

Utveckling av beräkningsmodell för skaltillväxt i kokill med hänsyn tagen till gjutpulvrets egenskaper

Carl-Åke Däcker, Anders Salvén och Peter S. Andersson,
Swerea KIMAB

Ulf Sjöström, Ralph Nyström, Magnus Lundqvist och
Tomas Jonsson, Swerea MEFOS

Seshadri Seetharaman, Taishi Matsuhita och
Jesper Ooppelstrup, Kungliga Tekniska högskolan,
Karin Hansson Antonsson, Sandvik Materials Technology

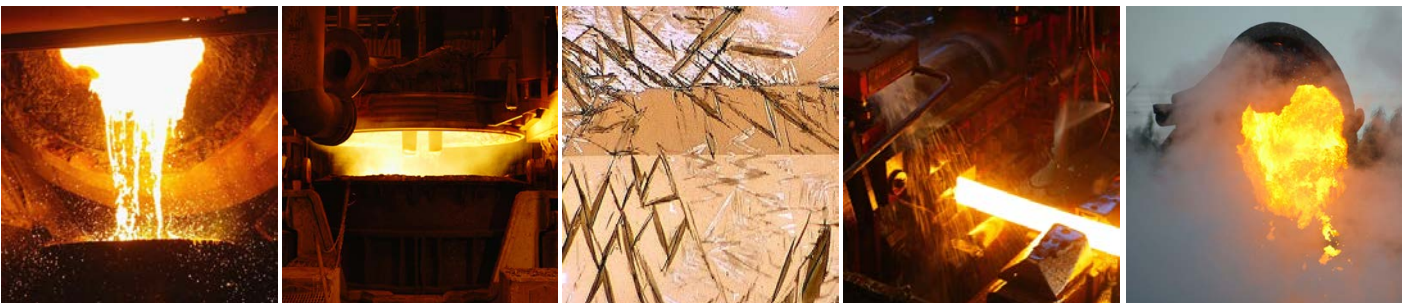


Foto: Stig-Göran Nilsson och Mats Hillert

Sammanfattning

Projektet JK 24051 ingår i Strategiskt Stålforskningsprogram för Sverige 2007-2012 finansierat av VINNOVA och Jernkontoret. Projektet har bedrivits som ett samverkansprojekt mellan Swerea KIMAB, Swerea MEFOS och Avdelningen för materialens processvetenskap på KTH med tre inriktningar:

- 1) Utveckling av beräkningsmodell för skaltillväxt i stränggjutningskokill (huvudprojekt).
- 2) Kunskapsutveckling av gjutpulver samt fysikalisk provning för de vid modellutvecklingen använda gjutpulverna.
- 3) Förstudie av roterande stoppare i gjutrör.

Utveckling av beräkningsmodell

För att uppnå kritisk massa vad gäller forskare som arbetat med detta mycket komplicerade utvecklingsarbete har denna skett parallellt hos Swerea KIMAB och Swerea MEFOS i två modellplattformar, COMSOL Multiphysics och Fluent/Phoenix. Utvecklingen har skett i steg med utveckling av 1D-modell, 2D-modell samt slutligen 3D-modell. Beräkningarna har validerats med hjälp av termoelementförsedda kokiller hos SSAB Plate i Oxelösund och Sandvik Materials Technology. Fysikaliska data för de gjutpulver som använts vid valideringen har man fått dels från laboratorieprovningar som utförts av KTH dels från litteratordata. Resultatet från utvecklingsarbetet är att man uppnått de målsättningar beträffande utdata som var satta vid projektansökan dvs;

Skaltjocklek och utbredning av "mushy zone". Temperaturfördelning i stålskal.

Temperaturfördelning i gjutslag.

Temperaturfördelning i kokill.

Ökning av vattentemperatur i kokill.

Värmefflöde från kokill.

Stålskalets krympning.

Arbetet drivs nu vidare i form av ett tillämpat simuleringsprojekt, som till största delen är finansierat av Swerea, där SSAB Plate, SSAB Strip Products, Outokumpu Stainless och Sandvik Materials Technology deltar.

Kunskapsutveckling av gjutpulver

På KTH har man tagit fram fysikaliska egenskaper beträffande värmekapacitet och viskositet för de slagger som använts vid valideringen hos SSAB Plate och Sandvik Materials Technology. Utöver detta har utvecklats en termodynamiskt baserad viskositetsmodell för gjutslaggar där sexkomponent systemet $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-FeO-MgO-MnO}$ utökats med CaF_2 och alkali som Na_2O . En databas har också utvecklats för gjutpulvers materialegenskaper.

Förstudie roterande stoppare

Som ett fristående delprojekt studerades funktionen av roterande stoppare i Swerea MEFOS 150 kg:s försöksugn. Resultatet från undersökningen gav en indikation på att det inte fanns något slitageproblem även om stopparen roteras under 4.5 timmar, vilket är den tid den industriella applikationen kräver, varför fortsatta försök i full skala kunde rekommenderas.

Nyckelord:

Beräkning, modell, stränggjutning, skaltillväxt, gjutpulver, simulering, värmeöverföring, stopparstake

SUMMARY

The project JK 24051 belongs to the Strategic Steel Research Programme for Sweden 2007-2012 jointly funded by VINNOVA and Jernkontoret. The project has been carried out as a close collaboration between Swerea KIMAB, Swerea MEFOS and Materials Process Science at KTH Royal Institute of Technology with the following tasks:

1. Development of a calculation model for shell growth in a continuous casting mould (main project).
2. Development of knowledge regarding mould powders and physical testing of those mould powders used in the development of the calculation model.
3. Pre-study of a rotating stopper in a casting tube.

Development of the calculation model

In order to achieve a critical mass regarding researchers involved in this very complicated development work, the research has been carried out in parallel at Swerea KIMAB and Swerea MEFOS using two model platforms, COMSOL Multiphysics and Fluent/Phoenics. The development has been made in steps starting with a 1D-model, followed by the 2-D-model and finally by the 3D-model. The calculations have been validated with moulds equipped with thermocouples at SSAB Plate in Oxelösund and Sandvik Materials Technology. Physical data for the mould powders used in the validation have been obtained from laboratory experiments carried out at KTH as well as from literature. The results of the research are that the targets are met regarding the outputs described in the project application i.e.:

Shell thickness and distribution of “mushy zone”	Temperature distribution in steel shell
Temperature distribution in mould slag	Temperature distribution in the mould
Increase of water temperature in the mould	Heat flow from the mould
The shrinkage of the steel shell	

The research will be continued in an applied simulation project mainly funded by Swerea. The industrial partners are SSAB Plate, SSAB Strip Products, Outokumpu Stainless and Sandvik Materials Technology.

Development of knowledge regarding mould powders

At KTH physical properties have been obtained regarding heat capacity and viscosity of the slags used during the validation work at SSAB Plate and Sandvik Materials Technology. In addition a thermodynamically based viscosity model has been developed for mould slags where the six component system $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-FeO-MgO-MnO}$ has been expanded with the addition of CaF_2 and alkali such as Na_2O . A data base has been developed for the material characteristics of mould powders.

Pre-study of a rotating stopper

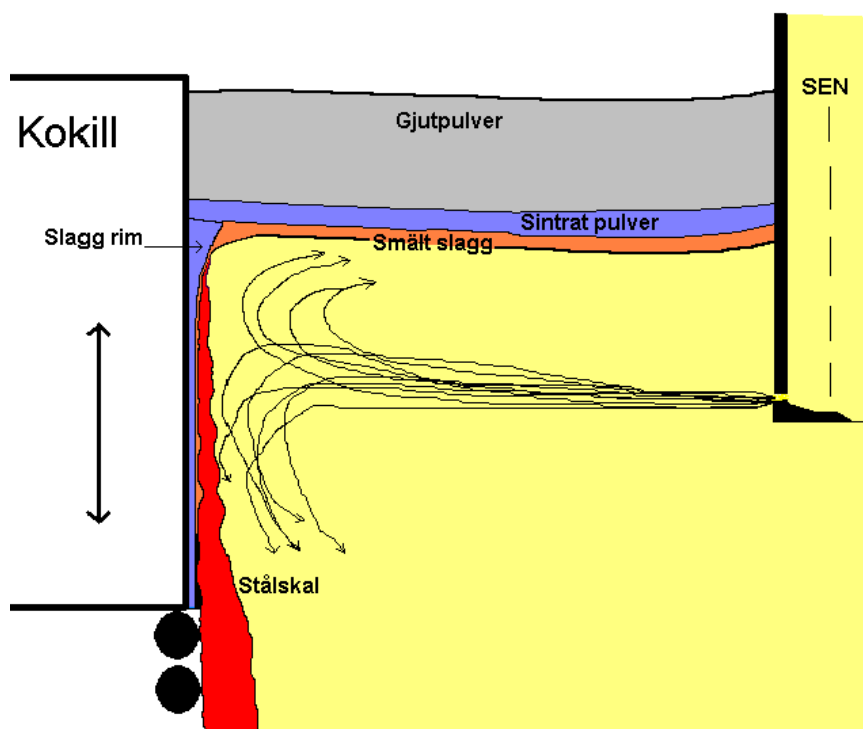
As an independent sub-project the performance of a rotating stopper in the 150 kg pilot furnace of Swerea MEFOS was studied. The results indicated no problems of wear although the stopper is rotated during 4,5 hours, which is the required time of an industrial application. Further tests in full scale are thus recommended.

Keywords:

Calculation, model, continuous casting, shell, growth, mould powder, simulation, heat transfer, stopper

1. Inledning

Vid stränggjutning av stål tillför man den smälta metallen via ett keramiskt gjutrör ner i en vattenkyld kokill av koppar. Ovanpå stålbadet läggs ett skikt av gjutpulver som smälter i kontakt med stålet och fungerar som smörjmedel i gränsskiktet mellan det först bildade stålskalet och kokillen. Friktionen dämpas ytterligare genom att kokillen har en oscillerande rörelse. Gjutpulvret har utöver att minska friktionen en viktig egenskap i kokillen då den styr värmeflödet och därmed stelningshastigheten för stålskalet. I kokillen som i allmänhet är ca. 700-800 mm lång bildas det första stålskalet som vid utgången ur kokillen är ca. 20-25 mm tjockt och därefter kyls medelst vattendysor i sekundärkylzonen där strängskalet stöds med hjälp av stålrullar (Figur 1).



Figur 1. Schematisk bild av stränggjutningskokill för slabsgjutning där halva kokillen visas. SEN = gjutrör.

De viktigaste parametrarna som styr skaltillväxt i kokill är:

- Gjutpulvret/gjutslaggens egenskaper som smälthastighet, viskositet, värmeledningsförmåga och kristallisationsbenägenhet.
- Stålets strömningshastighet och temperatur.
- Stålets stelningsegenskaper.
- Strömningsmönstret, strömningens stabilitet och reglering av stålnivån.
- Kokillens oscillationsrörelse som slagfrekvens och amplitud.
- Kokillens konicitet vilken avpassas till stålets krympning i kokillen som beror på stålsort och gjuthastighet.
- Kokillmaterialets värmeledningsförmåga.

Kokillen är stränggjutningens ”hjärta” där ytkvaliteten på det gjutna ämnet bestäms. En väl fungerande datormodell som beräknar skaltillväxt i kokill kommer att hjälpa de stränggjutande stålföretagen i Sverige i utvecklingen av sina processer för att:

- Gjuta ämnen med få eller inga ytdefekter.
- Undvika s.k. genombrott vilket innebär att skalet går sönder och stål rinner ned i gjutmaskinen och förorsakar haveri och produktionsbortfall.
- Bedriva en produktutveckling av avancerade stålprodukter där gjutbarheten inte är begränsande.
- Öka produktiviteten med bibehållen kvalitet.

Då stelningsprocessen i kokill är så komplex med många samverkande variabler finns det ett stort behov av att ha tillgång till en detaljerad datormodell som i största möjliga mån innefattar samtliga processparametrar. Ett brett industriellt utnyttjande av en sådan modell kan användas på ett flertal sätt som:

- Möjlighet att analysera processen och göra parameterstudier.
- Analyshjälpmedel vid processförsök.
- Beräkning av stålskalets krympning i kokill som underlag för korrekt inställning av smalsideskonicitet.
- Identifiering av kritiska processparametrar vilket ställer krav på faktaframtagning vad gäller exempelvis gjutslaggers fysikaliska egenskaper
- Klargörande av vad som är antaganden och vad som är säkerställda fakta.
- Utbildningshjälpmedel för tekniker och operatörer.

Det finns idag ingen kommersiellt tillgänglig programvara som heltäckande och detaljerat beskriver stelningsförhållandena i kokillen. Längst i detaljerad utveckling av en sådan programvara har gjorts under ledning av Professor Brian Thomas på Universitetet i Urbana-Campaign, USA där en programvara för beräkningar i två dimensioner utvecklats [ref.1,2]. Denna programvara är dock en ren universitetsprodukt, utan professionell programsupport, men har använts av Swerea KIMAB för inledande studier samt som inspirationskälla. Av detta skäl har modellutvecklingsarbete bedrivits under en längre tid både hos Swerea KIMAB och Swerea MEFOS fast med olika utgångspunkter. Swerea KIMAB har byggt sin programutveckling på sin kompetens ang. gjutpulver och gjutslaggers fysikaliska egenskaper samt värmeledningsförmåga i slagger och metaller. Detta har gjorts inom JK:s Metallurgipaket (JK 24045/02) [ref.1] och inom RFCS-projektet SLAGFILMOWL med Outokumpu Stainless som industripart samt inom det av Energimyndigheten finansierade projektet ”Utveckling av stränggjutningskokill med mjukkylande egenskaper för gjutning av sprickkänsliga stål”.

Swerea MEFOS har byggt sin programutveckling på en mycket lång erfarenhet och hög kompetens beträffande fluidodynamik och kunnande om metallsmältors strömning och egenskaper. Då området är så komplext har dessa forskargrupper nu kunnat förena sin kompetens för att skapa en modell som heltäckande beräknar skaltillväxt i kokill med hänsyn tagen till de komplexa förhållandena som sker i stränggjutningskokillen. Tillsammans med Avdelningen för materialens processvetenskap på KTH kompetens angående gjutpulvers fysikaliska egenskaper har man nått den kritiska forskarmassa som behövs för att framgångsrikt genomföra projektet. Projektet har också fått stöd från Professor Jesper Ooppelstrup från Numerisk Analys och Datavetenskap (NADA) på KTH vilket innebär att ca.10 forskare har varit engagerade i

projektet från tre forskargrupper exklusive engagemanget från de i projektet deltagande stålföretagen.

2. Mål

Utveckla väl fungerande modeller som beskriver skaltillväxt i kokill med hänsyn tagen till stålets strömning samt den komplicerade värmeledning som sker från stålskalet genom gjutslaggen samt en kokill som kan ha olika ytbeläggningar. Modellen ska ge följande utdata:

- Skaltjocklek och utbredning av ”mushy zone”.
- Temperaturfördelning i stålskalet.
- Temperaturfördelning i gjutslaggen med hänsyn tagen till slaggens värmekonduktivitet och ljusabsorptionsförmåga då värmestrålningen genom slaggen kan ha stor betydelse.
- Temperaturfördelning i kokillen samt dess eventuella beläggningar vilket är av stor vikt vad gäller validering av modellen som görs med termoelementbestyckade kokiller.
- Höjning av kylvattentemperatur i kokill.
- Värmefflöde från kokill.
- Stålskalets krympning samt hur det påverkar värmefflödet.

Ambitionen i projekt var inte att beräkna spänningar och töjningar i det bildade skalet vilket dock är en långsiktig ambition för en fullständig processbeskrivning. Modellutvecklingen har därför tagit hänsyn till detta framtida utvecklingssteg.

3. Metod

Arbetsupplägget har varit att Swerea KIMAB och Swerea MEFOS arbetat med två angreppssätt samt två olika programplattformar för beräkna skaltillväxt i kokill. Swerea KIMAB har därvidlag arbetat med COMSOL Multiphysics vilket är den programplattform man byggt upp erfarenhet och kunskap kring medan MEFOS använder sig av Fluent/Phoenix vilket man har lång erfarenhet av. Förutom modellering är en del av MEFOS arbete en studie kring en patenterad idé för flödesmodifiering. Avdelningen för materialens processvetenskap på KTH har bidragit med kunskapsutveckling beträffande gjutpulver samt karakterisering av viktiga egenskaper för de gjutslaggen som ingår i modelleringen.

Två huvudsakliga processfall har valts ut för modelleringen: Ämnestillverkning av slabs och blooms med en stålsort per dimension. Validering av beräkningsmodellerna har gjorts genom detaljerad uppföljning från försökskörningar med instrumenterad kokill hos SSAB Plate i Oxelösund för slabs och Sandvik Materials Technology för blooms. KTH har gjort fysikalisk provning av de gjutpulver som använts vid försökskörningarna.

Mellan KIMAB, MEFOS och KTH har full öppenhet rått där man i detalj har bidragit med sina olika specialistkompetenser. Projektgruppen har träffats regelbundet, med täta möten, sammanlagt 11 gånger under projekttiden.

Stor vikt har också lagts på ”bench marking” för att under projekttiden löpande skaffa information om utveckling inom området av andra forskningsgrupper. Mest information har man

där fått genom att bevaka stränggjutningskonferensen ”6th European Conference on Continuous Casting 2008” där också Swerea KIMAB bidrog med ett föredrag i anknytning till projektet [ref. 4].

Som uppföljning till konferensen ordnades ett seminarium i Stockholm den 26/3 2009 med inbjudna deltagare främst från Imperial College i London (Professor Peter Lee, Pavel Ramirez) som man ansåg hade kommit längst i motsvarande programutveckling [ref. 5] men också från Corus NL och Tekniska Högskolan i Helsingfors. Resultatet från mötet, utöver det vetenskapliga utbytet var att man planerar för en gemensam RFCS-ansökan inom området under 2010.

4. Forskningsresultat

Forskningen har bedrivits inom tre olika områden:

- 1) Förstudie roterande stoppare.
- 2) Utveckling av beräkningsmodell för skaltillväxt i kokill.
- 3) Gjutpulverforskning på KTH (Avd. för materialens processvetenskap).

4.1 Förstudie roterande stoppare

Som ett fristående delprojekt studerades funktionen av roterande stoppare i MEFOS 150 kg:s försöksugn [Publ. 1]. Orsaken till denna studie är att det har konstaterats följande fördelar med roterande flöde:

- Högre produktivitet och möjlighet till högre utbyte genom stabilare menisk.
- Varmare menisk vilket är positivt vad gäller minskad risk för ytsprickor.
- Minskad igensättning i gjutröret genom centripetal kraft.
- Större spaltöppning genom horisontell hastighetskomponent.
- Mindre undertryck genom lägre metallhastigheter.

Undersökningen kan ses som en förstudie i MEFOS 150 kg:s ugn (figur 2) inför driftsförsök i full skala där huvudsakliga målsättningen var att studera inverkan på stopparslitaget vid rotationen samt utrustningens driftsstabilitet. Resultatet från undersökningen var kortfattat:

- Slitaget var litet på de två stopparsorter som studerades.
- Skillnaden i slitage mellan stopparen som roterades och en som var stillastående var knappt mätbar.
- Det nykonstruerade stakspelet fungerade helt utan anmärkningar under en total provperiod på 9 timmar.
- Ett försök gjordes att utvärdera om instabiliteter uppstod vid högre varvtal varvid det konstaterades att inga sådana uppstod vid 200 varv/minut.

Sammanfattningsvis var resultatet från undersökningen en indikation på att det inte fanns något slitageproblem även om stopparen roteras under 4.5 timmar vilket är den tid den industriella applikationen kräver varför fortsatta försök i full skala kunde rekommenderas.



Figur 2. Foto på MEFOS 150 kg:s ugn med roterande stopparuppsättning.

4.2 Utveckling av beräkningsmodell för skaltillväxt i kokill

Utvecklingen av beräkningsprogrammet har gjorts i tre steg:

- 1) Utveckling av modell 1: 2D- simulering av värmetransport genom gjutslag och kopparkokill utgående från en fix temperaturprofil på stålskalet. Modellutvecklingen har skett parallellt hos Swerea KIMAB och Swerea MEFOS. Modellen har trimmats och validerats baserat på data från försök med termoelementinstrumenterad smalsida hos SSAB Plate i Oxelösund.
- 2) Utveckling av modell 2: 2D-simulering av skaltillväxt i kokill med hänsyn tagen till slagglöde, slaggens egenskaper samt stålflöde i kokill. Även i detta arbete har modellutvecklingen skett parallellt hos Swerea KIMAB och Swerea MEFOS och modellen har trimmats och validerats baserat på data från försök med termoelementinstrumenterad smalsida hos SSAB Plate i Oxelösund.
- 3) Vidareutveckling av modell 2: Baserat på erfarenheter från den fysikaliska modelleringen i 2D har Swerea MEFOS utvecklat en 3-D modell baserat på data från Sandvik Material Tehnologys bloomsmaskin i Sandviken. Modellen har trimmats och validerats utifrån försök med termoelementbestyckade försökskokiller hos SMT.

4.2.1 Utveckling av modell 1

I modell 1 simuleras värmetransporten genom gjutslag och kopparkokill mot ett stålskal med beräknad ytemperatur. Gjutslagen simuleras som en fluid med starkt temperaturberoende viskositet och värmeledningsförmåga. I gjutslagen sker värmetransport genom ledning, konvektion och strålning. Kylvattentemperatur och stålskalets ytemperatur utgör modellens huvudsakliga termiska randvillkor.

Det simulerade processfallet utgår från det valideringsförsök som gjordes hos SSAB i Oxelösund i samverkan med det av Energimyndigheten finansierade projektet ”Mjukkyld kokill” (ref. 6) för deras slabsmaskin med dimensionen 1680*290 mm och en gjuthastighet på 0.78 m/minut som genomfördes nov. 2007 – mars 2008. Beräkningar av stålskalets ytemperatur baserat på detta processfall är utfört med simuleringsverktyget CON1D (ref.1).

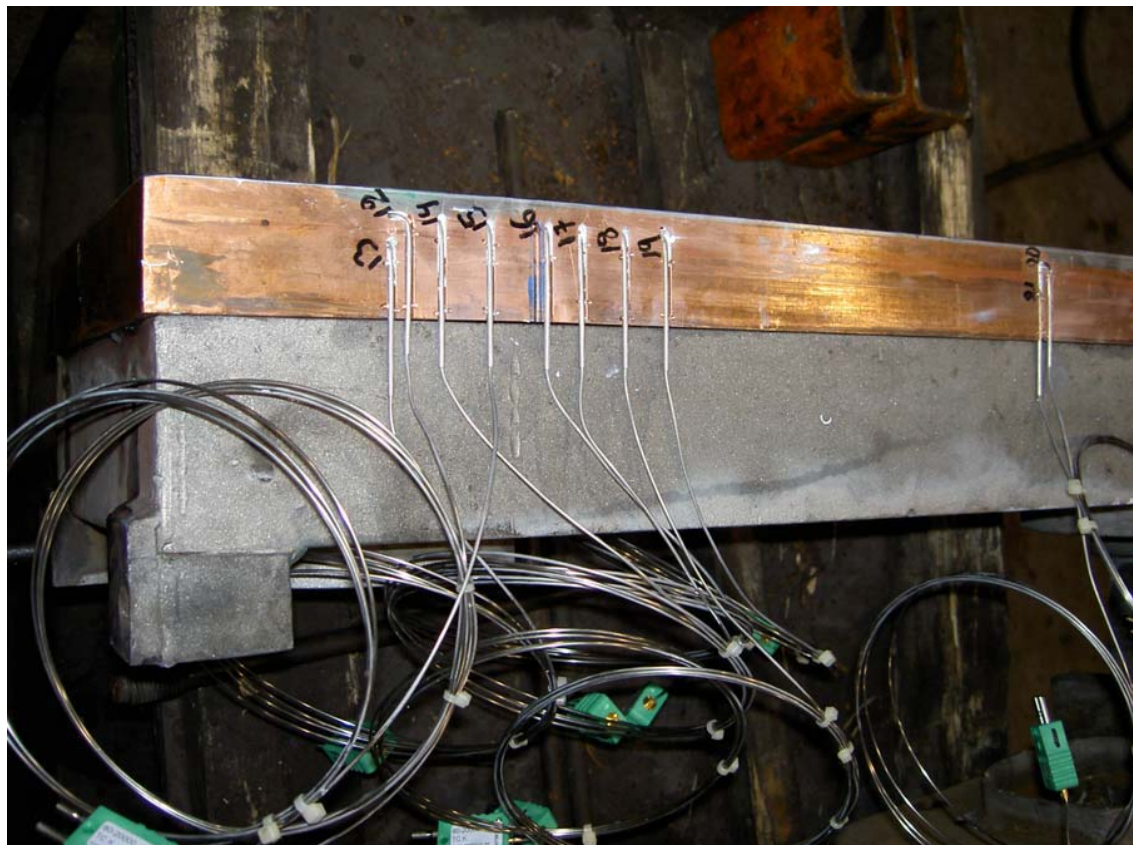
MEFOS har genomfört simuleringen med simuleringsverktyget Fluent och Swerea KIMAB har utnyttjat Comsol Multiphysics där samma indata har använts.

Resultatet från arbetet kan sammanfattas enligt följande (Publ. 2):

- Värmetransporten genom slaggen sker huvudsakligen genom ledning och till viss del genom strålning.
- Konvektion i gjutslagen svarar för en viss vertikal transport av värme längs stålskalet.
- Modellen ger en god bild av temperaturfördelningen genom gjutslag och kokill.
- Med hjälp av inlagda gasgap har modellen trimmats och visar god överensstämmelse med mätta resultat från valideringsförsöken hos SSAB i Oxelösund.
- Modellen visar att en stark koppling finns mellan strålning och värmeledning i gjutslagen.
- Beräkningarna med Comsol Multiphysics respektive Fluent visar mycket god överensstämmelse. Största orsaken till de små skillnader som finns är troligtvis att olika strålningsmodeller utnyttjats där Swerea KIMAB har använt en enklare modell (Publ. 3).

Figur 3 och 4 är bilder från valideringsförsöken i Oxelösund, med instrumenterad smalsideskokill, som utfördes av Swerea KIMAB, där kokillen försågs med 9 termoelement på ett djup av 10 mm från kokillytan varav 7 monterades i kokillens överdel vilket ses i figur 3. Hålen borrades i en rad i centrum av smalsidan. Tre ytterligare hål borrades till ett djup av 20 mm från ytan för att kunna beräkna värmeflödet.

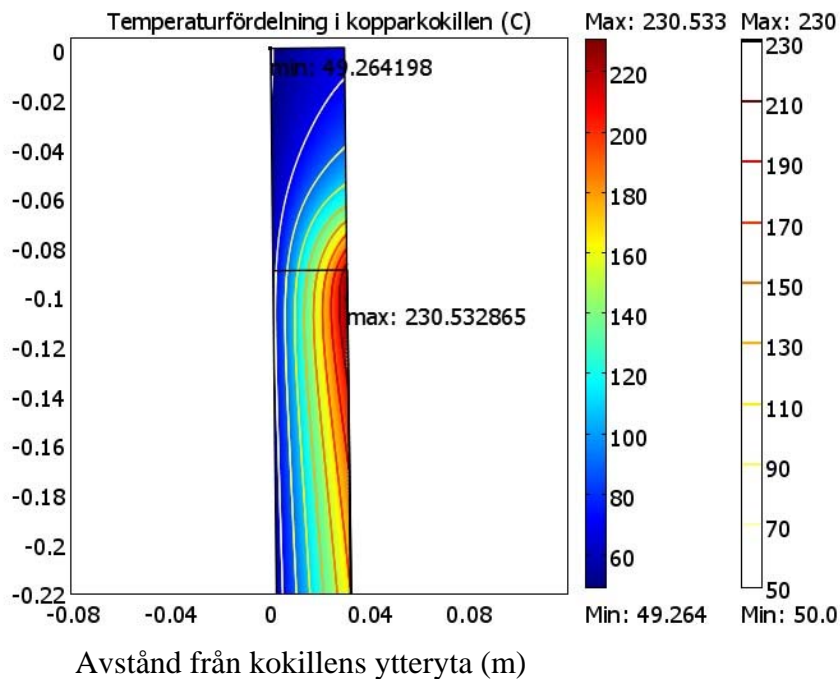
I figur 5-8 visas exempel på beräkningsresultat från modelleringen där en jämförelse görs mellan beräknade kokilltemperaturer och uppmätta i figur 6 efter trimning av modellen baserat på valideringsresultaten.



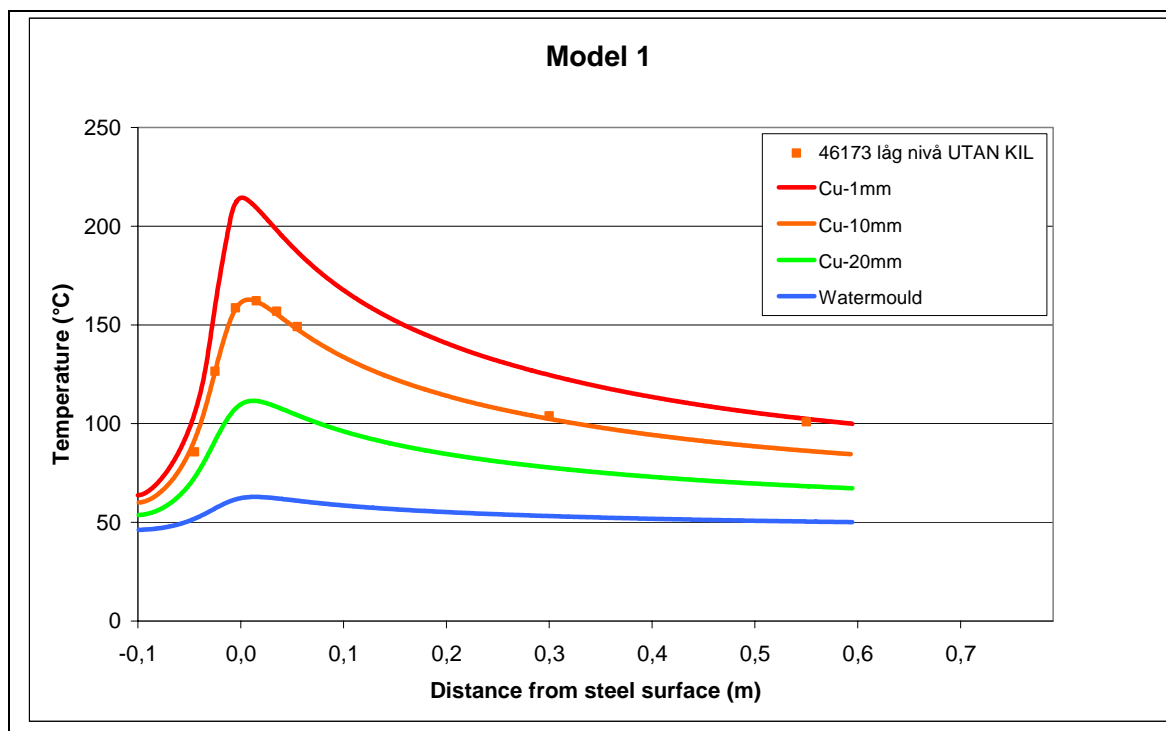
Figur 3. Kokill försedd med termoelement för valideringsförsök hos SSAB Plate i Oxelösund.



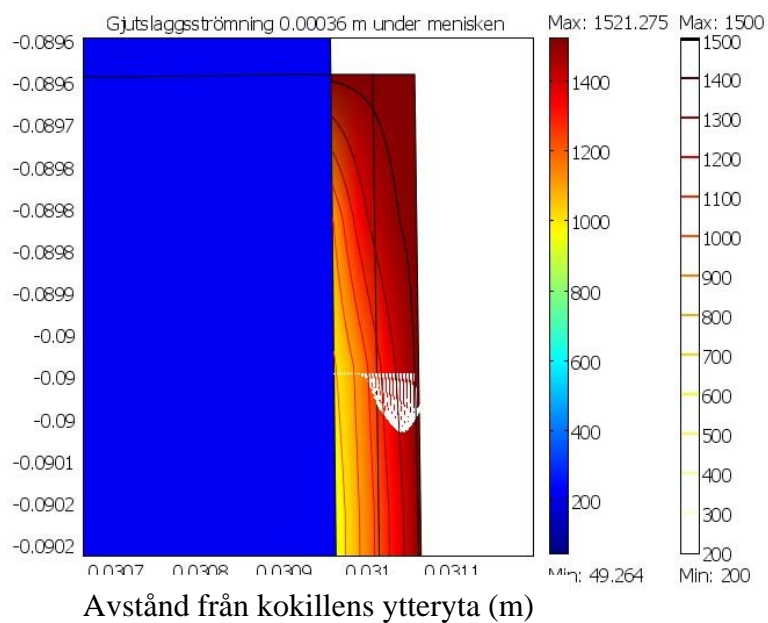
Figur 4. Tomas Sohlgren och Anders Lagerstedt från SSAB Plate monterar kompensationskablar i samband med valideringsförsöket.



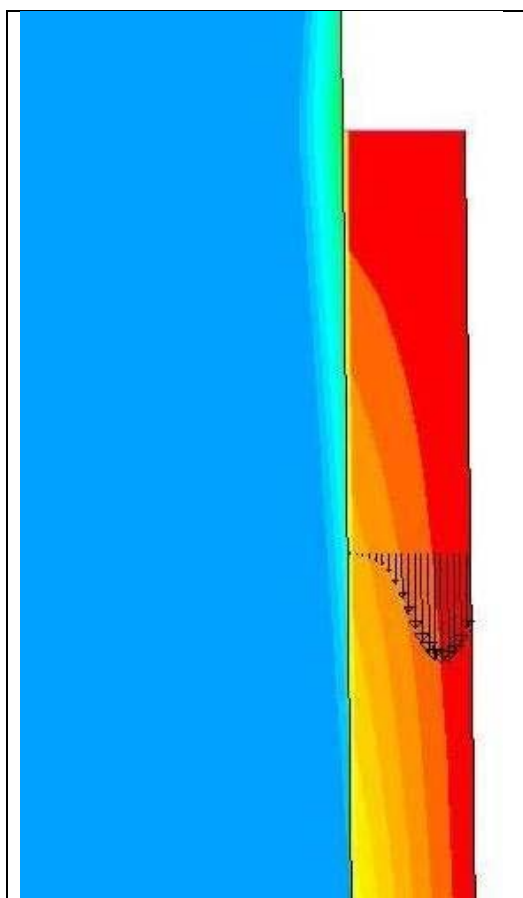
Figur 5. Temperaturfördelning i kokillens övre del, beräknat av Swerea KIMAB, stålnivån är markerad med ett horisontellt streck. Y-axeln anges som avstånd från kokillens överyta (m).



Figur 6. Uppmätta temperaturer (gula kvadrater) som använts för att trimma värmeövergångstalet i gasgapet mellan slag och kokill, beräknat av Swerea MEFOS. Linjerna är resultat från beräkningar där: röd linje = 1 mm från kokillytan, orange linje = 10 mm från ytan, grön linje = 20 mm från ytan, blå linje är kokillens temperatur på insidan i kontakt med kylvattnet.



Figur 7. Gjutslaggsströmning och temperaturprofil vid menisken beräknat av Swerea KIMAB. Y-axeln anges som avstånd från kokillens överyta (m).



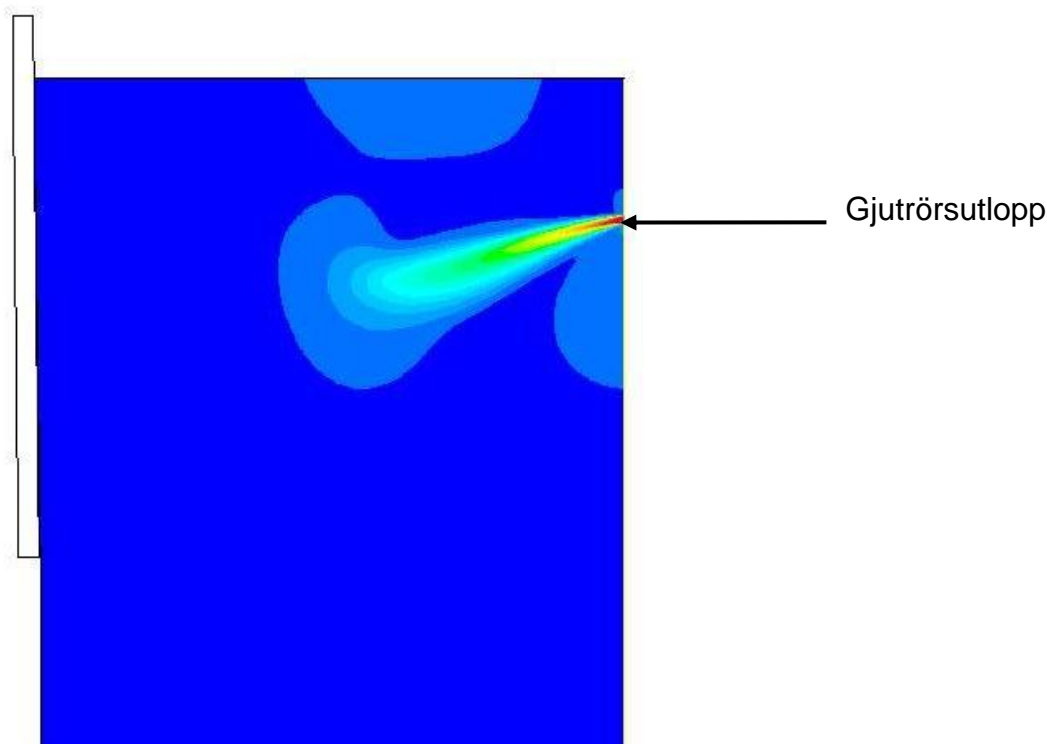
Figur 8. Gjutslaggsströmning och temperaturprofil vid menisken beräknat av Swerea MEFOS.

Swerea KIMAB och Swerea MEFOS har fått mycket likartade resultat vad gäller temperaturfördelning och strömningshastighet för gjutslaggen. I kokillens övre del är slaggtjockleken endast 0.1 mm men har en mycket stor temperaturdifferens. Gjutslaggens flödes hastighet uppvisar också stora variationer, närmast stålskalet har den i stort sett samma hastighet som denna för att snabbt avta mot ett nollvärde vid kokillens yta.

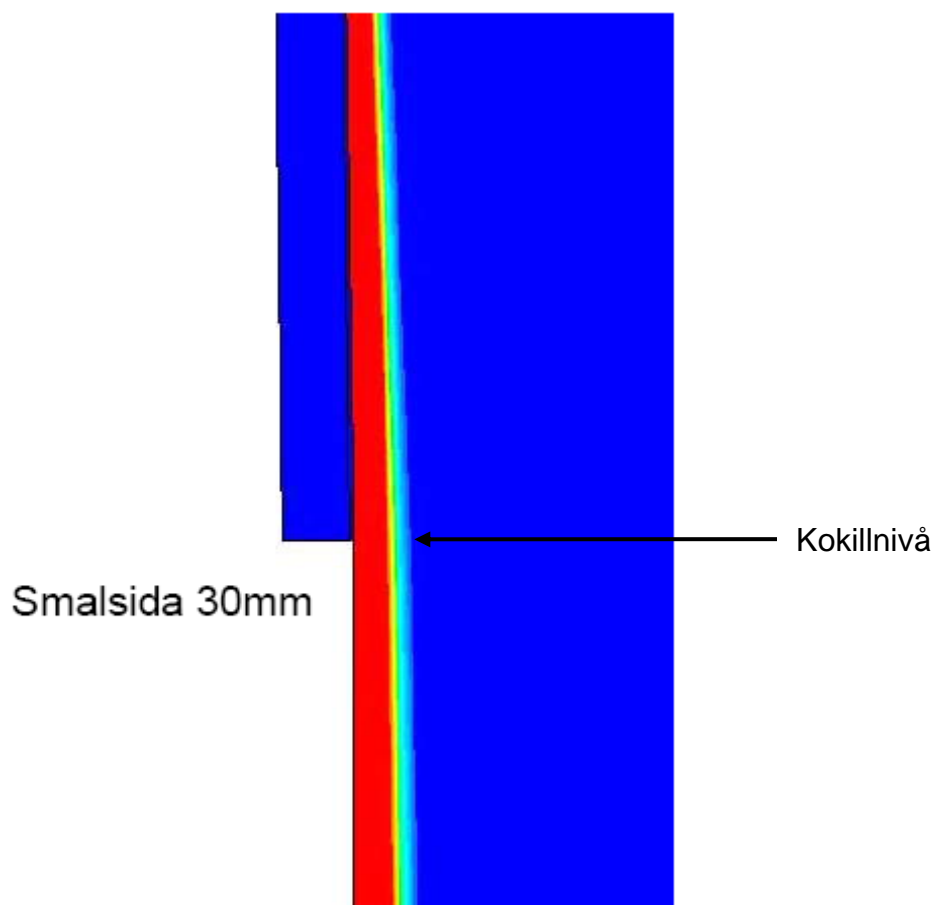
4.2.2 Utveckling av modell 2

Utveckling av modell 1 var en förövning inför den betydligt svårare uppgiften som skulle lösas i modell 2, där utöver värmetransport genom kopparkokill och gjutslagsskiktet, stelning av skal samt stålets strömning inkluderades. Modell 2 validerades/trimmades också in mot valideringsförsöken hos SSAB Plate i Oxelösund vilket innebär ett kokillformat på 1680*290 mm. Detta har ställt mycket svåra krav och utmaningar för modellutvecklingen där samtidigt en modellering ska ske av nedringning i en spalt av gjutslag på ca.0.1 mm och en strömning av stål från ett gjutrör till en smalsida med en längd av 840 mm. Utveckling av hård- och mjukvara under projektets gång som förbättrad beräkningskapacitet i datorer med multiprocessorer samt avancerade meshgeneratorer som möjliggör varierad meshtäthet över olika beräkningsdomäner har gjort dessa beräkningar möjliga. För att medge bra beräkningar med konvergens för detta ovanligt komplexa beräkningsfall har leverantören av programplattformen Multiphysics också fått bistå med mycket hjälp och support.

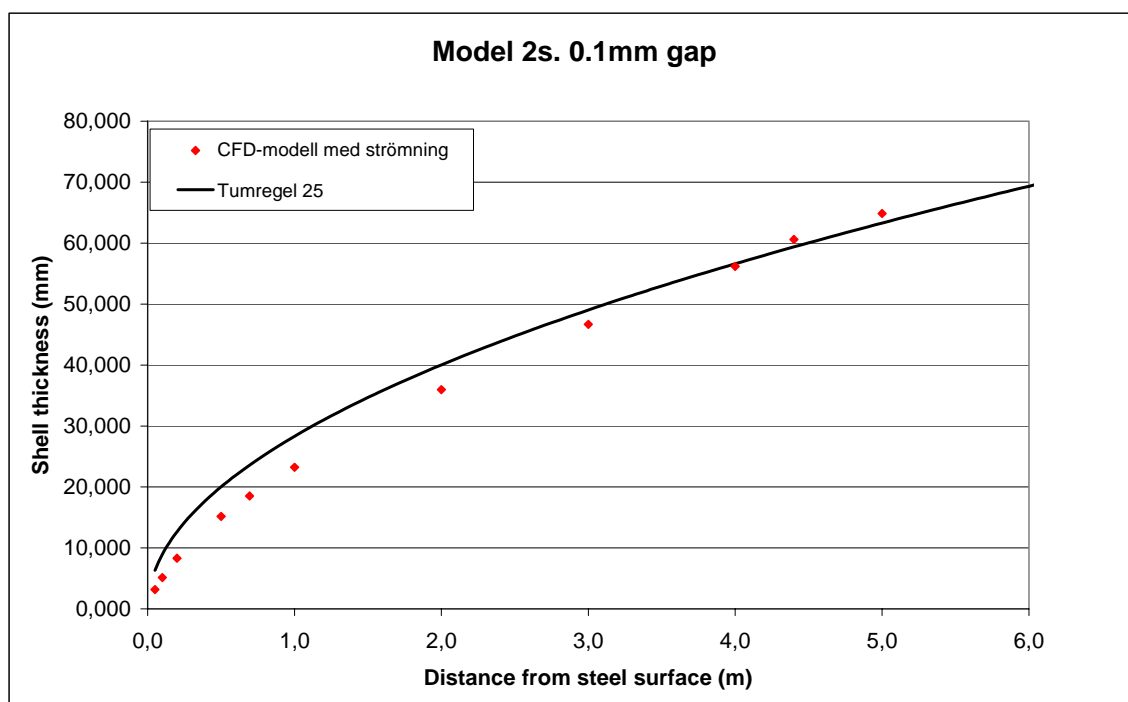
I figur 9-16 ges exempel på resultat från beräkningar i modell 2 som utförts av Swerea MEFOS (Publ. 4).



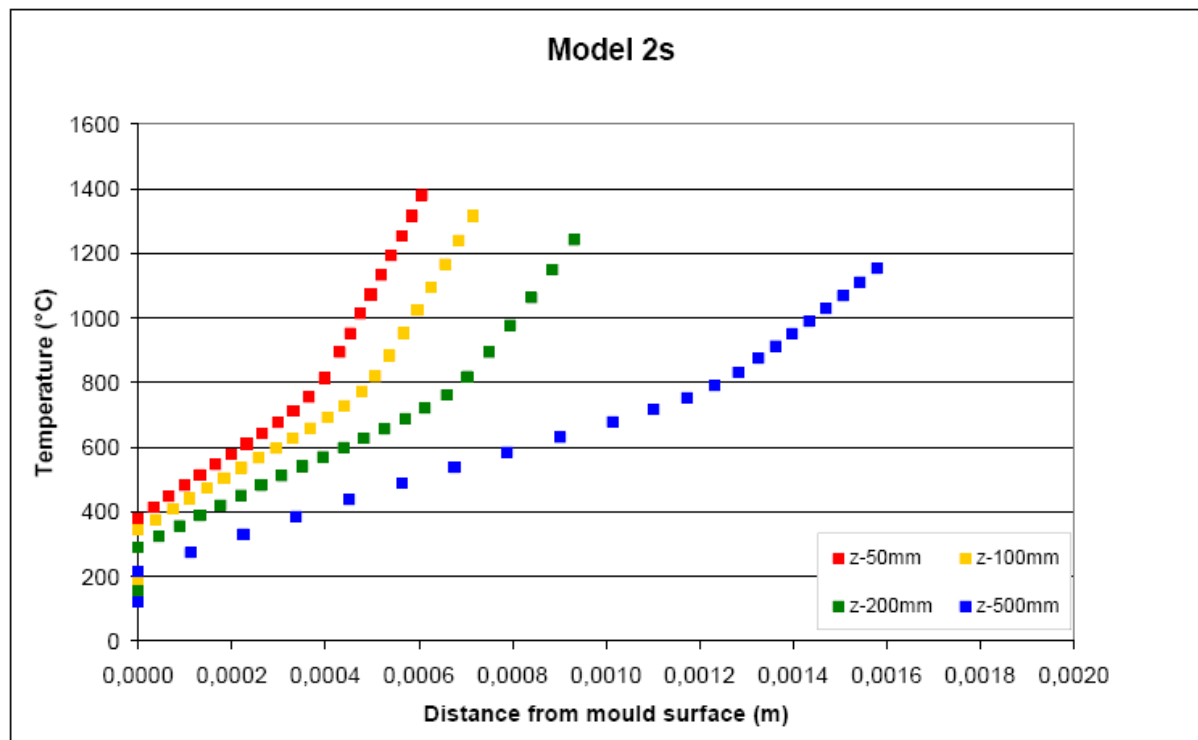
Figur 9. Schematisk bild av strömningsfält i kokillen med halva kokillen utritad.



Figur 10. Schematisk bild av resultat från beräkning av stelrat skal i och under kokillen. Rött = stelrat skal, ljusblått = "mushy zone", mörkblått = smälta



Figur 11. Resultat från beräkning av skaltillväxt.



Figur 12. Temperaturfördelning över gjutslag.

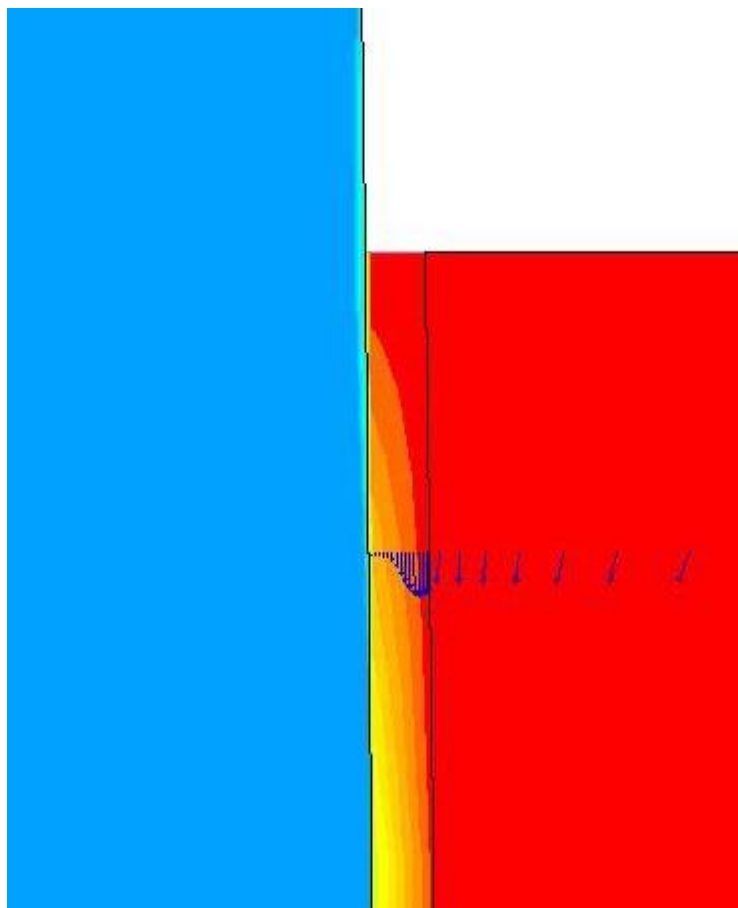
Figur 12 illustrerar de extremt stora temperaturdifferenser som uppstår i gjutslaggen till följd av dess låga värmeledningsförmåga och brist på konvektion till följd av dess ringa tjocklek i spalten mellan stålskal och kokill. Figuren visar slaggens temperatur som funktion av avstånd från kopparkokillen för olika nivåer i kokillen:

Rött = 50 mm under stålytan: Slaggskiktet är här knappt 0.6 mm tjockt och har en temperaturdifferens på ca. 1000 grader (från 1400 °C till 400 °C).

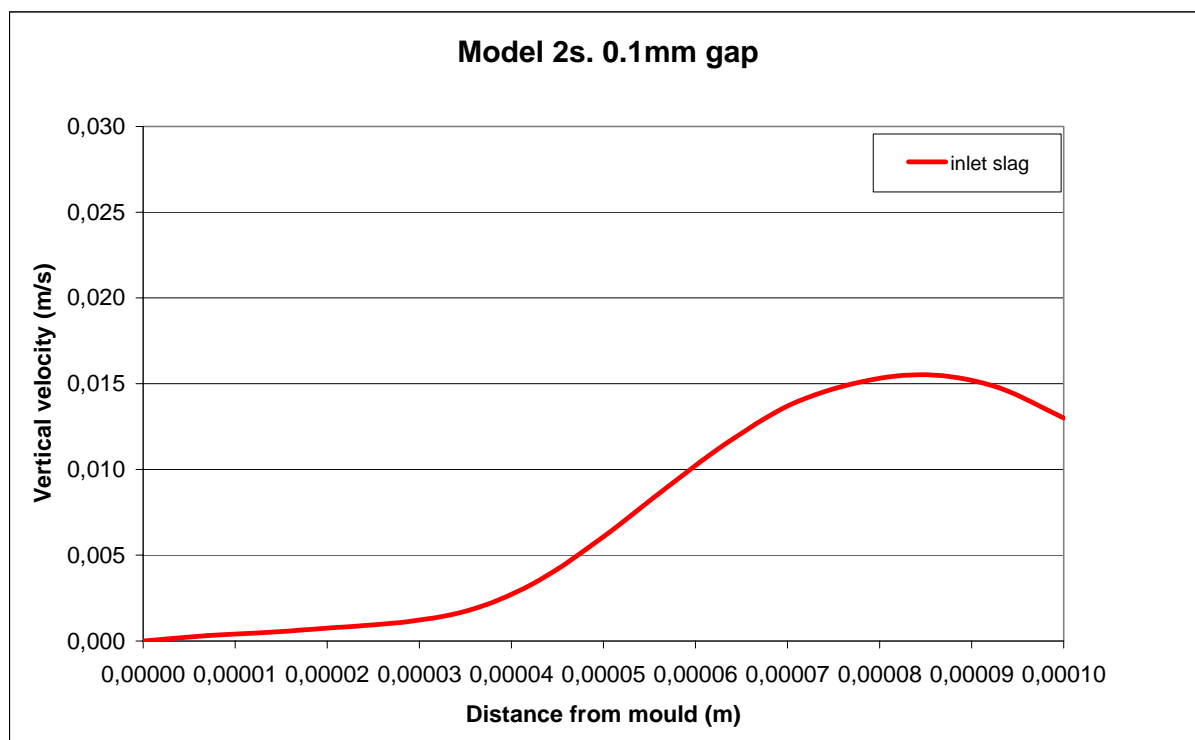
Gult = 100 mm under stålytan. Slaggtjockleken är nu ca. 0.7 mm och dess max. temperatur har sjunkit till 1350 grader till följd av stålskalets fallande temperatur.

Grönt = 200 mm under stålytan: Slaggtjockleken har nu växt till 0.95 mm och högsta temperaturen (stålskalets yttemperatur) har nu sjunkit till ca. 1300 °C.

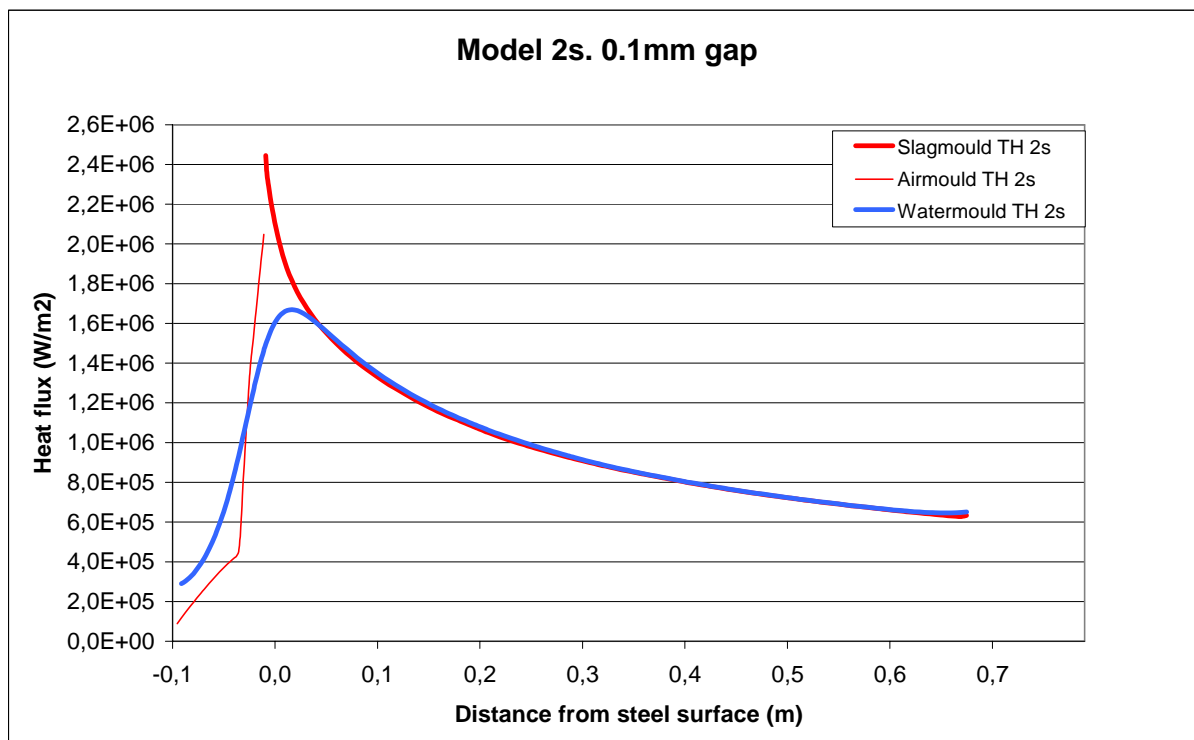
Blått = 500 mm under stålytan: Slaggtjockleken har växt till 1.6 mm och stålskalets temperatur som också är slaggens max. temperatur är nu knappt 1200 °C.



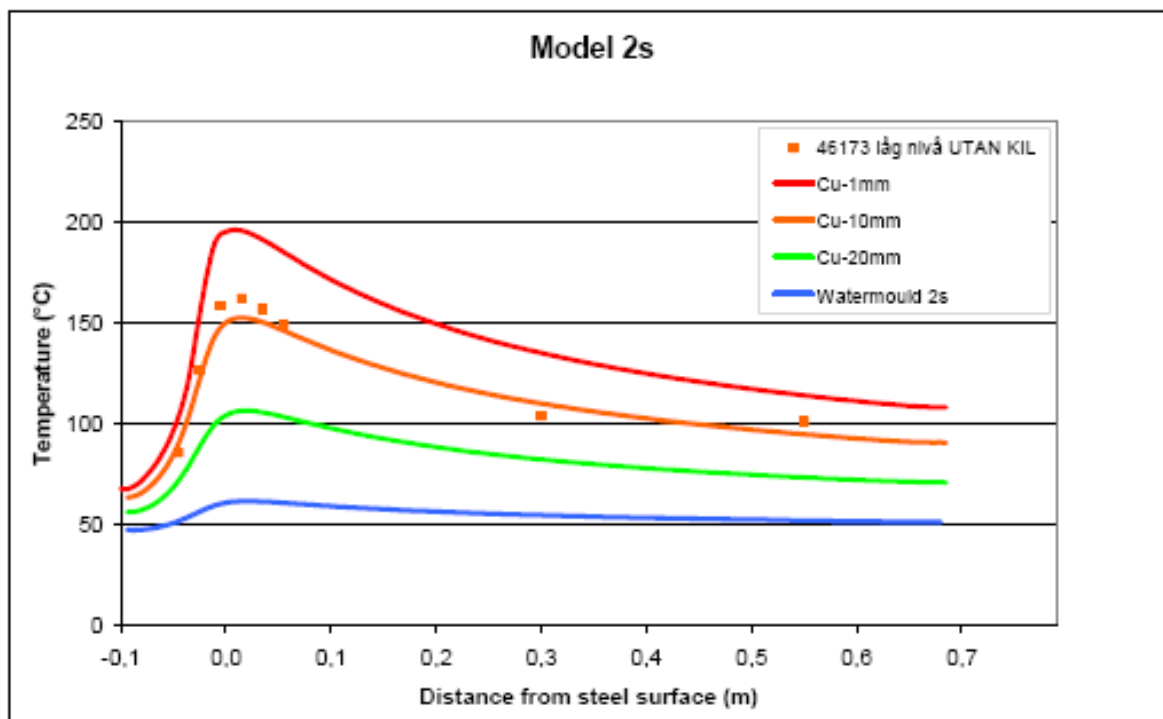
Figur 13. Gjutslaggens strömning vid inloppet. Den vertikala linjen representerar gränssytan mellan stål och gjutslag.



Figur 14. Gjutslaggens strömningshastighet vid inloppet.



Figur 15. Värmefflöde genom kopparkokill (röd linje: värmefflöde från gjutslag in i kopparkokillen, blå linje: värmefflöde ut ur kokillen till vattenkyllingen).



Figur 16. Temperatur i kokill med mätningar från validering hos SSAB Plate i Oxelösund inlagda (gula kvadrater). Linjerna är resultat från beräkningar där: röd linje = 1 mm från kokillytan, orange linje = 10 mm från ytan, grön linje = 20 mm från ytan, blå linje är kokillens temperatur på insidan i kontakt med kylvattnet.

4.2.3 Vidareutveckling av modell 2, 3D-modellering

Det långsiktiga målet med programutvecklingen är att skapa en 3-D modell av skaltillväxt i kokill. Inom projektet har därför Swerea MEFOS utvecklat en simuleringsmodell baserad på SMT:s bloomskokill i Sandviken. Beräkningarna har validerats baserat på försök med instrumenterad kokill i Sandviken som genomfördes under hösten 2009.

Figur 17 och 18 visar bilder från driftsförsöken med instrumenterade kokiller som utfördes av Swerea KIMAB, där 18 termoelement monterades i varje bredsideskokill.

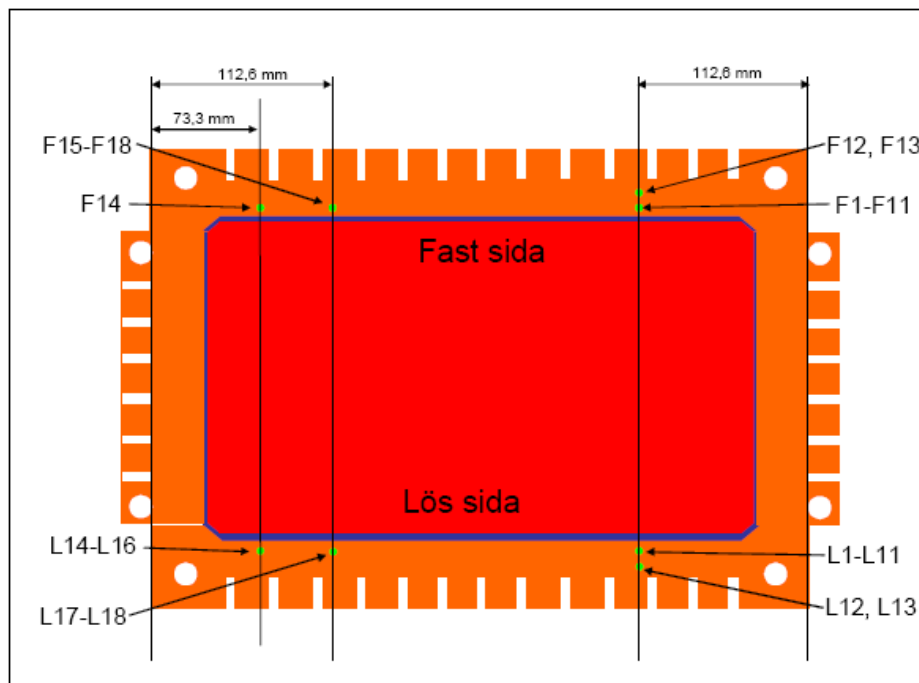


Figur 17. Projektets ordförande Karin Hansson Antonsson och Christer Eggertsson från Swerea KIMAB vid utrustningen för datainsamling och dataloggning för valideringsförsök i Sandviken.



Figur 18. Kabeldragning till den termoelementbestyckade kokillen där manteltermoelementen är skyddade med värmeisolerande matta.

I figur 19 visas ett tvärsnitt av kokillen med termoelementmontage vars exakta placering ges av tabell 1. Fastsida är strängens ytterbåge som står mot fundamentet medan lössidan utgörs av innerbågen.



Figur 19. Schematisk skiss av kokill med termoelementplacering.

Tabell 1. Position av termoelement (mm).

	Fast breddsida				Lös breddsida				
	Uppmätt avstånd	Avstånd till centrum av hål	Från övre kant	Från hörn ¹		Uppmätt avstånd	Avstånd till centrum av hål	Från övre kant	Från hörn
F1	8,71	10,21	80	N112,6	L1	8,86	10,36	80	N112,6
F2	8,81	10,31	100	N112,6	L2	8,51	10,01	100	N112,6
F3	8,79	10,29	120	N112,6	L3	8,35	9,85	120	N112,6
F4	9,02	10,52	140	N112,6	L4	8,67	10,17	140	N112,6
F5	8,80	10,30	160	N112,6	L5	8,98	10,48	160	N112,6
F6	9,05	10,55	180	N112,6	L6	8,77	10,27	180	N112,6
F7	8,72	10,22	200	N112,6	L7	9,17	10,67	200	N112,6
F8	8,60	10,10	250	N112,6	L8	9,13	10,63	250	N112,6
F9	9,18	10,68	300	N112,6	L9	9,06	10,56	300	N112,6
F10	8,86	10,36	400	N112,6	L10	8,60	10,10	400	N112,6
F11	8,54	10,04	600	N112,6	L11	9,02	10,52	600	N112,6
F12	18,10	19,60	75	N112,6	L12	18,10	19,60	75	N112,6
F13	18,10	19,60	600	N112,6	L13	18,30	19,80	600	N112,6
F14	8,85	10,35	100	S73,3	L14	8,73	10,23	100	S73,3
F15	8,70	10,20	140	S112,6	L15	8,67	10,17	140	S73,3
F16	8,62	10,12	200	S112,6	L16	8,80	10,30	200	S73,3
F17	8,89	10,39	300	S112,6	L17	8,47	9,97	300	S112,6
F18	9,14	10,64	600	S112,6	L18	8,97	10,47	600	S112,6

Indata och resultat från 3-D beräkningarna

3D-geometri och programplattformar

CAD Program:

- NX 6
- Modellen kan göras parametrisk och det är lätt att ta fram nya geometrier.

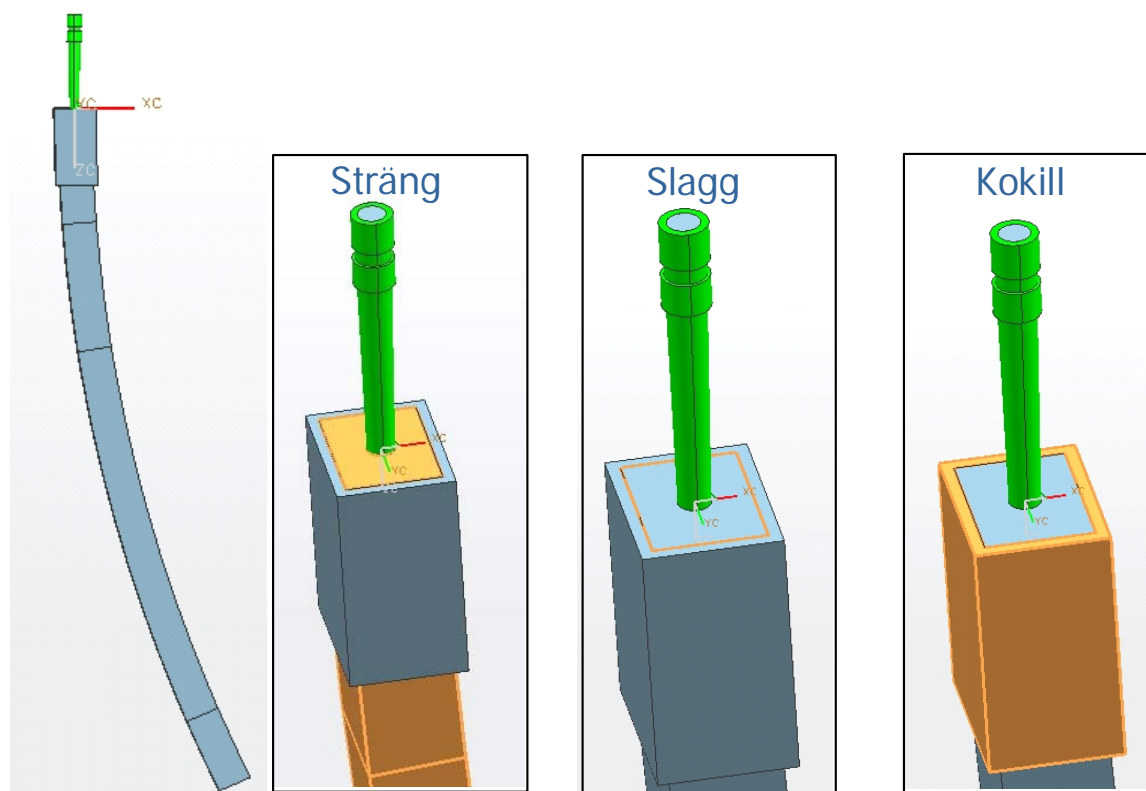
Meshgenerator

- ICEM
- Hybridmesh
 - gjutrör ostrukturerad
 - kokill, slagg, sträng är strukturerad.

Analys

- Fluent vers. 12

Processmodellen som använts för beräkningarna visas i figur 20.



Figur 20. Processmodell i 3-D.

Randvillkor för beräkningarna

Temperaturer:

- Kokill:
 - $T = 40\text{ °C}$
 - $H = 47.000\text{ W/m}^2\text{ °C}$
- Sträng:
 - $T = 1540\text{ °C}$

Sekundärkyllning:

- Zone 1:
 - $T = 40\text{ °C}$
 - $H = 500\text{ W/m}^2\text{ °C}$
- Zone 2:
 - $T = 40\text{ °C}$
 - $H = 200\text{ W/m}^2\text{ °C}$
- Zone 3 & 4:
 - $T = 40\text{ °C}$
 - $H = 150\text{ W/m}^2\text{ °C}$

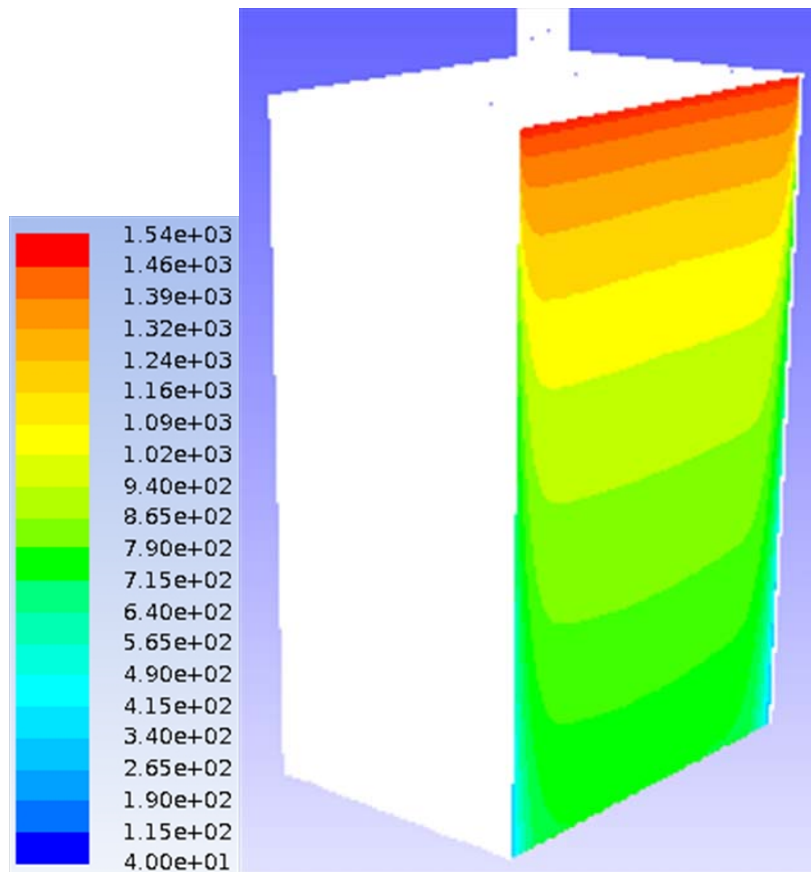
Hastighet:

- Tube Inlet= 0.27 m/s
- Väggar= 0.013 m/s (stränghastighet)
- Hastigheterna är satt för att matcha en stränghastighet på 0.8 m/min

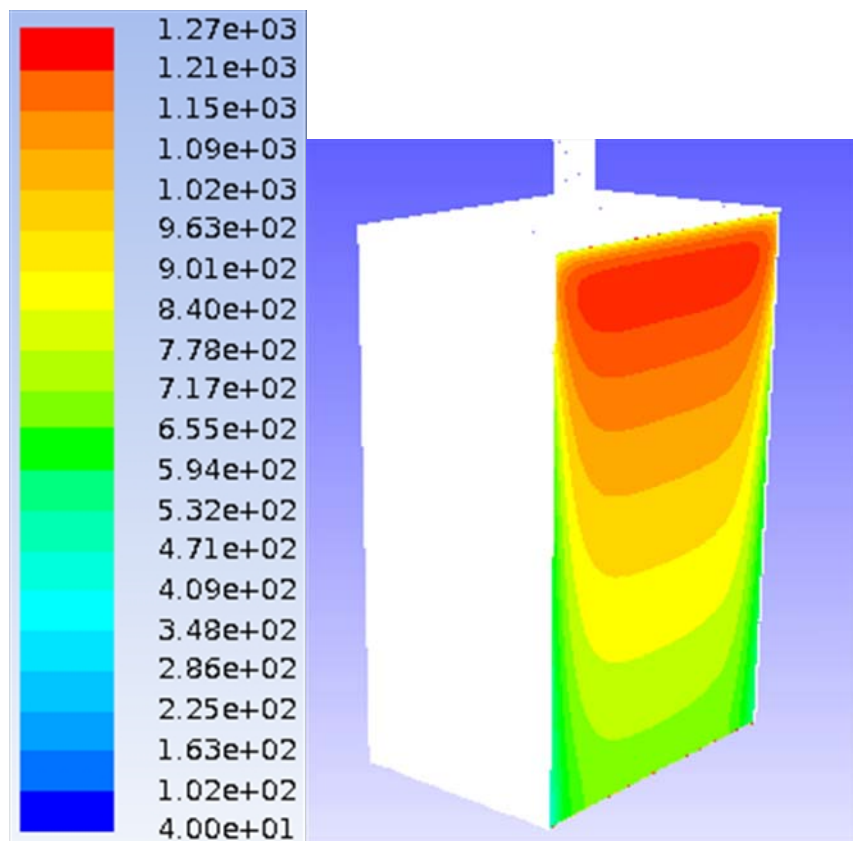
Gjutslagg:

- Strålning mellan stål och kokill via slaggen är inkluderad i modellen.
- Som förenkling har det antagits att slaggtjockleken är 0.1 mm i hela kokilllängden.

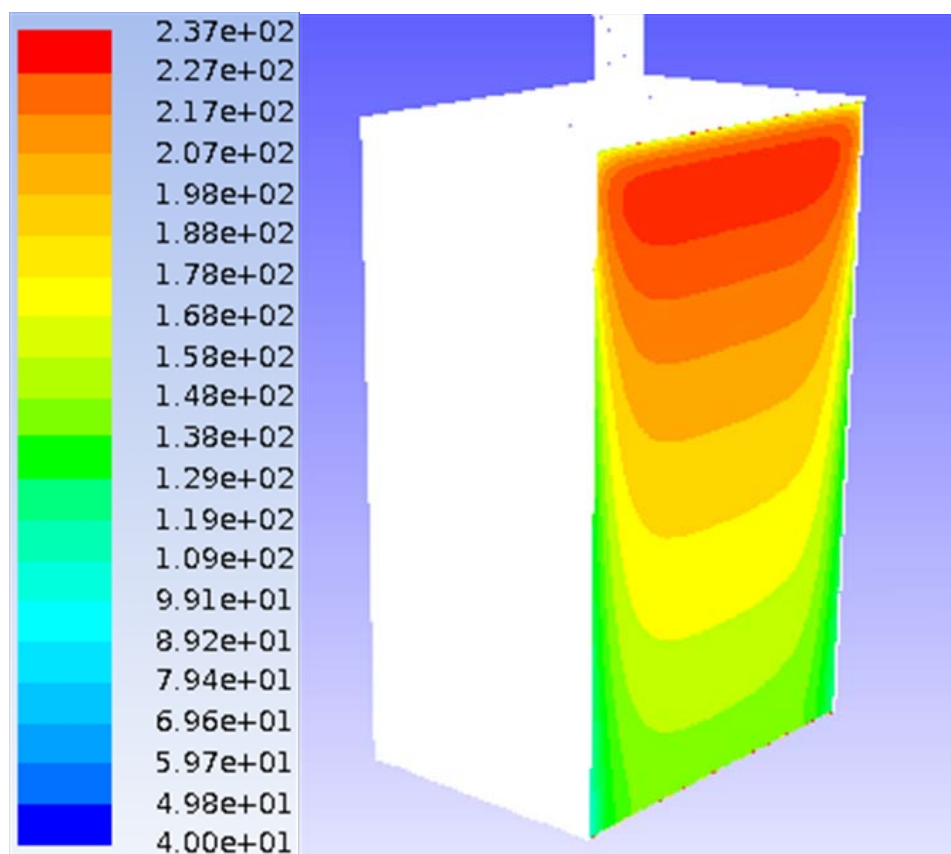
I figur 21-26 ges exempel på resultat från beräkningarna.



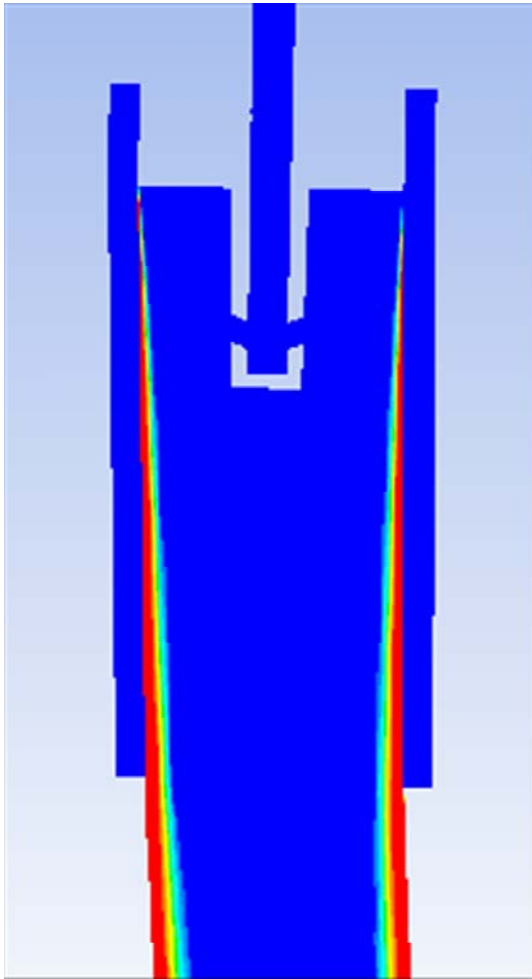
Figur. 21. Temperaturfördelning i stålskal, dvs. stålskalets yttemperatur (max. 1520 °C).



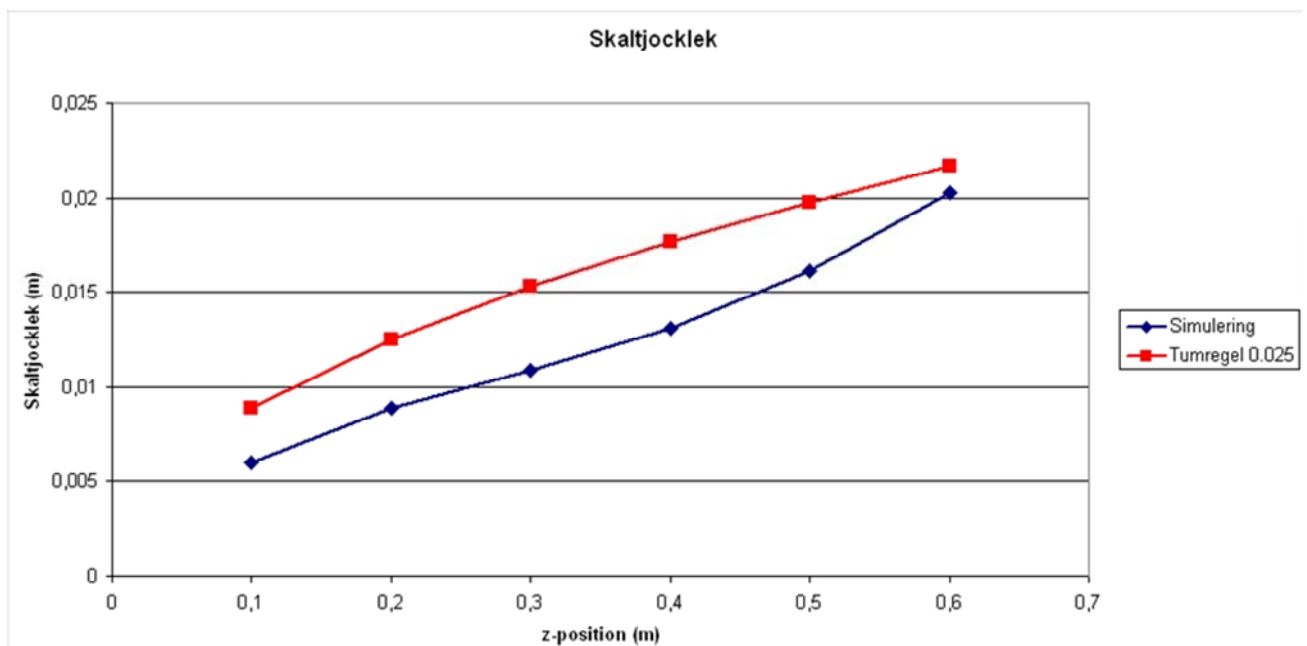
Figur 22. Temperaturfördelning i gjutslag, kalla sidan (max. 1227 °C).



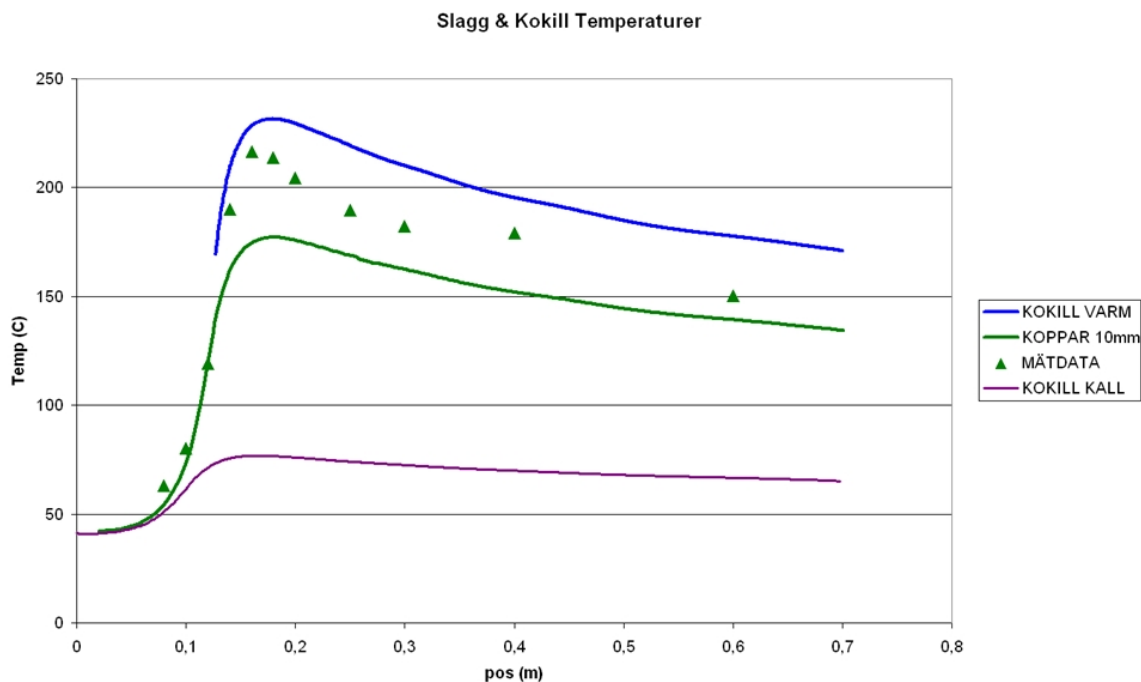
Figur 23. Temperaturfördelning i kokill, varma sidan (max. 237 °C).



Figur 24. Beräkning av skaltjocklek, Rött = stelnat skal, ljusblått = "mushy zone".



Figur 25. Beräkning av skaltjocklek samt jämförelse med tumregeln.



Figur 26. Beräkning av kokilltemperaturer samt jämförelse med valideringsdata från SMT.

Slutsatser från modelleringen i 3D

- Fungerande 3D modell men mycket lång beräkningstid då beräkningarna är utförda med transient behandling.
- Stelningsresultaten är verifierade i 2D modell samt överförd till 3D.
- Resultaten stämmer mot tidigare erfarenheter samt mot vissa tumregler inom branschen.
- Mätdata från valideringen stämmer relativt bra mot simuleringen (figur 26) men det är svårt att matcha temperaturtoppen 0.15 m från kokillens överkant.
- Modellen kan användas för parameterstudier, ökad förståelse inom stränggjutning samt problemlösning.
- Viktigt att förstå att det är en mycket komplex modell så resultaten måste alltid granskas mot tidigare erfarenheter.

4.3 Gjutpulverforskning på KTH (Avd. för materialens processkunskap)

Arbetet inom projektet hos KTH har huvudsakligen bestått av tre delar:

- Framtagning av fysikaliska data för gjutpulver som använts för validering av modell 1 (validerad hos SSAB Plate i Oxelösund) och modell 2 (validerad hos Sandvik Materials Technology).
- Utveckling av termodynamiskt baserad viskositetsmodell för gjutslaggar.
- Utveckling av databas för materialegenskaper hos gjutpulver.

4.3.1 Framtagning av fysikaliska data för gjutpulver som använts för valideringsförsöken.

I beräkningsprogrammen behövs följande fysikaliska data för gjutslagen:

- Värmeledningsförmåga som funktion av temperatur.
- Värmekapacitet som funktion av temperatur.
- Viskositet som funktion av temperatur.
- Absorptionsförmåga.

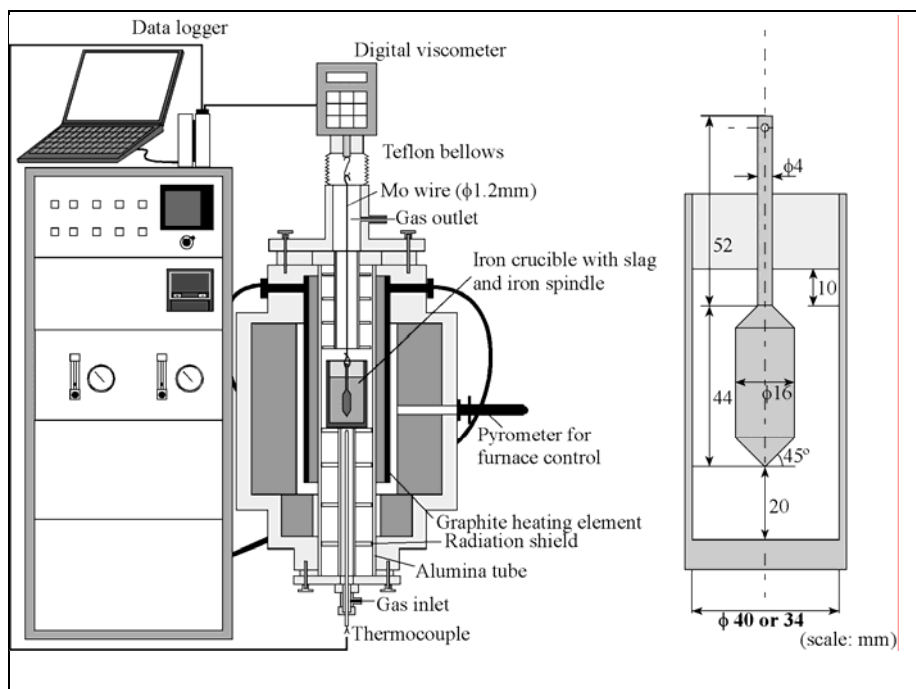
För värmeledningsförmågan har data använts från tidigare undersökningar hos Swerea KIMAB (ref. 7) då det är klarlagt att dessa egenskaper är lite påverkade av den kemiska sammansättningen för vanliga gjutslaggar (ref. 8).

Absorptionsförmågan har uppskattats med den beräkningsformel som tagits fram av Susa och Mills (ref. 9) baserat på experimentella mätningar av absorptionsförmågan i det infraröda området.

Viskositet och värmekapacitetsdata har experimentellt tagits fram av KTH under projektets gång för de gjutpulver som använts vid valideringsförsöken.

4.3.1.1 Resultat från viskositetsprovnigen

Viskositeten har mätts upp med KTH:s utrustning för detta ändamål enligt figur 27 (Publ. 5).



Figur 27. Utrustning för viskositetsprovning.

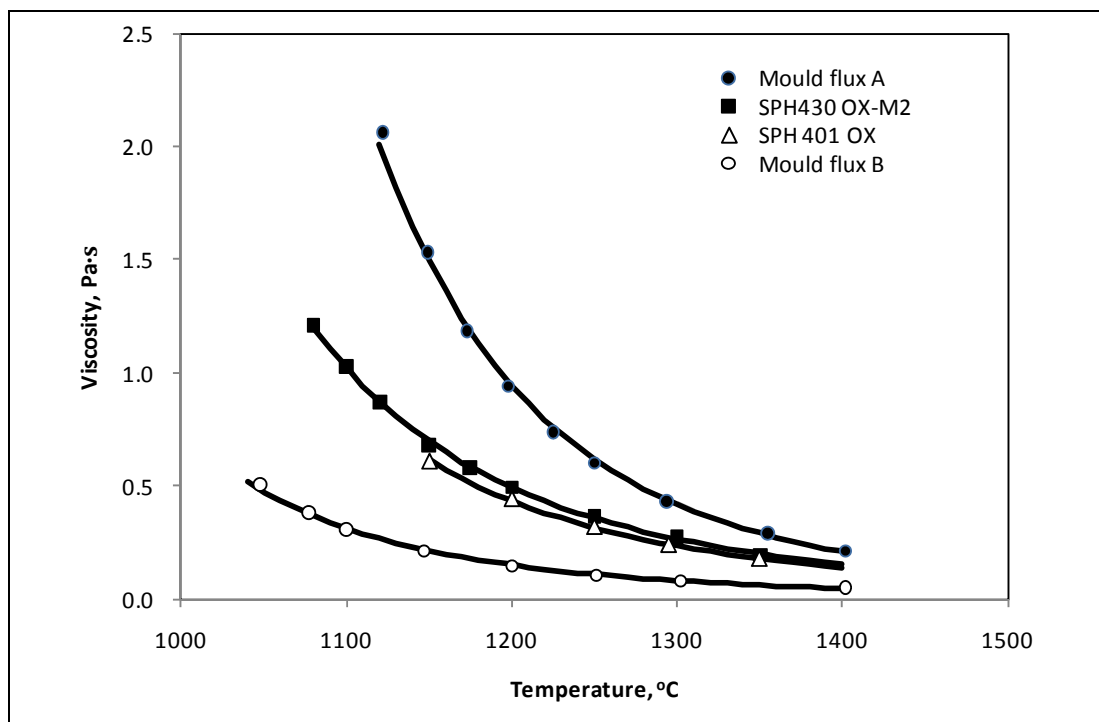
Gjutslaggen placeras i en degel av renjärn och en kompakt rotor med mått enligt figur 27 (också av renjärn) roterar med ett styrt varvtal. Kraften som behövs för att rotera med givet varvtal är då ett mått på viskositeten.

Följande gjutpulver/gjutslagger har undersökts:

För valideringsförsök i Oxelösund: SPH 401 OX och SPH 430_OX_M2.

För valideringsförsök i Sandviken: Mould flux A och Mould flux B.

Resultat från mätningarna ges i figur 28.



Figur 28. Resultat från viskositetsprovnings.

Den matematiska beskrivningen av viskositetskurvorna ges nedan:

$$\text{SPH 401 OX: } \eta = 1.564 \times 10^{-4} \exp\left(\frac{79142}{RT}\right)$$

$$\text{SPH 430 OX-M2: } \eta = 1.685 \times 10^{-4} \exp\left(\frac{79658}{RT}\right)$$

$$\text{Mould flux A : } \eta = 2.540 \times 10^{-5} \exp\left(\frac{105006}{RT}\right)$$

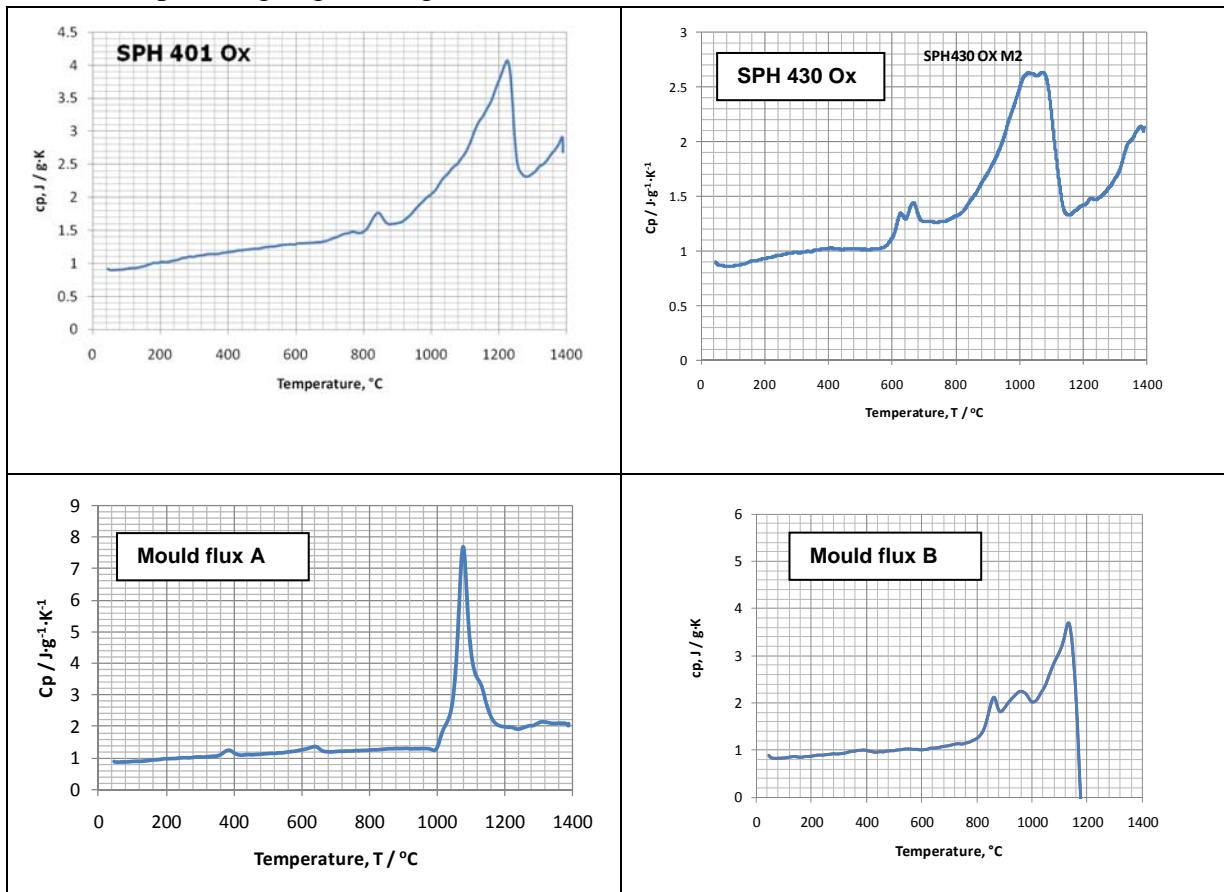
$$\text{Mould flux B: } \eta = 5.524 \times 10^{-5} \exp\left(\frac{79071}{RT}\right)$$

Kommentarer:

- Liten skillnad i viskositet för Oxelösunds gjutpulver.
- Mycket stor skillnad för Sandvikens gjutpulver beroende på stor skillnad i basicitet (CaO/SiO_2) och fluorinnehåll. Orsaken till de kraftiga olikheterna i viskositet för slagg A och B är att de används för gjutning av olika stålsorter.

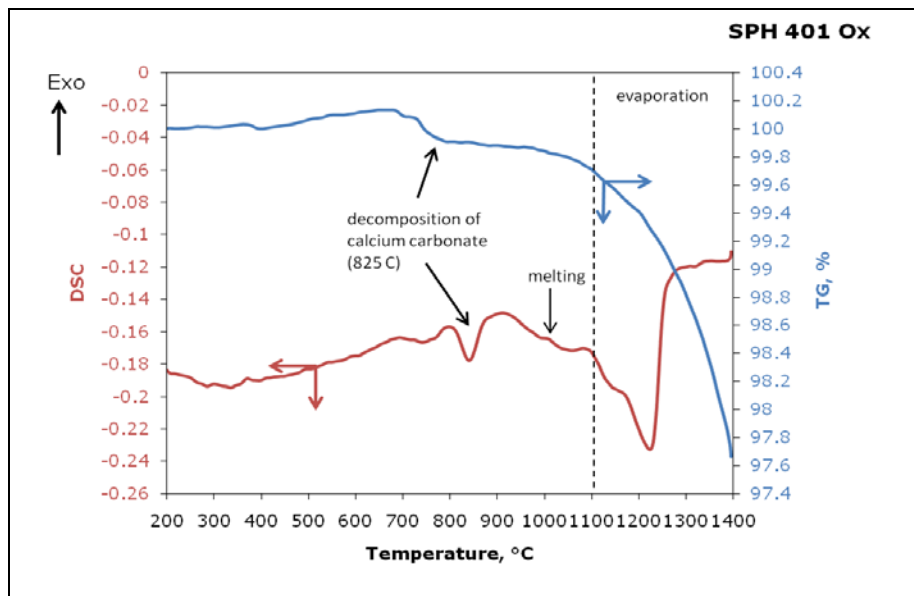
4.3.1.2 Resultat från provning med DSC och TG

Utrustningen på KTH medger simultana mätningar av entalpi och viktsförlust i provet. Resultat från provningen ges av figur 29.



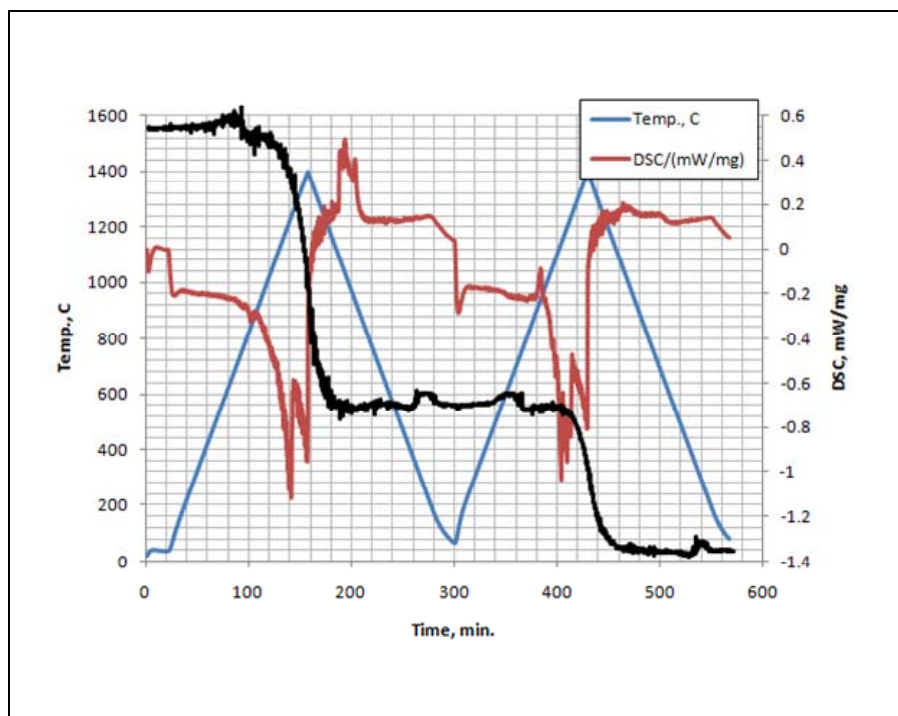
Figur 29. Värmekapacitet som funktion av temperatur för de undersökta gjutpulvren.

Kommentarer: Vid 700-800 grader får man en puckel i kurvan till följd av den endotermiska reaktionen vid nedbrytning av kalciumkarbonaterna ($\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$). Vid 1000-1200 grader får man också en endotermisk reaktion till följd av kristallina pulverkomponenter som smälter. Detta illustreras i figur 30 för gjutpulver SPH 401 OX.



Figur 30. DSC/TG-kurvor för gjutpulver SPH 401 OX.

I figur 31 visas också resultatet från uppvärmning och svalning två gånger i följd för detta gjutpulver.



Figur 31. DSC/TG-kurvor för gjutpulver SPH 401 OX vid upprepade uppvärmning svalning, svart kurva visar procentuell viktsandel (se figur 30).

Kommentarer: Vid temperaturer mellan 1200-1400 grader sker en kraftig viktsförlust i provet främst beroende på förångning av fluor och Na_2O (ref. 10). Vid första svalningsförloppet ser man en tydlig exoterm reaktion vid ca. 1200 grader beroende på en kraftig kristallisation i gjutslagen. Vid den upprepade uppvärmning sker ytterligare viktsförluster vilket medför att fluorinnehållet sjunkit till sådana låga nivåer att kristallisationen vid svalningsförloppet ute-

blir då huvudkomponenten vid kristallisation i denna typ av gjutslaggar är Cuspidine ($3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot \text{CaF}_2$).

4.3.2 Utveckling av termodynamiskt baserad viskositetsmodell

Den första versionen av denna modell skapades av KTH (ref. 11) samt USTB (University of Science and Technology Beijing). Modellen kan beräkna viskositet, svavelkapacitet och oxidaktiviteten hos sexkomponentsystemet; $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{FeO}-\text{MgO}-\text{MnO}$. För tillfället utvecklas det ett tillägg för att också kunna räkna på molvolymen. En andra version av mjukvaran för denna modell håller på att utvecklas så att den också kan användas för viskositetsberäkningar av gjutslaggar. För detta ändamål läggs viskositetsinverkan för komponenterna CaF_2 (ref. 12) och $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ (Publ. 6) in i modellen. Mjukvaran för den uppdaterade versionen utvecklas av Fifth Generation Technologies India Pvt. Ltd och beräknas vara klar under andra kvartalet 2010.

4.3.3 Utveckling av databas för materialegenskaper hos gjutpulver

Utveckling av en databas, som sammanställer kända materialegenskaper hos gjutpulver, har pågått under en längre tid. Hittills består den av kommersiella gjutpulver som används på stålverk från flera delar av världen, framförallt Sverige och Japan. De materialegenskaperna som lagts in i databasen är främst viskositet och ytspänning, med vetenskapliga artiklar samt Slag Atlas som främsta källa. Databasmjukvaran utvecklas av G G K Systems Pvt. Ltd. och det färdiga programmet är planerat att stödja uppdatering av alla typer av intressant data som finns tillgängliga och som kan tänkas vara av intresse. Planerat leveransdatum för denna mjukvara beräknas till andra kvartalet 2010.

5. Slutsatser

Kopplat till de tre huvudområden som bearbetats inom projektet:

- 1) Förstudie roterande stoppare.
- 2) Utveckling av beräkningsmodell för skaltillväxt i kokill.
- 3) Gjutpulverforskning på KTH (Avd. för materialens processvetenskap).

kan följande kortfattade slutsatser dras:

5.1 Förstudie roterande stoppare

Resultaten från förstudie var mycket positiva vilket medförde att man kan rekommendera fortsatta försök i full skala vilket kommer att göras inom det Projektet "Igensättningar" som finansieras av Stålforskningsprogrammet.

5.2 Utveckling av beräkningsmodell för skaltillväxt i kokill

- Alla målsättningar med utvecklingen av beräkningsmodell kunde uppnås med en 2D-modell.
- Mycket väl genomförda valideringsförsök har utförts för projektet med termoelementförsedda kokiller hos SSAB Plate i Oxelösund och Sandvik Materials Technology.
- Omfattande användning av modellen i implementering och som analys hjälpmedel kommer att vara mycket värdefullt och bidrar till att modellen ytterligare förbättras.
- 3D-modellering är fortfarande mycket komplicerat och kräver långa beräkningstider. Ytterligare modellutveckling krävs för att denna modell ska kunna vara ett aktivt hjälpmedel vid utveckling – och analys av stränggjutningsprocessen.

5.3 Gjutpulverforskning på KTH (Avd. för materialens processvetenskap)

- Fysikaliska data för gjutpulver som viskositet och värmekapacitet har tagits fram som underlag för modelleringsarbetet.
- Utöver att bistå modelleringsarbetet med fysikaliska data har gjutpulverforskningen under projektiden lett fram till en färdig termodynamisk viskositetsmodell som är klar att tas i användning under andra kvartalet 2010.
- Arbete med att utveckla en databas för gjutpulvers materialegenskaper har gjorts, inklusive mjukvaruutveckling, som är klar att tas i drift under andra kvartalet 2010.

6. Förslag till fortsatta forsknings- och implementeringsinsatser

6.1 Roterande stoppare

Fortsättning av förstudien i full skala är redan inplanerat inom projektet JK 23052 "Igensättningar" som finansieras av Stålforskningsprogrammet.

6.2 Utveckling av beräkningsmodell för skaltillväxt i kokill

Inom projektet har en omfattande och framgångsrik utveckling av modeller som detaljerat beskriver skaltillväxt i kokill genomförts. Det är av stor vikt att detta arbete nu kommer stålindustrin till nytta i deras komplexa arbete med utveckling av stränggjutningsprocesserna. Av detta skäl har Swerea MEFOS och Swerea KIMAB begärt och fått Swerea-medel för ett implementeringsprojekt där några processfall kommer att beräknas med de utvecklade modellerna med följande uppdelning:

Arbete utfört av Swerea MEFOS:	3-D beräkningar för Sandvik Materials Technology. 2-D beräkningar för SSAB Strip Products, Luleå.
Arbete utfört av Swerea KIMAB.	2-D beräkningar för Outokumpu Stainless, Avesta. 2-D beräkningar för SSAB Plate, Oxelösund.

För detta ändamål har en arbetsgrupp bildats som haft sitt första möte den 11/1 2010.

Ytterligare arbete inom arbetsgruppen kommer att bedrivas av Swerea KIMAB med finansiering av Swerea samt IM:s metallforskningsprogram där beräkningarna av skaltillväxt utvidgas till att även omfatta beräkningar av spänningar som uppstår i det stelnade skalet. Swerea MEFOS kommer med finansiering från Swerea också att arbeta med vidareutveckling av sin 3-D modell.

Inom det nyligen uppstartade projektet JK 24052 "Gjutpulver för nischstål", som finansieras av Stålforskningsprogrammet, kommer Swerea KIMAB att utnyttja sin modell som analys-hjälpmiddel i samband med den omfattande försöksverksamhet som är planerad inom projektet.

Slutligen planeras en RFCS-ansökan angående stränggjutningsmodellering/simulering tillsammans med följande partner: Swerea KIMAB, Swerea MEFOS, Imperial College (London), Corus NL, SSAB EMEA (Luleå) och Aalto-universitetets tekniska högskola (Esbo).

6.3 Gjutpulverutveckling på KTH

Det arbete som utförts på Avdelningen för materialens processvetenskap på KTH under processtiden kommer att komma till stor användning inom projektet "Gjutpulver för nischstål", som finansieras av Stålforskningsprogrammet, och är ett samverkansprojekt mellan Swerea KIMAB och KTH där parterna har lika stor andel i projektet.

7. Referenser

- [1] Thomas B.G., *CONID Users Manual Version 8.0*, May 26, 2004.
- [2] Meng Y., Thomas B.G., *Heat transfer and solidification model of continuous slab casting: CONID*, Metal&Materials Trans. B, August, 2003.
- [3] Andersson S. P., *Beräkningshjälpmedel – Skaltillväxt*, TO24-144.
- [4] Däcker C-Å., Andersson S.P., Salwén A., Eggertsson C., Glaes M., *Influence of slag rim formation on initial solidification of stainless steel*, ECC6, Riccione 2008.
- [5] Ramirez-Lopez P.E., Lee P.D., Mills K.C., Morales R.D., Sanchez-Pérez R., Ramos-Banderos A. *Modelling the effect of argon injection and casting speed variations on the meniscus behaviour during continuous casting*, ECC6, Riccione 2008.
- [6] Däcker C-Å., Andersson S. P., Eggertsson C., Salwén A., *Resultat från försök med mjukkyld kokill hos SSAB Oxelösund i november 2007*, TO24-171.
- [7] Däcker C-Å., Görnerup M., Andersson S.P., *Gjutpulverkaraktisering – datablad för gjutpulver*, TO24-166.
- [8] Mills K.C., Susa M., *Thermal conductivities of slags*, Slag Atlas 2nd Edition, Verlag Stahleisen GmbH, 1995, sid. 591-600.
- [9] Susa M., Nagata K., Mills K.C., *Absorption coefficients and refractive indices of synthetic glassy slags containing transition metal oxides*, Ironmaking and Steelmaking 1993, Vol 20.
- [10] Persson M., Sridhar S., Seetharaman S., *Kinetic Studies of Fluoride Evaporation from Slags*, ISIJ International, Vol 47 (2007), No 12, sid. 1711-1717.
- [11] Björkvall J., *Thermodynamic study of multi component slags – a model approach*, Doctoral Thesis, 2000, ISBN:91-7170-523-6.
- [12] Shahbazian F., *Viscosities of some Slag Systems containing Calcium Floride*, Doctoral Thesis, 2001, ISBN:91-7283-108-1.

Bilaga 1

Projektorganisation och medverkande

Forskningskommitté

JK 24051

Kommittéordförande

Karin Hansson Antonsson Sandvik Materials Technology

Projektledare

Carl-Åke Däcker Swerea KIMAB

Forskningschef (JK)

Lars-Henrik Österholm

Ordinarie kommittémedlemmar

Christer Nilsson	SSAB Strip Products, Luleå
Larz Ignberg	Luvata Sweden
Tomas Sohlgren	SSAB Plate, Oxelösund
Jarno Pirinen	Rautaruukki, Brahestad
Line Hallgren	Outokumpu Stainless AB, Avesta works

Adjungerade forskare

Carl-Åke Däcker	Swerea KIMAB
Anders Salwén	Swerea KIMAB
Peter Andersson	Swerea KIMAB
Seshadri Seetharaman	KTH, Materialens Processvetenskap
Taishi Matsushita	KTH, Materialens Processvetenskap
Ulf Sjöström	Swerea MEFOS
Ralph Nyström	Swerea MEFOS
Magnus Lundqvist	Swerea MEFOS

Bilaga 2

Publikationer

- [1] Ralph Nyström, *Mätning av slitage på roterande stoppare i MEFOS 150 kg:s ugn*, TO24-174.
- [2] Salwén A., Sjöström U., Lundqvist M., Ooppelstrup J., Däcker C-Å., Andersson S.P., *Simulering av värmetransport genom ledning, konvektion och strålning i gjutslag och kop-parkokill*, TO24-173.
- [3] Salwén A., Ooppelstrup J., *Modellering av strålningsbaserad värmetransport genom gjutslag*, TO24-172.
- [4] Sjöström U., Lundqvist M., Salwén A., *Modell för simulering av skaltillväxt vid sträng-gjutning (Modell 2S)*, TO24-175.
- [5] Watanabe T., Matsushita T., Seetharaman S., "Break points" with respect to mold flux, ISIJ 2008, sid. 710-713.
- [6] Matsuzono Y., Watanabe T., Hayashi M., Nagata K., Matsushita T., Seetharaman S., *The effect of Na₂O on the viscosity of mould flux*. Proceeding of the VIII International Conference on Molten Slags, Fluxes and Slats, MOLTEN 2009, Santiago, Chile, Jan. 2009.

Bilaga 3

Annan resultat- och kunskapsförmedling

Förutom de publikationer som redovisas i Bilaga 2 har resultat från projektet redovisats vid bl a följande tillfällen:

1. VIII International Conference on Molten Slags, Fluxes and Salts, MOLTEN 2009, Santiago, Chile, Jan. 2009 (Publikation 6 ovan)
2. Seminarium 2009-03-26 i Stockholm med deltagare från forskningskommittén, Imperial College (London), Corus NL och Tekniska Högskolan, Helsingfors.
3. Programkonferens Jernkontoret, 10-11 juni 2009 I Borlänge.
4. I samband med möten med forskningskommittén och styrelsen för TO24 Gjutning och stelning.

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 naturinsatser, 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. Utlysningsprocessen 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.

DEN SVENSKA STÅLINDUSTRINS BRANSCHORGANISATION

Organisationen 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, 111 87 Stockholm • Kungsträdgårdsgatan 10
Telefon 08 679 17 00 • Fax 08 611 20 89
E-post office@jernkontoret.se • www.jernkontoret.se

