknats för ett fall utan användande av swirlblad visas i Figur 40. Stålet når kokillen efter ca 1.5 s från gjutstarten, vilket leder till en bildning av den första humpen med en storlek av 130 mm. Därefter förlorar stålmassan moment och tvingas tillbaka mot kokillbotten p.g.a. gravitationskrafter. Vid detta tillfälle bildas den första märkbara stålnivån, som är ca 12 mm. Därefter sprids stålet ut längs botten av kokillen, vilket resulterar i ytterligare en sänkning av stålnivån. Kurvan visar även att humphöjden fluktuerar och detta orsakas av närvaro av gas som då och då tränger ur kanalen. Två maximum i humphöjd på 140 mm kan observeras vid tidpunkterna 2.6s och 4.6s från gjutstart. Figuren visar även att stålnivån ökar mer stabilt och innehåller färre fluktuationer i jämförelse med hump-höjdkurvan.

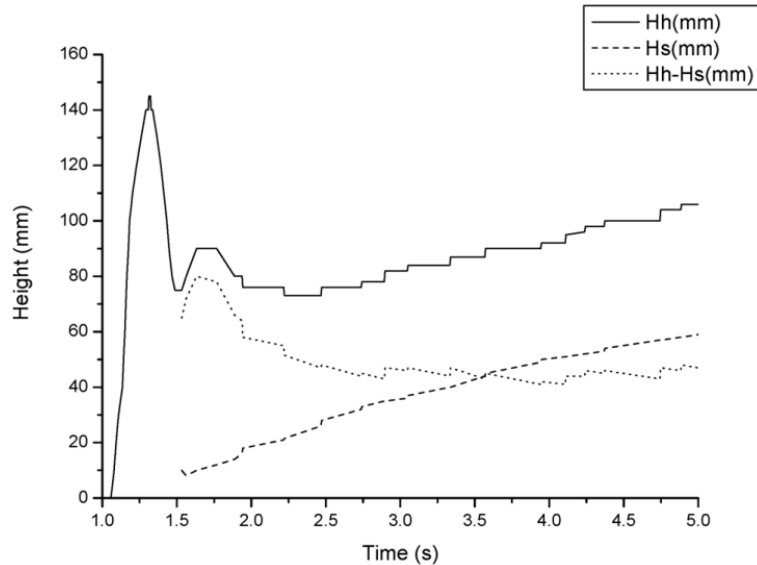
# JERNKONTORET



**Figur 40.** Variation av humphöjd ( $H_h$ ) och stålnivå ( $H_s$ ) med fyllningstid för en modell utan swirlblad.

Figur 41 visar humphöjden och stålnivån för simuleringar som genomförts för ett reducerat inloppssystem, d.v.s. framförallt utan att ta hänsyn till gubben. Detta är ett förfarande som använts av Hallgren, Eriksson m fl [2, 12-14]. På grund av frånvaron av gubben i simuleringen så når stålet inloppet av kokillen redan efter 0.5 s. Detta är ca 0.5 s kortare i jämförelse med om gubben hade simulerats. Den första humpen bildas efter 1.3 s från gjutstart. Precis som beskrivits tidigare faller stålet därefter tillbaka p.g.a. gravitationen, vilket gör att den först märkbara stålhöjden på 10 mm kan observeras. Figuren visar även att inga distinkta fluktuationer uppstår efter att den andra humpen har bildats. Dessutom att höjdskillnaden mellan humpen stålnivån i kokillen minskar med fyllningstiden. Samtidigt ökar både humpkurvan och nivåkurvan med en ökad fyllningstid. Detta orsakas av den gas som finns i kanalerna ej modellerades i dessa simuleringar. Här bör det påpekas att en stor fördel med att ta med gubben i simuleringar av gjutsystemet är att det går att beräkna hur  $\Delta H$  varierar med tiden, som visats i Figur 34.

# JERNKONTORET



**Figur 41.** Variation av humphöjd ( $H_h$ ) och stålnivå i kokill ( $H_s$ ) med fyllningstid, för en modell med en reducerad geometri an ingjutningssystemet, ej inkluderande gubben.

En jämförelse med humphöjden beräknad med olika modeller visas i Tabell 8. Även om geometrin i de olika simuleringarna inte överensstämmer helt, så stämmer simuleringens data från modellen med en reducerad geometri väl med data från tidigare modeller [13]. Dessutom visar resultaten från denna studie att simuleringar med en reducerad geometri leder till mindre fluktuationer i humphöjd jämfört med simuleringar som även tar hänsyn till hela ingjutsystemet. Orsakerna till detta är främst att hänsyn tas till gubben samt att hänsyn tas till inverkan av luft i simuleringarna. Överlag visar dock resultaten från båda simuleringssätten liknande trender.

**Tabell 8.** Jämförelse av predikterad humphöjd med olika simuleringmodeller

| Ythöjd (mm) | Humphöjd I (mm) | Humphöjd II (mm) | Humphöjd III (mm) |
|-------------|-----------------|------------------|-------------------|
| 10          | 82              | 75-90            | 85                |
| 20          | 86              | 76               | 60-130            |
| 30          | 88              | 76               | 90-110            |
| 40          | 92              | 84-87            | 90                |
| 50          | 98              | 92               | 90-100            |

I: Referens från Hallgren et al.<sup>26)</sup> med en homogen inloppshastighet på 1m/s;

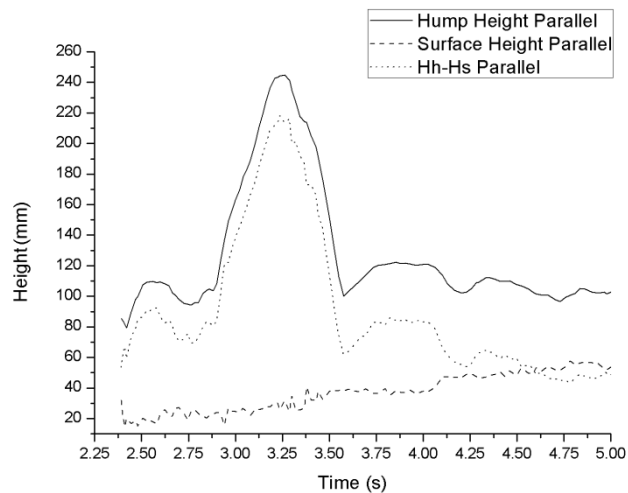
II: Modell med reducerad geometri;

III: Modell med hel geometri inkluderande gubbe och kanal.

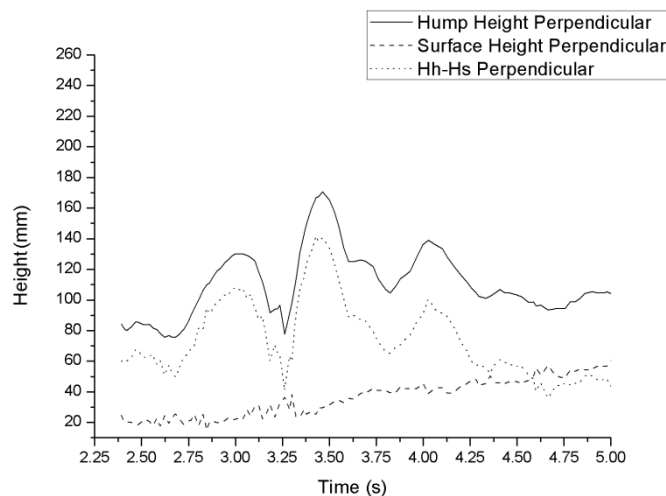
Humphöjdsvariationerna med fyllningstid för en parallell och en vertikal placering av swirlblad visas i Figur 42 och 43. Överlag kan man se att när swirlblad används bildas en betydande mängd ståldroppar under den initiala fyllningen. Den första humpen bildas ca 2.4 s från gjutstart. Jämfört med resultaten utan användande av swirlblad är humpbildningen fördröjd med ca 0.4 s. I kokillen med ett parallellt placerat swirlblad i kanalen bildas en distinkt hump med ett maximalt värde på 245 mm ( $H_{h \max}$ ) vid ca 3.2s från gjutstart. Detta orsakar en höjdskillnad på 213 mm jämfört med stålnivån i kokillen. Maximala skillnaden mellan humphöjden och stålnivån,  $\Delta(H_h - H_s)$ , är 176 mm under den initiala fyllningen av kokillen. I Figur 15 visas att för kokillen med ett vertikalt placerat swirlblad i kanalen

# JERNKONTORET

förekommer flera distinkta humphöjder. Den största är ca 170 mm och bildas 3.5 s efter gjutstart, vilket orsakar en höjdskillnad på 141 mm i jämförelse med stålnivån i kokillen. Om de båda placeringarna av swirlblad jämförs är det tydligt att en parallell placering kan leda till mera neddragning av gjutpulver p.g.a. den stora humpbildningen i början av fyllningen. Efter bildningen av denna stora hump varierar höjden ( $\Delta H_h$ ) runt 25 mm, vilket syns i Figur 42. För fallet med det vertikalt placerade swirlbladet varierar höjden runt 45 mm efter bildningen av den stora humpen, vilket syns i Figur 43.



**Figur 42.** Variationer av humphöjd ( $H_h$ ) och stålnivåhöjd ( $H_s$ ) med fyllningstid för en parallell placering av ett swirlblad.



**Figur 43.** Variationer av humphöjd ( $H_h$ ) och stålnivåhöjd ( $H_s$ ) med fyllningstid för en vertikal placering av ett swirlblad.

Detta betyder att det är en mindre risk för gjutpulverneddragning vid en parallell placering av ett swirlblad jämfört med för en vertikal placering av ett swirlblad. Simuleringarna med swirlblad jämförs i Tabell 9 med motsvarande utan swirlblad med avseende på humphöjden. Närvaron av ett swirlblad resulterar i en större initial humphöjd, men färre fluktuationer i höjdlöd under den resterande gjutningen.

# JERNKONTORET

**Tabell 9.** Jämförelse av humphöjdspredikteringar med och utan swirlblad

| Fall | $H_{h \max}$ (mm) | Antal humper ( $\geq 30$ mm) | Max $\Delta(H_h - H_s)$ (mm) | $\Delta H_h$ efter $H_{h \max}$ (mm) |
|------|-------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|
| N    | 140               | 8                            | 87                           | 60                                   |
| V    | 170               | 3                            | 106                          | 45                                   |
| P    | 245               | 1                            | 176                          | 25                                   |

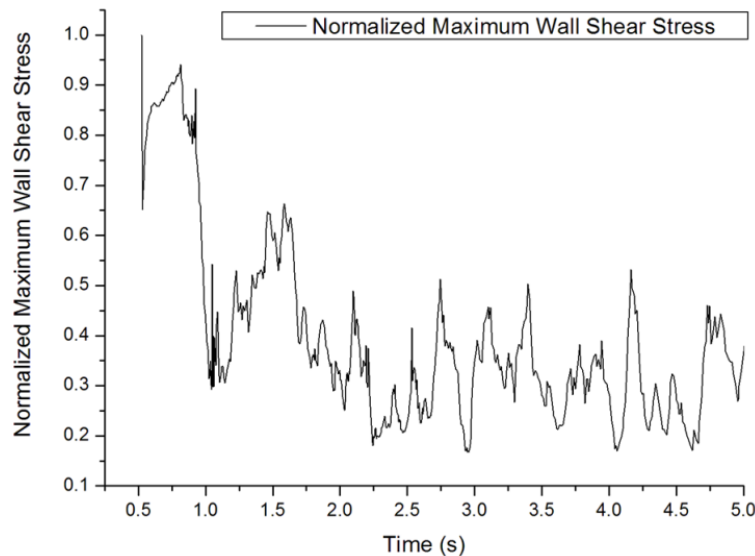
N: Referens utan användande av swirlblad.

V: Vertikal placering av swirlblad.

P: Parallell placering av swirlblad.

### 4.3.3 Skjuvspänning vid infodringsytor

Skjuvspänningen som orsakas av stålet vid infodringsytorna i gjutkanalen är också en viktig parameter att simulera. Orsaken är att en hög skjuvspänning kan leda till erosion av infodringen, vilket leder till en tillförsel av nya oönskade inneslutningar i stålet. Magnituden för skjuvspänningen studerades därför i olika delar av gjutkanalen.



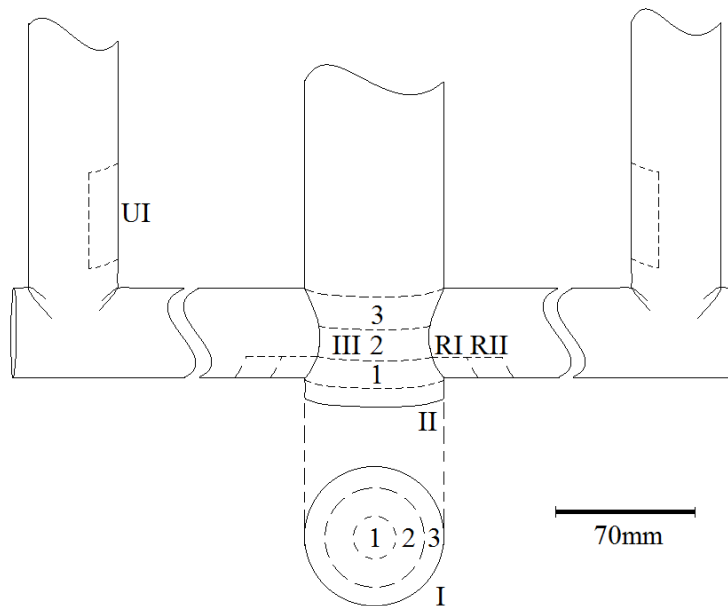
**Figur 44.** Variation av ett normaliserat maximalt skjuvspänningsvärde med fyllningstid, för en simulering utan användande av swirlblad.

Den normaliserade maximala skjuvspänningen vid väggen är plottad som funktion av fyllningstiden i Figur 44, för en simulering där swirlblad ej använts. Vid fyllningen faller stålet fritt i gubben och når den centralt placerade kanalstenen vid ca 0.5 s. Detta ger upphov till ett maximumvärde för skjuvspänningen ( $\tau_{w \text{ peak}}$ ). Därefter minskar skjuvspänningen till  $0.65\tau_{w \text{ peak}}$  p.g.a. bildningen av en stagnationspunkt. Strax därefter uppstår stålstänk i kanalen, vilket orsakar en ökning av den maximala skjuvspänningen. Värdet på skjuvspänningen ökar dramatiskt när den uppåtriktade stålhastigheten minskas p.g.a. gravitationen. Därefter ökar värdet igen när det uppstänkta stålet faller ner och fyller kanalerna. Vid ca 1.5 s når bulken av stålflödet kokillen, vilket gör att det maximala skjuvspänningen får värdet  $0.66\tau_{w \text{ peak}}$ . Därefter håller sig värdet under  $0.55\tau_{w \text{ peak}}$  under den resterande delen av fyllningsprocessen.

Figur 45 visar områden där den maximala skjuvspänningen uppstår under den initiala fyllningsprocessen, för en simulering utan användande av swirlblad. De högsta värdena uppstår i den centralt placerade stenen, i den horisontella kanalen nära mittstenen, och vid den

# JERNKONTORET

vertikala delen av kanalen närmast böjen. Statistiken för den maximala skjuvspänningen visas i Tabell 10. Det är tydligt att det första stålet som träffar kanalen kommer att påverka mittdelen av bottendelen av den urgröpta mittstenen samt väggarna (I2, II) i denna mittsten. Värdet på den maximala skjuvspänningen är  $0.9\tau_{w \text{ peak}}$  och detta värde uppstår under ca 0.1s. Den maximala normaliserade skjuvspänningen längs kanalväggarna ligger mellan  $0.55\tau_{w \text{ peak}}$  och  $0.9\tau_{w \text{ peak}}$  och förekommer under ca 0.6 s. Den återfinns i områdena som nämndes ovan: den centrala delen av botten på mittstenen och nedre delen av mittstenen nära kanalen (I2, II, I1 and III1). Den totala simuleringstiden är 5 s och för 4.3 s av den tiden är det maximala skjuvspänningsvärdet mindre än  $0.55\tau_{w \text{ peak}}$ . Detta återfinns i den horisontella kanalen nära mittstenen, i den vertikala gjutkanalen nära böjen, yttre delen av botten på mittstenen samt övre väggarna i mittstenen (RI, RII, UI, I3, III2 och III3). En nyligen genomförd experimentell studie av Ragnarsson et al. [23] visade att ytan i kanalen hade blivit kraftigt förstörd p.g.a. mekanisk erosion under fyllningen. Dessutom återfanns stora (makro-) inneslutningar i den horisontella kanalen efter gjutningen. Däremot var erosionen av den centrala stenen och slutstenen mycket liten. Här bör det påpekas att den mekaniska erosionen av infodringen beror både på magnituden av skjuvspänningen och på den tid som infodringen utsätts för skjuvspänningar. I en annan undersökning av Singh et al. [24] uppstod en erosion även vid lägre skjuvspänningsvärden. Detta kan delvis bero på andra detaljer gällande infodringsmaterial, gjutförhållanden mm. Överlag kan det därför konstateras att det inte är enkelt att optimera skjuvspänningen, men att man som grundregel vid design av ett gjut-system kan säga att den bör vara så låg som möjligt. På detta sätt minimeras uppkomsten av stora inneslutningar vid fyllningsprocessen.



**Figur 45.** Områden där en maximal skjuvspänning konstaterades vid modelleringen.

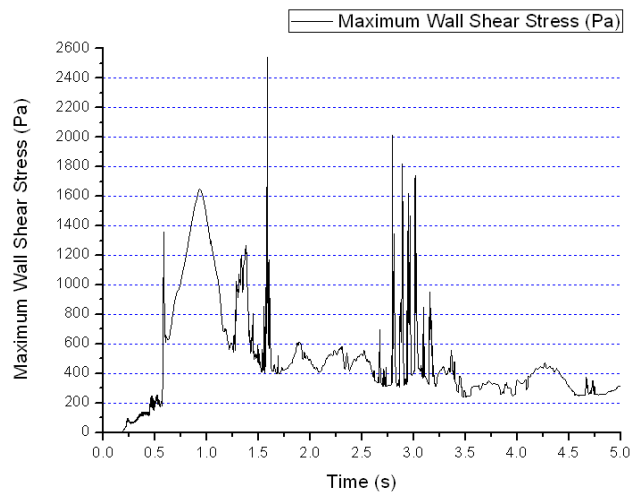


# JERNKONTORET

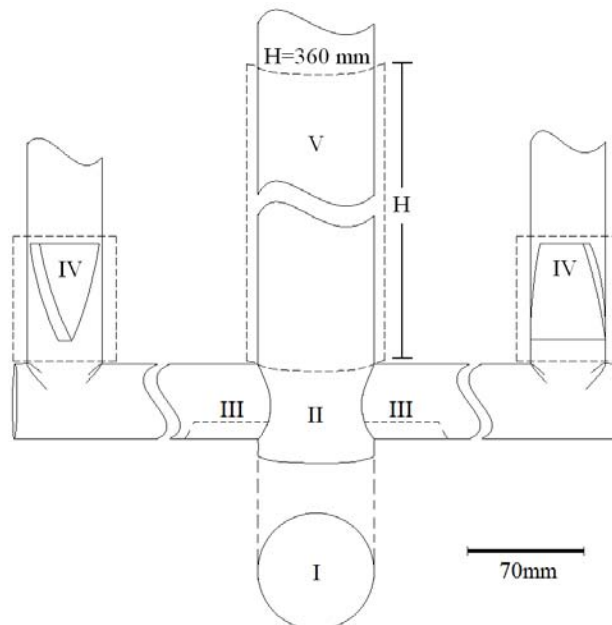
**Tabell 10.** Data för den normaliserade maximala skjuvspänningen.

| Normaliserad maximal skjuvspänning vid vägg<br>( $\tau_w$ )         | Områden        | t (s) | t/t <sub>0</sub> (%) |
|---|----------------|-------|----------------------|
| $0.9\tau_{w \text{ peak}} \leq \tau_w$                              | I2/II          | 0.1   | 2                    |
| $0.75\tau_{w \text{ peak}} \leq \tau_w < 0.9\tau_{w \text{ peak}}$  | I2/III1        | 0.3   | 6                    |
| $0.65\tau_{w \text{ peak}} \leq \tau_w < 0.75\tau_{w \text{ peak}}$ | I2             | 0.1   | 2                    |
| $0.55\tau_{w \text{ peak}} \leq \tau_w < 0.65\tau_{w \text{ peak}}$ | I2/I2+II/I1+I2 | 0.2   | 4                    |

t: Tiden under vilken den maximala skjuvspänningen råder  
t<sub>0</sub>: Total simuleringstid för fyllning, i.e. 5s.



**Figur 46.** Variation av den maximala skjuvspänningen vid kanalväggen med fyllningstid. Simuleringar för ett fall med ett swirlblad.



**Figur 47.** Områden nära böjen i gjutkanalen där en maximal skjuvspänning återfinns enligt simuleringar.

# JERNKONTORET

Förändringen av det maximala skjuvspänningsvärdet med fyllningstiden visas i Figur 46. Samtidigt visas de områden där den maximala skjuvspänningen uppstår i Figur 47.

När fyllningen påbörjas faller stålet genom gubben. Därefter träffar stålflödet mittstenen i gjutkanalen, vilket leder till en ökad skjuvspänning i stenens nedre del (I). Uppstänkt stål orsakar även påverkan på nedre delarna av väggarna i gubben (II, V). Därefter påverkas nedre delen av bottenväggen i stenen ca 0.5 s från starten av fyllningen. Det uppstänkta stålet faller ner efter ca 1.1 s. Det syns att den maximala skjuvspänningen först återfinns vid nedre delarna av väggarna i gubben och att den därefter syns i nedre delen av mittstenen och området nära den (III). Senare återfinns den maximala skjuvspänningen nära swirlbladet samt i den vertikala delen av gjutkanalen nära swirlbladet (IV). Under den resterade delen av fyllningen återfinns den maximala skjuvspänningen i nedre delen av mittstenen samt i kanalområdet nära den.

Generellt kan det konstateras att i jämförelse med tidigare arbeten kan en användning av ett swirlblad leda till både en minskning och en stabilisering av skjuvspänningen i gjutkanalen. Dock förekommer fluktuationer i den maximala skjuvspänningen nära swirlbladen. Här kan innesluten luft resultera i ett instabilt flöde och momentant förhöjda värden på skjuvspänningen, vilket ökar riskerna för mekanisk erosion.

## **5. SLUTSATSER**

### **5.1 Driftsförsök för kvantifiering av effekt med förbättrad gjutpulvertillsats (WP1)**

Försöken hos Ovako Steel i Hofors visar att man minskar gjutpulverstråk på botten av götytor där en sliten kokillsats använts genom att använda timglasformade gjutpulverpåsar samt att man får en förlängd tömningstid av gjutpulverpåsar vilket var Ovakos önskemål.

Försöken hos Scana i Björneborg visar att en timglasformad upphängd gjutpulverpåse á 9 kg ger en bättre täckning av överytan under fyllnadsförloppetets första minuter än med vanlig tillsatsmetod med totalt 12 kg gjutpulver. Det ger även en förlängd tömningstid vilket minskar risken för inkapsling av gjutpulver. Gjutpulvret som används hos Scana i Björneborg anses vara för lättsmält för de gjuttemperaturer som använts vid dessa försök.

#### Kommentar gällande uppfyllande av mål

*WPI: En statistiskt säkerställd utvärdering av den tekniska och ekonomiska potentialen förknippad med en övergång från dagens sätt att tillsätta gjutpulver till den inom projektet förordade metoden.*

Att använda timglasformade gjutpulverpåsar, har visat sig lämpligare hos båda målverken än dagens tillsatsmetod. Det medför en marginellt högre arbetsinsats om påsarna ska lindas hos målverken, detta kan istället göras hos gjutpulverleverantör. Hos det ena målverket visar försöken även en mindre förbrukning av gjutpulver. En förlängd tömningstid har hos det ena målverket visat bättre kvalitet på götytor där en sliten kokillsats använts. Inre kvaliteten hos göt har inte kunnat mätas inom detta projekt, men båda målverken är av uppfattningen att en förlängd tömningstid minskar risken för inkapslat gjutpulver. En statistiskt säkerställd

# JERNKONTORET

utvärdering av den tekniska och ekonomiska potentialen har ej kunnat uppfyllas inom ramen för projektet.

## **5.2 Driftsförsök för kvantifiering av effekt av swirl (WP2)**

Studier av möjligheter att implementera swirlblad i drift har genomförts hos Scana Stavanger. Detta gjordes i två separata kampanjer, där den huvudsakliga skillnaden var att inloppsvinkeln i slutstenen var 62 grader i kampanj 1 och 52 grader i kampanj 2. De specifika slutsatserna var de följande:

- Driftsförsök med ett vertikalt inmonterat swirlblad i kombination med en inloppsvinkel på slutstenen som var 52 grader visade att swirlbladet höll. Dock orsakade den stora inloppsvinkeln att stål kastades mot sidan av kokillväggen. Detta i sin tur ledde till defekter på göt och kokill, samt problem vid strippning av göten från kokillen. Dessa försök visade även att gjutpulvret lägger sig på ena sidan av kokillen under den inledande fyllningen.
- Driftsförsök med ett inmonterat swirlblad i kombination med en inloppsvinkel på slutstenen som var 62 grader kunde genomföras utan problem. De undersökta göten lossnade lätt från kokillen vid strippningsoperationen. Vid avsyningen av kokillerna kunde inga skador på kokillväggarna återfinnas. Dessutom kunde inga onormalt stora defekter återfinnas på götytorna. Försöken visade att ett central placerat spolöga bildas och att gjutpulvret fördelades jämnt runt detta spolöga. Tendensen var att gjutpulverförbrukningen minskade i jämförelse med fyllning utan användande av swirlblad.
- Den övergripande slutsatsen är att det är praktiskt möjligt att använda swirlblad i drift, men att det är ytterst viktigt att anpassa placeringen av swirlbladen samt designen av gjutsystemet samt gjutpulvertillsatsen till olika kokillstorlekar. Orsaken är att swirl påverkar stålflödet i gjutsystemet. Designen av detta är dock möjligt att göra med hjälp av matematisk modellering.

### Kommentar gällande uppfyllande av mål

**WP2:** *En statistiskt säkerställd utvärdering av den tekniska och ekonomiska potentialen förknippad med användande av swirl-teknik för att skapa ett lugnare fyllningsförlopp.*

Målet har uppfyllts delvis, men inte med avseende på en omfattande statistik utvärdering. Orsaken till detta är framförallt svårigheten med att göra försök med swirlteknik i drift. Vid tidigare forskning hade swirltekniken provats hos Scana Björneborg och Ovako Hofors. Där placerades swirlbladet i den horisontella delen av gjutkanalen då det var den enda placering som var möjlig i dessa götgjutningssystem. Tidigare teoretisk forskning hade visat att det är fördelaktigt att kunna placera ett swirlblad i den vertikala delen av gjutkanalen. Detta var möjligt hos målverket Scana Steel Stavanger. Därför genomfördes försök under två kampanjer. Båda kampanjerna visade att swirlbladen höll under produktionsförhållanden. I den första kampanjen var dock inloppsvinkeln i slutstenen för hög, vilket gjorde att stål kastades upp mot kokillväggen, vilket orsakade problem med göt- och kokillkvalitet samt strippning av göt från kokill. I den andra kampanjen rättades detta till genom att minska inloppsvinkeln, vilket resulterade i att inga av dessa problem syntes till. Genom filmning visades det att ett stabilt spolöga och en jämn fördelning av gjutpulver bildas vid användande av ett swirlblad. Dessa resultat verifierades även med matematisk modellering. Det fanns en tendens att gjutpulverförbrukningen minskade med användande av swirlblad, men det måste bekräftas med minst veckovis långa driftsförsök. Därför har en statistiskt säkerställd

# JERNKONTORET

utvärdering av den tekniska och ekonomiska potentialen har ej kunnat uppfyllas inom ramen för projektet. Bedömningen är att dessa måste utföras av målverken själva.

## **5.3 Matematisk modellering för framtagning av ny standard (WP3)**

Arbetet har delats in i två delar. I den första delen av det matematiska modelleringsarbetet var syftet att designa ett komplett gjutsystem inklusive ett swirlblad för målverket Scana Steel Stavanger. Därefter att studera de initiala fyllningsförhållandena för detta gjutsystem. Det bör påpekas att både ett komplett gjutsystem samt ett reducerat system innehållande kokillen och delar av kanalen (ej gubben) simulerades. De specifika slutsatserna var följande:

1. Simuleringar med användande av en reducerad geometri (som inte innefattar gubben) kan inte beskriva de fluktuerande förhållanden som uppstår när stål strömmar in i kokillen. Däremot visar simuleringar med en reducerad geometri och en full geometri liknande trender gällande humphöjdsförändringen med fyllningstiden.
2. Den maximala skjuvspänningen fluktuerar, men fluktuationerna minskar med fyllningstiden. Resultaten visar dock att en infodring, som kan motstå den ökade mekaniska erosionen är fördelaktig att använda. Detta gäller särskilt för mittstenen, den horisontella gjutkanalen samt den vertikala gjutkanalen vid böjen där skjuvspänningen är högst eller är hög under en längre tid av fyllningen.
3. Beräkningarna visar att humphöjdsskillnaden är ungefär 80 mm när stålet kommer in i kokillen, men att den minskar till ca 40 mm efter 3.5 s.

I den andra delen av det matematiska modelleringsarbetet var syftet att studera skillnaden mellan olika placeringar av swirlbladet på de initiala fyllningsförhållandena. Swirlbladen placerades både vertikalt i gjutkanalen efter böjen och horisontellt i kanalen innan stålet nått böjen som leder stålet till kokillen. De specifika slutsatserna var följande:

1. Användande av swirlblad i gjutkanalen leder till en kaotisk initial fyllning av kokillen med en bildning av ståldroppar under de första sekunderna av fyllningen.
2. Användande av swirlblad i gjutkanalen leder till en förbättrad fyllning av den horisontella delen av gjutkanalen, med en mindre mängd innesluten luft. I jämförelse med tidigare arbete utan användning av swirlblad ökar mängden stål i gjutkanalen från 80,9 % till 98,4 % vid en tidpunkt 5 s från gjutstarten. Dessutom blir fyllningen lugnare och fluktuationerna överlag färre i kokillen om swirlblad används i gjutkanalen.
3. En lämplig placering av swirlblad i gjutkanalerna påverkar flödesförhållandena i gjutsystemet, så att den initiala fyllningen i kokillen blir lugnare. Detta arbete visar att en parallell placering av swirlblad ger bättre resultat än en vertikal placering av swirlblad. Orsaken är att ett parallellt placerat swirlblad resulterar i ett jämnt fördelat massflöde av stålet när det passerat swirlbladet.
4. Stålhöjdsskillnaden ( $\Delta H$ ) i simuleringar med swirlblad är mycket större än för simuleringar utan swirlblad. Mer specifikt är den maximala höjden 475 mm vid

# JERNKONTORET

användande av swirlblad, men 140 mm utan användande av swirlblad. Detta beror på ett ökat flödesmotstånd i gjutsystemet när ett swirlblad introduceras i gjutkanalen.

5. Användande av swirlblad leder till att högre humphöjder bildas initialt under de första sekunderna av fyllnadsförloppet. Därefter bildas mindre och färre fluktuationer när fyllningen fortskrider i jämförelse med ett gjutsystem utan swirlblad. Detta i sin tur minskar riskerna för gjutpulverneddragning, vilket kan leda till reoxidation och en kvalitetsförsämring av stålet.
6. Användande av swirlblad kan leda till minskade och stabilare värden på skjuvspänningen längs kanalväggarna. För en modell utan swirlblad varierar den maximala skjuvspänningen mellan 300 Pa och 1200 Pa efter det att stålet har nått kokillen. Motsvarande värden för en modell med swirlblad är 200 Pa till 600 Pa efter det att stålet har nått kokillen. Däremot förekommer instabila fluktuationer i början av fyllningsprocessen, som resulterar i plötsliga ökning av skjuvspänningen i fallet med användande av swirlblad. Dessa uppkommer framförallt i området nära swirlbladet och i den vertikala delen av gjutkanalen. Orsaken är att innesluten luft passerar förbi swirlbladen, vilket skapar dessa fluktuationer.

## Kommentar gällande uppfyllande av mål

**WP3:** *En ny standard för komponenter till nästa generations ingjutsystem med design baserad på fluiddynamiska beräkningar och utnyttjande av modern tillverkningsteknik för keramer.*

Det bör påpekas att syftet med en ny design av ett gjutsystem är att åstadkomma ett lugnare fyllningsförlopp när stålet flödar in i kokillen. Detta leder till minskade chanser för reoxidation genom reaktioner med gjutpulver och därmed ett stål med en högre kvalitet. Målet har uppfyllts i detta projekt. Ett stort antal simuleringar av olika komponenter med fokus på swirl har simulerats. Modern teknik för tillverkning av keramer har utnyttjats specifikt för swirlblad som tillverkats av keramföretaget Korosaki Harima i Japan efter design från vår modellering.

Generellt visar detta arbete att ett rätt implementerat swirlblad i gjutkanalerna kan reducera fluktuationerna i humphöjd med 70 % vid en tid 4,5 s från gjutstarten i jämförelse med om swirltekniken inte används. Dessutom är det möjligt att minska den maximala skjuvspänningen vid kanalväggarna med 54 % och att minska fluktuationerna i skjuvspänning med 69 % vid en tid 3,5 s från gjutstarten. Det bör dock påpekas att en optimal placering av ett swirlblad är viktigt, där hänsyn måste tas till lokala förhållanden i varje göt gjutningsanläggning. I annat fall kan t.o.m. försämrade initiala fyllningsförhållande uppstå p.g.a. ett okontrollerat inflöde som negativt kan påverka stålqualiteten. Slutsatsen är att det inte var industriellt bäst att åstadkomma en standard för komponenter, men däremot att utveckla en metodik för hur komponenter kan designas för olika göt gjutningsanläggningar. Denna metodik har framgångsrikt utvecklats inom ramen för projektet för att göra det möjligt för svenska företag att få stöd för optimering av deras ingjutningssystem, så att en lugnare initial fyllning i kokillen kan erhållas.

## Slutkommentar

Det bör även påpekas att arbete med andra swirltekniker utförts under WP3. Dessa kan i skrivande stund ej tas med i slutrapporten eftersom diskussioner om en eventuell patentansökan pågår. Dessa resultat kommer att presenteras i en sluten TO-rapport. I korthet

# JERNKONTORET

kan nämnas att en idé till en swirlsten har utvecklats som möjliggör åstadkommande av ett swirlflöde utan användande av en swirlsten.

## **6. FORTSATT ARBETE**

Baserat på resultaten i denna forskning lämnas följande förslag till fortsatt arbete inom området:

- Försök under en längre tid med timglasformade gjutpulverpåsar för att undersöka processförbättringar med avseende på kvalitet hos göt och kokiller.
- Förändra sammansättningen av gjutpulver hos Scana Steel Björneborg så att de blir mera svårsmälta. Detta torde minska problemen med rinningar på götytor.
- Utvidga den matematiska modellen till att innefatta gjutpulver. Då är det möjligt att teoretiskt studera hur gjutpulver fördelar sig vid fyllning samt tendenserna för neddragning av gjutpulver. Kan detta studeras teoretiskt så är det möjligt att ytterligare optimera tillsatsförhållandena så att en jämnare gjutpulverfördelning samt minimal neddragning av gjutpulver kan åstadkommas.
- Simuleringsresultaten har visat att luft fastnar i gjutkanalen under fyllning. Denna kan reagera med stålet och orsaka reoxidation. Det är därför av intresse att fortsätta att studera hur geometrin på kanalsystemet och fyllningsförhållandena kan förändras så att mängden luft som dras in i systemet och innesluts i systemet kan minskas.



# JERNKONTORET

## 7. REFERENSER

- 1) J.R.Blank: Proc. 67th Steelmaking Conf., ISS, Warrendale, PA, (1984), 135.
- 2) R. Eriksson, L. Jonsson, P.G. Jönsson: ISIJ International, Vol. 44 (2004), No.8, pp.1358-1365.
- 3) P. Sjödin, P.G. Jönsson, M. Andreasson and A. Winquist: Scan. J. Metall., Vol. 26 (1997), 41.
- 4) M. Freborg: Proc. 50th Electric Furnace Conf., ISS, Warrendale, PA, (1992),291.
- 5) R. Eriksson, P.G. Jönsson and A. Gustafsson: Scand. J. Metall., Vol. 33 (2004), 160.
- 6) J. Chang, R. Eriksson and P.G. Jönsson: Ironmaking Steelmaking, Vol. 30 (2003), No.1, 66.
- 7) R. L. Harvey and A. P. Banks: Foseco inc. Seminal, Foseco International Ltd., Cleveland, Ohio, (1983), 1.
- 8) R. Eriksson, A. Tilliander, L.T.I. Jonsson and P.G. Jönsson: Steel Res., 74(2003),423.
- 9) P.G. Jönsson, N. Saluja, O. J. Ilegbusi and J. Szekely: AFS Trans., Vol. 99 (1991), 291.
- 10) G. B. van der Graaf, H. E. A. Van der Akker and L. Katgerman: Metall. Mater. Trans. B, Vol. 32B (2001), 69.
- 11) R. Eriksson, L.T.I. Jonsson and P. G. Jönsson: Tech. Rep. ISRN MSE/KTH-03/24-SE+TILL. METALLURGI/RAPP, Dept. of Materials Science and Engineering, KTH, Stockholm, Sweden, (2003).
- 12) L. Hallgren, S. Takagi, R. Eriksson, S. Yokoya and P.G. Jönsson: ISIJ International, Vol. 46 (2006), No. 11, pp. 1645-1651.
- 13) L. Hallgren, A. Tilliander, S. Yokoya, P.G. Jönsson and S. Hagman: A First Attempt to Implement a Swirl Blade in Production of Ingots, ISIJ International, Vol. 50 (2010), No. 12, pp. 1763-1769.
- 14) Z. Zhang, S. Yokoya, A. Tilliander and P.G. Jönsson: ISIJ International, Vol. 50 (2010), No. 12, pp. 1756-1762.
- 15) L. Hallgren, S. Takagi, A. Tilliander, S. Yokoya and P.G. Jönsson: Steel Res. Int., 78 (2007), 254.
- 16) Specification from Höganäs Bjuv Refractories, <http://www.hoganasbjuf.com>, (14th November 2010).

# JERNKONTORET

- 17) C.W. Hirt and B.D. Nichols: *Journal of Computational Physics*, 39(1981), 201.
- 18) ANSYS 12.1®, <http://www.ansys.com>, (22th February 2010).
- 19) Z. Tan, M. Ersson and P.G. Jönsson: *ISIJ Int.*, 51(2011), 1461.
- 20) Z. Tan, M. Ersson and P.G. Jönsson: *ISIJ Int.*, 52(2011), 1066.
- 21) *Catalogue of Ingot Defects*, Verlag Stahleisen GmbH, Dusseldorf, ISBN 3-514-00692-X, år 2003.
- 22) J.K.S. Svensson: *Plant Experiment Using a Swirl Blade in Uphill Teeming Process*, Examensarbete, KTH, Stockholm, 2011.
- 23) L. Ragnarsson and Du Sichen: *Proc. of AISTech*, AIST, Warrendale, PA, (2009), 1077.
- 24) V. Singh, A.R. Pal, P. Panigrahi: *ISIJ Int.*, 48 (2008), No.4, 430.
- 25) D. Pillana, A. Yang: *A study of gating system – with focus on steel cleanliness*. Kandidatexamensarbete, KTH (2010).
- 26) S. Thorildsson: *Standardsten för ståltappning*, *Jernkontorets Ann.* 152, s 485-499 (1968).
- 27) J. Lönnqvist: *Gjutpulvertillsats (minimering problemen med rotfel vid götgjutning)*, JK Teknisk Rapport TO24-167 (2007).

# JERNKONTORET

## **BILAGA 1 – PROJEKTORGANISATION OCH MEDVERKANDE**

### **Forskningskommitté**

JK 24053

### **Projektperiod**

2010-01-01 – 2012-06-01

### **Ordförande**

Peter Lidegran

Scana Steel Stavanger AS

### **Forskningschef**

Lars-Henrik Österholm

Jernkontoret

### **Industrimedlemmar**

Hannes Vallak

FERROX AB

Natalija Rajkovic

Höganäs Bjuf AB

Pia Kylberg

Sandvik Heating Technology AB

Sölve Hagman \*)

Ovako Hofors AB

Saman Mostafae

Ovako Hofors AB

Jenny Karlsson

Uddeholms AB

Mats Söder

Scana Steel Björneborg AB

### **Adjungerade forskare**

Pär Jönsson

Kungliga Tekniska Högskolan

Mikael Ersson

Kungliga Tekniska Högskolan

Jennie Svensson

Kungliga Tekniska Högskolan

Zhe Tan

Kungliga Tekniska Högskolan

Carl-Åke Däcker

Swerea KIMAB AB

Johan Lönnqvist

Swerea KIMAB AB

Fatemeh Shahbazian

Swerea KIMAB AB

\*) i projektets inledning

# JERNKONTORET

## **BILAGA 2 – PUBLIKATIONER**

### **Tekniska rapporter**

Z. Tan, M. Ersson, P.G. Jönsson: *Plant Trials with Utilization of Swirl Blades at Scana Steel*. Teknisk Rapport TO24-183, Jernkontoret (2012).

J.K.S. Svensson: *Plant Experiments Using a Swirl Blade in the Uphill Teeming Process*. Teknisk Rapport TO24-184, Jernkontoret (2012).

Z. Tan, M. Ersson, P.G. Jönsson: *Mathematical Modeling of Initial Filling Moment of Uphill Teeming Process Considering a Trumpet*. Teknisk Rapport TO24-185, Jernkontoret (2012).

Z. Tan, M. Ersson, P.G. Jönsson: *Modeling of Initial Mold Filling with Utilization of Swirl Blades*. Teknisk Rapport TO24-186, Jernkontoret (2012).

Z. Tan, M. Ersson, P.G. Jönsson: *Uphill Teeming Utilizing TurboSwirl to Control Flow Pattern in Mould*. Teknisk Rapport TO24-187, Jernkontoret (2012).

### **Vetenskapliga artiklar**

Z. Tan, M. Ersson, P. G. Jönsson: *Mathematical Modeling of Initial Filling Moment of Uphill Teeming Process Considering a Trumpet*”, ISIJ Int., Vol. 51 (2011), No. 9, pp- 1461-1467

Z. Tan, M. Ersson, P. G. Jönsson: *Modeling of Initial Mold Filling with Utilization of Swirl Blades*, ISIJ Int., Vol 52 (2012), No. 6, pp- 1066-1071.

Z. Tan, M. Ersson, P.G. Jönsson: *Uphill Teeming Utilizing TurboSwirl to Control Flow Pattern in Mould*”. Insänd för publicering i Steel Research International, September 2012.

### **Examensarbeten**

J. Svensson: *Plant Experiments Using a Swirl Blade in the Uphill Teeming Process*”, Examensarbete i Tillämpad Processmetallurgi, KTH, Stockholm, Jan 2012.

### **Avhandlingar**

Z. Tan: *Modeling of Initial Mould Filling in Uphill Teeming Process Considering a Trumpet*”, Licentiatavhandling, KTH, Stockholm 2012, ISBN 978-91-7501-239-1

# JERNKONTORET

## **BILAGA 3 – ANNAN RESULTAT- OCH KUNSKAPSFÖRMEDLING**

### **Seminarier, möten**

Medlemmar i forskningskommittén JK24053 besökte Götgjutningskommittén inom VDEh i maj 2011 för att utbyta erfarenheter om aktuella forskning inom götgitning. I samband med detta gavs en översikt över pågående forskning inom detta projekt.

### **Internationella konferenser**

Z. Tan, M. Ersson, P. G. Jönsson: "*Mathematical modeling of optimization of gating system during initial filling moment of uphill teeming process considering a trumpet*", ICRF-2012 conference, Aachen 3-7 June, 2012.

J. Lönnqvist, C.-Å. Däcker, S.P. Andersson: "*Determination of material properties and process development for ingot casting at Swerea KIMAB*", ICRF-2012 Conference, Aachen 3-7 June, 2012.

## Bilaga 4

### Strategiskt Stålforskningsprogram för Sverige 2007-2012

Svensk stålindustris marknadsledande position inom ett antal högt specialiserade nischer har sin grund i en konsekvent och långsiktig satsning på forskning. VINNOVA och Jernkontoret utarbetade 2006 på regeringens uppdrag ett gemensamt forskningsprogram, Strategiskt stålforskningsprogram för Sverige 2007-2012 (Stålforskningsprogrammet), som syftar till att behålla och stärka denna position och samtidigt förbättra miljöprestationen. Programmet är ett branschforskningsprogram vars mål är att förbättra den svenska stålindustrins konkurrenskraft, vilket också är skälet till att programmet administreras av Jernkontoret.

Stålforskningsprogrammet omfattar 245 miljoner kronor varav VINNOVA finansierar hälften. Resterande medel kommer från industrin, som kontanta medel eller i form av naturainsatser, t.ex. personal, forskningsresurser och experiment i produktionsanläggningar.

Branschens inflytande över programmet utövas genom en programstyrelse bestående av representanter för stålföretagen, Jernkontoret och VINNOVA. Programstyrelsen tar beslut om vilka projekt som ska beviljas medel. Prioritering av projektförslagen och den vetenskapliga granskningen av dessa handläggs av en grupp bestående av ordförandena i Jernkontorets teknikområden och adjungerade representanter från forskningsutförarna. Dessutom görs en extern utvärdering av ansökningarna som är vägledande för beslutet. Utlysningprocessen administreras av Jernkontoret.

Sammanlagt 30 projekt har beviljats anslag inom programmet. Forskningen genomförs i nära samarbete mellan järn- och stålindustrin, stålbranschens forskningsinstitut Swerea MEFOS och Swerea KIMAB, samt universitet och högskolor med utbildning och forskning inriktad på ståltillverkning och handlar såväl om att utveckla nya produkter som att effektivisera och miljöanpassa produktionsprocesserna. I vissa projekt deltar även kunder och leverantörer till stålindustrin. Det praktiska arbetet utförs inom forskningskommittéer inom Jernkontorets gemensamma forskning. I forskningskommittéerna deltar representanter för industriföretagen och forskningsutförarna. I arbetet tillämpas Jernkontorets regler för den gemensamma forskningen.

Programmets projekt täcker fyra ämnesområden:

- **Utveckling för hållbar tillväxt**  
från minskade utsläpp till högpresterande stål med minskad materialåtgång.
- **Morgondagens material och tillverkningsmetoder**  
från utveckling av lättare och starkare stål till hur materialet formas och sammansätts.
- **Avancerad modellering**  
från modellering på atomär nivå till studier av hur stålet beter sig i olika applikationer.
- **Förbättrad processteknik**  
från förbättrade mätmetoder till effektivare processteg.

Kraven på projekten inom Stålforskningsprogrammet är en tydlig förankring i industrin, och att programmet som helhet täcker hela värdekedjan, från råvaror till produkter. Huvuddelen av forskningsmedlen är avsedd för projekt med en tydlig anknytning till konkreta industriella behov, vars resultat relativt snabbt kan implementeras i produktionen. Resterande del av forskningsmedlen kan användas för så kallade innovativa forskningsprojekt med betydligt högre risk både vetenskapligt och i fråga om de kommersiella möjligheterna för stålindustrin på kort och medellång sikt.



# JERNKONTORET

## Bilaga 5 - Kommentarer vid syning av göt Ovako Hofors 2010-09-13

| Göt | Sida | Höjd över botten (cm) - kommentar  | Påsform |
|-----|------|--|---------|
| 1   | A    | <b>20 – svagt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd<br>80 – ett hål                      | timglas |
|     | B    | <b>20 – svagt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd                                      | timglas |
|     | C    | -  | timglas |
|     | D    | <b>20 – svagt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd                                      | timglas |
| 2   | A    | <b>20 – stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd<br>150 - hål 1x3cm                         |         |
|     | B    | <b>20 – stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd<br>160–180 - flera hål, ett stort hål      |         |
|     | C    | <b>20 – svagt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd<br>180 – flera småhål                |         |
|     | D    | <b>20 – svagt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd                                      |         |
| 3   | A    | <b>20 – kraftigt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd<br>170- mindre hål                |         |
|     | B    | <b>20 – svagt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd<br>160 – ett hål<br>170 – hål i kant |         |
|     | C    | -  |         |
|     | D    | <b>20 –tydligt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd<br>60 - hål                         |         |
| 4   | A    | 90 – hål<br>120 – hål<br>160 – 180 flera hål över hela bredden                                 | timglas |
|     | B    | -  | timglas |
|     | C    | -  | timglas |
|     | D    | -  | timglas |
| 5   | A    | <b>20 – svagt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd                                      | timglas |
|     | B    | <b>20 – svagt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd<br>150 – ett hål                     | timglas |
|     | C    | <b>20 – svagt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd<br>170 – några små hål               | timglas |
|     | D    | -  | timglas |
| 6   | A    | 170-180 – flera hål över hela sidan  | timglas |
|     | B    | -  | timglas |
|     | C    | -  | timglas |
|     | D    | 160-189 små hål, tilltar i antal med höjd  | timglas |
| 7   | A    | 150 – små hål  | timglas |
|     | B    | 150 – små hål  | timglas |
|     | C    | 90 – stort hål<br>160 – stort hål  | timglas |
|     | D    | 150 – små hål  | timglas |
| 8   | A    | <b>20 – stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd<br>160-180 – små hål, tilltar uppåt        | timglas |

# JERNKONTORET

|    |   |   |         |
|----|---|---|---------|
|    | B | <b>20 –stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd<br>150 – ett hål<br>170-180 – flera hål                | timglas |
|    | C | <b>20 – svagt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd   | timglas |
|    | D | <b>20 –stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd  | timglas |
| 9  | A | <b>20 –stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd  |         |
|    | B | <b>20 – svagt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd   |         |
|    | C | <b>20 – svagt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd   |         |
|    | D | <b>20 – svagt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd<br>90 – ett hål ca 1x3 cm<br>180 – hål i kanten |         |
| 10 | A | -   |         |
|    | B | <b>20 – tydligt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd<br>50 – klump med gp.                         |         |
|    | C | <b>20 – svagt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd   |         |
|    | D | <b>20 –stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd  |         |
| 11 | A | <b>20 – svagt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd<br>160 – litet hål                              |         |
|    | B | <b>20 – svagt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd   |         |
|    | C | <b>20 – svagt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd   |         |
|    | D | <b>20 – svagt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd<br>50 – gp i svagt strål, ⊥ mot göthöjd         |         |
| 12 | A | 10 – litet hål<br>150 – 3st fula hål, mot hörnet  |         |
|    | B | 100-180 – fula sår hela vägen upp till topp   |         |
|    | C | <b>20 – svagt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd<br>150 – lite gp rester ⊥ mot göthöjd           |         |
|    | D | -   |         |
| 13 | A | <b>20 – svagt, svagt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd  |         |
|    | B | <b>20 – svagt, svagt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd  |         |
|    | C | <b>20 – svagt, svagt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd<br>160 – litet hål                       |         |
|    | D | <b>20 – svagt, svagt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd  |         |
| 14 | A | <b>20 – svagt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd   |         |
|    | B | <b>20 – svagt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd   |         |
|    | C | <b>20 – svagt, svagt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd<br>80 – en stor grop<br>160 – en grop    |         |
|    | D | <b>20 – svagt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd   |         |
| 15 | A | <b>35 –tydligt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd  |         |
|    | B | <b>35 –tydligt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd  |         |
|    | C | <b>35 –tydligt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd<br>70 – hål<br>100 – hål                       |         |
|    | D | <b>35 –tydligt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd<br>150-170 – flera gropar                      |         |

# JERNKONTORET

|    |   |   |         |
|----|---|---|---------|
| 16 | A | <b>20 – svagt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd<br>150 – litet hål mot kanten<br>170 – gp rakt över göt |         |
|    | B | <b>20 – svagt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd<br>120 – hål<br>170 – hål vid hörn och mitt             |         |
|    | C | <b>20 – svagt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd   |         |
|    | D | <b>20 – svagt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd<br>170 – ett stråk med några större hål                 |         |
| 17 | A | <b>20 – svagt, svagt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd<br>180 – stråk av gp.                            | timglas |
|    | B | 150-170 – Rinningar av gp, från box och ner på ett par ställen  | timglas |
|    | C | <b>20 – svagt, svagt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd<br>170-180 – rinningar av gp                     | timglas |
|    | D | <b>20 – svagt, svagt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd<br>170-180 – svaga rinningar av gp.              | timglas |
| 18 | A | <b>20 – svagt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd<br>120-180 – grova sår, hål                             |         |
|    | B | <b>20 – svagt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd<br>160 – 180 rinningar av gp                            |         |
|    | C | <b>20 – svagt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd   |         |
|    | D | <b>20 – svagt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd<br>150-180 – rinningar av gp.                           |         |
| 19 | A | <b>20 – tydligt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd<br>160-180 - rinningar av gp                          |         |
|    | B | <b>20 – svagt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd<br>160-180 – rinningar av gp                            |         |
|    | C | <b>20 – tydligt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd<br>160-180 – några hål                                |         |
|    | D | <b>20 – tydligt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd<br>160-180 – hål (ej rinningar)                       |         |
| 20 | A | 10 – ett litet hål<br>170-180 – tre rinningar av gp   | timglas |
|    | B | <b>20 – svagt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd<br>180 – stråk av gp ⊥ under box                        | timglas |
|    | C | 160-180 små rinningar av gp   | timglas |
|    | D | 170-180 litet stråk ⊥ och nån fläck av gp under box   | timglas |
| 21 | A | 100-180 – fullt med insmält gp, kraftiga skador   | timglas |
|    | B | 100-180 – insmält gp, ganska kraftiga skador  | timglas |
|    | C | 100-180 – små sår/hål, ej kraftigt  | timglas |
|    | D | 100-180 - insmält gp, ganska kraftiga skador  | timglas |
| 22 | A | 60-180 – små hål, tilltar med höjden  | timglas |
|    | B | <b>20 – svagt stråk</b> av gp över götsida, ⊥ mot göthöjd<br>160-180 – små hål                                    | timglas |
|    | C | -   | timglas |
|    | D | 160-180 – små hål   | timglas |
| 23 | A | 120-180 – kraftiga hål  | timglas |
|    | B | 150-180 – kraftiga hål  | timglas |

# JERNKONTORET

|    |   |   |         |
|----|---|---|---------|
|    | C | 150-180 – fåtal hål   | timglas |
|    | D | 150-180 – kraftiga hål  | timglas |
| 24 | A | <b>20 – svagt stråk</b> av gp över götsida, $\perp$ mot göthöjd<br>60-180 – flertal små hål | timglas |
|    | B | <b>20 – svagt stråk</b> av gp över götsida, $\perp$ mot göthöjd<br>60-180 – flera små hål   | timglas |
|    | C | 100 – ett hål   | timglas |
|    | D | 60-180 – flera små hål  | timglas |

# JERNKONTORET

## Bilaga 6 - Kommentarer vid syning av göt hos Ovako Hofors 2012-04-11

| Göt | Sida | Höjd över botten (cm) - kommentar   | Påsform |
|-----|------|---|---------|
| 1   | A    | 20 – utbuktning, 2st<br>20 – och upp till mitten, svaga horisontella ränder över götsida<br>70 – stor grop                                |         |
|     | B    | 20-40 – ful gropig yta<br>30 – stor utbuktning  |         |
|     | C    | och upp till mitten, svaga horisontella ränder över götsida   |         |
|     | D    | 30 – stor utbuktning<br>30-60 – svaga horisontella ränder över götsida  |         |
| 2   | A    | 20 - och upp till mitten, svaga horisontella ränder över götsida<br>45 - utbuktning   | timglas |
|     | B    | -   | timglas |
|     | C    | 20 – grop<br>60 – grop<br>100 - grop  | timglas |
|     | D    | 20 - och upp till mitten, svaga horisontella ränder över götsida<br>50 – grop<br>150 – grop och gjutpulverrester                          | timglas |
| 3   | A    | 20 - och upp till mitten, svaga horisontella ränder över götsida<br>130 - grop  | timglas |
|     | B    | svaga horisontella ränder över götsida  | timglas |
|     | C    | 20 - och upp till mitten, svaga horisontella ränder över götsida<br>20 – liten grop   | timglas |
|     | D    | 20 - och upp till mitten, svaga horisontella ränder över götsida  | timglas |
| 4   | A    | 20 - och upp till mitten, svaga horisontella ränder över götsida<br>50 – utbuktning<br>150 – små gropar                                   |         |
|     | B    | 20 - och upp till mitten, svaga horisontella ränder över götsida  |         |
|     | C    | 20 - och upp till mitten, svaga horisontella ränder över götsida<br>120 – liten grop  |         |
|     | D    | 20 - och upp till mitten, svaga horisontella ränder över götsida  |         |
| 5   | A    | 20 - och upp till mitten, svaga horisontella ränder över götsida<br>160 - grop  | timglas |
|     | B    | 20 - och upp till mitten, svaga horisontella ränder över götsida<br>80 - grop   | timglas |
|     | C    | 20 - och upp till mitten, svaga horisontella ränder över götsida<br>90 - grop   | timglas |
|     | D    | 24 - och upp till mitten, svaga horisontella ränder över götsida<br>110 grop i kant<br>160 – gropar                                       | timglas |
| 6   | A    | 20 - och upp till mitten, svaga horisontella ränder över götsida<br><b>20 – utdragen grop, liknande stråk av gjutpulver</b><br>100 - grop | timglas |
|     | B    | 20 - och upp till mitten, svaga horisontella ränder över götsida<br>15 – liten grop   | timglas |
|     | C    | -   | timglas |

# JERNKONTORET

|    |   |   |         |
|----|---|---|---------|
|    | D | 18 – liten grop<br>20 - och upp till mitten, svaga horisontella ränder över götsida<br>50 –liten grop           | timglas |
| 7  | A | 20 - och upp till mitten, svaga horisontella ränder över götsida  | timglas |
|    | B | 20 - och upp till mitten, svaga horisontella ränder över götsida, lite kraftigare ränder på mitten än andra göt | timglas |
|    | C | 20 - och upp till mitten, svaga horisontella ränder över götsida  | timglas |
|    | D | 20 - och upp till mitten, svaga horisontella ränder över götsida<br>100 – liten grop                            | timglas |
| 8  | A | 40 - och upp till mitten, svaga horisontella ränder över götsida  | timglas |
|    | B | 100 – svaga ränder över götsida   | timglas |
|    | C | 20 – liten grop<br>30 – 40 - svaga horisontella ränder över götsida   | timglas |
|    | D | 18–36 - randiga gropar<br>40-120 – svaga ränder   | timglas |
| 9  | A | 20 – tydlig utdragen grop, som en rand<br>Generellt är just detta göt mer smågropigt än randigt på ytorna.      |         |
|    | B | 70 – grop<br>90 - grop  |         |
|    | C | 20 – grov rand<br>100 – grop  |         |
|    | D | 19 – stor utdragen grop<br>Ränder på mitten av sida   |         |
| 10 | A | 16 - och upp till mitten, svaga horisontella ränder över götsida<br>130 – grop<br>150 grop                      |         |
|    | B | -   |         |
|    | C | 75–125 – gropar<br>150-170 – gropar<br>En dålig sida  |         |
|    | D | 15 - och upp till mitten, svaga horisontella ränder över götsida  |         |
| 11 | A | 30 – liten grop   |         |
|    | B | 40 – svag rand  |         |
|    | C | 20 - och upp till mitten, svaga horisontella ränder över götsida  |         |
|    | D | 80 - grop   |         |
| 12 | A | 20 - och upp till mitten, svaga horisontella ränder över götsida<br>110 – liten grop                            |         |
|    | B | Svaga ränder på mitten av götsida   |         |
|    | C | 15-20 – utdragen grop<br>60-110 - ränder  |         |
|    | D | 40-100 – tydliga ränder<br>145 – stor grop  |         |
| 13 | A | 120 – gropar<br>140 - gropar  |         |
|    | B | 15 – svag rand över göt   |         |
|    | C | 15 – svag rand<br>15 – liten grop   |         |



# JERNKONTORET

|    |   |  |         |
|----|---|--|---------|
|    | D | 15 – svag rand<br>100 – svaga ränder<br>130 - grop                             |         |
| 14 | A | 15 – grop<br>15 – utbuktning<br>Ränder mitt på götet<br>160 - grop             |         |
|    | B | 100 - grop   |         |
|    | C | 15 - grop  |         |
|    | D | <b>15 – stråk av gjutpulverrester</b>  |         |
| 15 | A | 20 – svag rand<br>20 – grop<br>24 – grop                                       |         |
|    | B | 18 – rand<br>115 - grop  |         |
|    | C | 20 – flera gropar, övrigt bra  |         |
|    | D | 18 – flera gropar<br>Lite randigt på mitten                                    |         |
| 16 | A | 18 – gropar<br>130 – grop  |         |
|    | B | 18 – rand<br>150 – grop  |         |
|    | C | 20 – tydlig rand<br>50 – grop<br>Ränder på mitten göt                          |         |
|    | D | <b>20 – grov rand, stråk</b><br>Svaga ränder på mitten                         |         |
| 17 | A | 100 – grop<br>150 – grop<br>Generellt sett fina ytor på hela götet             |         |
|    | B | -  |         |
|    | C | 40 – liten grop  |         |
|    | D | Svaga ränder på mitten av götet<br>140 – grop                                  |         |
| 18 | A | 170 – liten grop   | timglas |
|    | B | 25 – utbuktning<br>120 – grop  | timglas |
|    | C | 100-120 – flera små gropar<br>130-150 – gropar<br>170 - grop                   | timglas |
|    | D | 20 - och upp till mitten, svaga horisontella ränder över götsida<br>160 – grop | timglas |
| 19 | A | 70 – grop<br>135 – liten grop<br>140 – liten grop                              | timglas |
|    | B | -  | timglas |

# JERNKONTORET

|    |   |  |         |
|----|---|--|---------|
|    | C | 160 – liten grop   | timglas |
|    | D | 20 - och upp till mitten, svaga horisontella ränder över götsida<br>160 – små gropar         | timglas |
| 20 | A | 20 – svag rand   |         |
|    | B | -  |         |
|    | C | Svaga ränder på mitten av göt  |         |
|    | D | 20-22 – små gropar   |         |
| 21 | A | 120 – liten grop   | timglas |
|    | B | 20 – svag rand<br>90 – grop  | timglas |
|    | C | 20 - och upp till mitten, svaga horisontella ränder över götsida<br>110 – grop<br>160 - grop | timglas |
|    | D | 24 - och upp till mitten, svaga horisontella ränder över götsida<br>160 – grop               | timglas |
| 22 | A | 20 – svag rand   | timglas |
|    | B | 90 – grop  | timglas |
|    | C | 100 – lite gjutpulverrester, gropigt<br>150 – lite gjutpulverrester, små gropar              | timglas |
|    | D | 20 – svag rand<br>150 – gropar<br>Lite fulare yta på denna sida.                             | timglas |
| 23 | A | 20 –liten grop<br>20 – svag rand<br>Ett fint göt!  | timglas |
|    | B | -  | timglas |
|    | C | -  | timglas |
|    | D | -  | timglas |
| 24 | A | -  | timglas |
|    | B | -  | timglas |
|    | C | 18 – liten grop  | timglas |
|    | D | 16 – grop<br>30-40 några gropar<br>Svaga ränder över denna sida på götet.                    | timglas |

# JERNKONTORET

## Bilaga 7 - Kommentarer vid syning av göt hos Scana Björneborg 2010-10-13. (Försök 1)

| Göt | Sida | Höjd över botten (cm) - kommentar                          | Påsform |
|-----|------|--|---------|
| 1   | A    | Övre 1/3 del – lite vertikala rinningar, kokill sliten     | timglas |
|     | B    | -  | timglas |
|     | C    | Ej synats  | timglas |
|     | D    | Gjutpulver fastnat nära botten, ⊥ mot göthöjd              | timglas |
| 2   | A    | Liten rinning  | timglas |
|     | B    | Väldigt lite rinning                                       | timglas |
|     | C    | Ej synats  | timglas |
|     | D    | Liten tunn rinning mittpå övre delen                       | timglas |
| 3   | A    | Liten tunn rinning i topp                                  | timglas |
|     | B    | Ua. Dålig kokill   | timglas |
|     | C    | Ej synats  | timglas |
|     | D    | u.a. dock sämsta kokillen i testet.                        | timglas |
| 4   | A    | Liten rinning i topp                                       | timglas |
|     | B    | Liten rinning i topp                                       | timglas |
|     | C    | Ej synats  | timglas |
|     | D    | Liten rinning i topp.                                      | timglas |
| 5   | A    | Rinning i topp och på kant                                 | timglas |
|     | B    | Två rinningar mitt på sidan                                | timglas |
|     | C    | Ej synats  | timglas |
|     | D    | Ua. (rinningar tunnare och färre än på ref. nr 10)         | timglas |
| 6   | A    | Flera rinningar i topp                                     |         |
|     | B    | Liten rinning mitt på.                                     |         |
|     | C    | Ej synats  |         |
|     | D    | Ua   |         |
| 7   | A    | - sliten kokill  |         |
|     | B    | Kokillavtryck  |         |
|     | C    | Ej synats  |         |
|     | D    | Kokillavtryck  |         |
| 8   | A    | Stora rinnmärken från topp ned till ca ¼ höjd över botten  |         |
|     | B    | Lite rinningar i topp                                      |         |
|     | C    | Ej synats  |         |
|     | D    | Rinningar på övre 1/2                                      |         |
| 9   | A    | Stora rinningar mitt på                                    |         |
|     | B    | Tydliga rinningar mitt på och i topp                       |         |
|     | C    | Ej synats  |         |
|     | D    | Rinningar mitt på och i topp                               |         |
| 10  | A    | Lite rinningar   |         |
|     | B    | Längsgående rinningar från topp till botten                |         |
|     | C    | Ej synats  |         |
|     | D    | Breda rinningar från topp till mitten (lansad i underkant) |         |

# JERNKONTORET

## Bilaga 8 - Kommentarer vid syning av göt hos Scana Björneborg 2010-11-25

| Göt | Sida | Höjd över botten (cm) - kommentar   | Påsform |
|-----|------|---|---------|
| 1   | A    | Gropig*<br>Rinningar mitt på ena kanten   | timglas |
|     | B    | Gropig*   | timglas |
|     | C    | Ej synats   | timglas |
|     | D    | gropig* , särskilt mycket djupare gropar  | timglas |
| 2   | A    | Lite gropig*  | timglas |
|     | B    | Lite gropig*  | timglas |
|     | C    | Ej synats   | timglas |
|     | D    | Lite gropig*<br>Lite rinningar i både topp och botten längs ena kanten**  | timglas |
| 3   | A    | Gropig*<br>Små rinningar nedtill  | timglas |
|     | B    | Ej särskilt gropig<br>Några små rinningar   | timglas |
|     | C    | Ej synats   | timglas |
|     | D    | Rinning i topp  | timglas |
| 4   | A    | Gropig*<br>Rinning längs ena kanten, övre halvan.<br>Rinning mitt på övre halvan                                | timglas |
|     | B    | Små rinningar mitt på sidan   | timglas |
|     | C    | Ej synats   | timglas |
|     | D    | Stor rinning längs ena kanten<br>Gropig* , över hela sidan men särskilt vid botten                              | timglas |
| 5   | A    | Få gropar i botten<br>Rinningar i topp, mitt på sidan<br>Små parallella veck mitt på sidan, ca 2dm <sup>2</sup> | timglas |
|     | B    | Små rinningar i både topp och botten  | timglas |
|     | C    | Ej synats   | timglas |
|     | D    | Få gropar i botten<br>Rinning i topp, mitt på sidan   | timglas |
| 6   | A    | Lite gropar*  |         |
|     | B    | Gropig*<br>Rinning i topp, mitt på sida   |         |
|     | C    | Ej synats   |         |
|     | D    | Gropig*<br>Vertikala ränder, utåtbuktande mitt på sida (p.g.a. kokillens skick?)                                |         |
| 7   | A    | Ful yta, dålig kokill<br>Mycket gropar i nederdel*<br>Några utåtbuktande vertikala ränder                       |         |
|     | B    | Mycket gropar på hela sidan*  |         |
|     | C    | Ej synats   |         |
|     | D    | Mycket gropar på hela sidan*  |         |
| 8   | A    | Gropigt* över hela sidan men tilltar nedåt<br>Rinning i topp, mitt på sida                                      |         |

# JERNKONTORET

|    |   |  |  |
|----|---|--|--|
|    | B | Gropig*  |  |
|    | C | Ej synats  |  |
|    | D | Lite gropar*<br>Rinning från topp, mitt på sida  |  |
| 9  | A | Mycket gropar*   |  |
|    | B | Ej synats  |  |
|    | C | Ej synats  |  |
|    | D | Mycket gropar<br>Rinning längs ena kanten, från topp                                     |  |
| 10 | A | Flera rinningar från topp, mitt på sida<br>Några parallella horisontella veck vid botten |  |
|    | B | Stora rinningar från topp och långt ned, både mitt på sida och mot kanten                |  |
|    | C | Ej synats  |  |
|    | D | Breda rinningar i topp, mitt på sida<br>Mycket gropar*, särskilt mitt på sidan           |  |

\* Dessa gropar förekommer typiskt över hela sidans bredd, ca 0,5 – 1 cm<sup>3</sup>/grop, särskilt förekommande på nedre halva av sidan. Antalet gropar per m<sup>2</sup> är inte uppskattat men är tätare mitt på sidan än ut mot kanten. Från håll kan groparna liknas vid koppärr. Inget gjutpulver-slagg ligger kvar i dessa gropar, vilket det gör på en del andra ställen på göten där det inte är någon grop.

\*\* Rinningar i toppen sträcker sig oftast från boxen och nedåt.

# JERNKONTORET

## Bilaga 9 - Kommentarer vid syning av göt hos Scana Björneborg, Charge E2159

| Göt | Sida | Höjd över botten (cm) - kommentar   | Påsform        |
|-----|------|---|----------------|
| 1   | A    | Ganska fin generell. Lite koppig. Enstaka tunn rinning                          | 1x9kg upphängd |
|     | B    | Ganska fin generell. Lite koppig. Enstaka tunn rinning                          |                |
|     | C    | -   |                |
|     | D    | Längre rinningar  |                |
| 2   | A    | Grov koppighet i botten, nästan utan rinningar                                  | 1x9kg upphängd |
|     | B    | Mycket koppighet i botten, lite tunna rinningar upptill                         |                |
|     | C    | -   |                |
|     | D    | Grov koppighet i botten, tunna rinningar upptill                                |                |
| 3   | A    | Koppig botten   | 4x3kg botten   |
|     | B    | Koppig botten (svår att se, ligger tätt mot annat göt)                          |                |
|     | C    | -   |                |
|     | D    | Koppig botten, rinningar i toppen   |                |
| 4   | A    | Koppig botten, svaga ripplemarks i hörn, små smala rinningar i topp             | 4x3kg botten   |
|     | B    | Koppig botten, rinningar i toppen   |                |
|     | C    | -   |                |
|     | D    | Koppig botten, rinnigar i toppen  |                |
| 5   | A    | Koppig botten, rinnigar i toppen  | 4x3kg botten   |
|     | B    | Koppig botten, lite rinnigar i toppen   |                |
|     | C    | -   |                |
|     | D    | Mycket rinningar över hela sidan (är bortre sida från inlopp)                   |                |
| 6   | A    | Koppig botten, svaga ripplemarks i undre halvan (ej i hörn) , rinnigar i toppen | 4x3kg botten   |
|     | B    | Långa rinningar, från ¼ höjd till box   |                |
|     | C    | -   |                |
|     | D    | Djupa rinningar över hela sidan   |                |
| 7   | A    | Koppig botten, svaga ripplemarks i undre halvans hörn, rinningar i toppen       | 1x9kg upphängd |
|     | B    | Koppig botten, svaga ripplemarks i undre halvans hörn, rinningar i toppen       |                |
|     | C    | -   |                |
|     | D    | Koppig botten, svaga ripplemarks i undre halvans hörn                           |                |
| 8   | A    | Koppig botten, rinnigar i toppen  | 1x9kg upphängd |
|     | B    | Koppig botten, rinnigar i toppen  |                |
|     | C    | -   |                |
|     | D    | Koppig botten, rinnigar i toppen  |                |

# JERNKONTORET

## Bilaga 10 - Kommentarer vid syning av göt hos Scana Björneborg Charge E2163

| Göt       | Sida     | Höjd över botten (cm) - kommentar  | Påsform                         |
|-----------|----------|--|---------------------------------|
| <b>1</b>  | <b>A</b> | Grov koppighet i botten, lite rinningar i toppen   | 1x9kg upphängd                  |
|           | <b>B</b> | Koppighet över hela sidan, rinningar i botten!!  |                                 |
|           | <b>C</b> | -  |                                 |
|           | <b>D</b> | Koppighet över hela sidan, rinningar över hela sidan på sina ställen djupa rinningar.      |                                 |
| <b>2</b>  | <b>A</b> | I stort sett likvärdig med göt nr. 1   | 1x9kg upphängd                  |
|           | <b>B</b> | -  |                                 |
|           | <b>C</b> | -  |                                 |
|           | <b>D</b> | -  |                                 |
| <b>3</b>  | <b>A</b> | Koppigt i underdel, rinning i ett hörn på överdel  | 1x9kg upphängd,<br><b>midja</b> |
|           | <b>B</b> | Koppigt i underdel, rinningar på överdel   |                                 |
|           | <b>C</b> | -  |                                 |
|           | <b>D</b> | Koppigt på underdel, små rinningar i överdel, generellt likt de övriga göten 3, 4, 8 och 9 |                                 |
| <b>4</b>  | <b>A</b> | Koppigt i underdel, rinningar på överdel   | 1x9kg upphängd,<br><b>midja</b> |
|           | <b>B</b> | Koppigt i underdel, tunna rinningar på överdel   |                                 |
|           | <b>C</b> | -  |                                 |
|           | <b>D</b> | Koppigt i underdel, rinningar på HELA överdel  |                                 |
| <b>5</b>  | <b>A</b> | Grov koppighet i underdel, OBS, inga rinningar på hela götet!!                             | 1x9kg upphängd,<br><b>midja</b> |
|           | <b>B</b> | koppighet i underdel   |                                 |
|           | <b>C</b> | -  |                                 |
|           | <b>D</b> | koppighet i underdel   |                                 |
| <b>6</b>  | <b>A</b> | Koppigt och långa djupa men smala rinningar  | 1x9kg upphängd                  |
|           | <b>B</b> | -  |                                 |
|           | <b>C</b> | -  |                                 |
|           | <b>D</b> | -  |                                 |
| <b>7</b>  | <b>A</b> | Likt göt 1, 2 och 6  | 1x9kg upphängd                  |
|           | <b>B</b> | -  |                                 |
|           | <b>C</b> | -  |                                 |
|           | <b>D</b> | -  |                                 |
| <b>8</b>  | <b>A</b> | Dålig kokill som ger en ful yta, svårt att bedöma götet.                                   | 1x9kg upphängd,<br><b>midja</b> |
|           | <b>B</b> | -  |                                 |
|           | <b>C</b> | -  |                                 |
|           | <b>D</b> |  |                                 |
| <b>9</b>  | <b>A</b> | Koppigt i underdel, rinningar i överdel, gäller hela götet                                 | 1x9kg upphängd,<br><b>midja</b> |
|           | <b>B</b> | -  |                                 |
|           | <b>C</b> | -  |                                 |
|           | <b>D</b> | -  |                                 |
| <b>10</b> | <b>A</b> | koppighet i underdel, tunna rinningar i överdel  | 1x9kg upphängd,<br><b>midja</b> |
|           | <b>B</b> | koppighet i underdel   |                                 |
|           | <b>C</b> | -  |                                 |
|           | <b>D</b> | koppighet i underdel, rinningar på överdel.  |                                 |



# JERNKONTORET

## Bilaga 11 - Kommentarer vid syning av göt hos Scana Björneborg Charge E2164

| Göt | Sida | Höjd över botten (cm) - kommentar   | Påsform               |
|-----|------|---|-----------------------|
| 1   | A    | Koppighet i botten, partiella ripplemarks i hörn, tunna rinningar i topp  | 4x3kg botten          |
|     | B    | Väldigt mycket rinningar  |                       |
|     | C    | -   |                       |
|     | D    | Mycket rinningar  |                       |
| 2   | A    | Tunna fina ripplemarks mitt på underdelens sida, rinningar på överdel     | 1x9kg upphängd, midja |
|     | B    | Tunna fina ripplemarks mitt på underdelens sida, rinningar på överdel     |                       |
|     | C    | -   |                       |
|     | D    | ripplemarks mitt på underdelens sida, rinningar på överdel                |                       |
| 3   | A    | Ripplemarks mitt på överdelens sida, djupa rinningar (götets värsta sida) | 4x3kg botten          |
|     | B    | Rinningar, ripplemarks  |                       |
|     | C    | -   |                       |
|     | D    | Rinningar, ripplemarks  |                       |
| 4   | A    | Rinningar , lite ripplemarks mitt på sida                                 | 1x9kg upphängd, midja |
|     | B    | Mycket tunna ripplemarks, i övrigt fin                                    |                       |
|     | C    | -   |                       |
|     | D    | Vissa rinningar på överdel.(verkar vara mkt gjutpulver)                   |                       |

Generellt inte så mycket koppighet hos göten i charge 2164



## **DEN SVENSKA STÅLINDUSTRINS BRANSCHORGANISATION**

Jernkontoret grundades 1747 och ägs sedan dess av de svenska stålföretagen. Jernkontoret företräder stålindustrin i frågor som berör handelspolitik, forskning och utbildning, standardisering, energi och miljö samt skatter och avgifter. Jernkontoret leder den gemensamma nordiska stålforskningen. Dessutom utarbetar Jernkontoret branschstatistik och bedriver bergshistorisk forskning.

**JERNKONTORET**

Box 1721, SE-111 87 Stockholm, Sweden Kungsträdsgatan 10  
Telephone +46 8 679 17 00 Fax +46 8 611 20 89  
E-mail office@jernkontoret.se www.jernkontoret.se

