2013-014

OPtimized Yield casting ProcEss (OPTYPE)

Stefan Fredriksson och Jonas Bäckman

swerea | SWECAST

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

© 2013, Swerea SWECAST AB

Författare
Stefan Fredriksson och Jonas Bäckman

Rapport nr
2013-014_

Datum
2013-06-27

Sammanfattning

Denna rapport sammanfattar resultaten från projektet “OPTimised Yield casting ProcEss” (OPTYPE). Projektet som finansierats av Energimyndigheten är en fortsättning på projektet ”Energisnål gjut- och formningsprocess”. Projektet syftar till att vidareutveckla och industrianpassa den gjutteknik som togs fram i det första projektet.

Första delen i projektet har varit att färdigställa den pilotanläggning som i slutet av det föregående projektet installerades på Skandinaviska Gjuteriskolan. Det gäller främst skyddsgaller, säkerhetsbrytare och andra olika säkerhetsfunktioner som byggts in i utrustningen för att säkerställa att inga skador kan ske vid gjutning.

I projektet har det utvecklats och installerats en helt ny tryckstyrningsutrustning. I det första projektet användes en enkel flödeskontrollerad tryckstyrning. Det i projektet framtagna styrsystemet är numera digitalt och styr mot det aktuella övertrycket inne i ugnen. På så vis är inte längre gasexpansionen något som användaren behöver ta hänsyn till. Det arbetades med en articifiell komponent som togs fram inom projektgruppen. Syftet med komponenten var att den skulle representera så många olika typer av gjutgods som möjligt samt genom olika tjocklekar generera olika typer av mikrostruktur och egenskaper. Jämförelser mellan det tryck som matats in och det tryck som uppmätts visar på att utrustningen läcker något varvid någon aktiv avluftning inte krävs. Läckaget motsvarar ungefär sex procents tryckförlust.

Resultaten från projeket visar att potentialen med tekniken att gjuta underifrån är stor. När nu möjligheten finns att styra trycket digitalt är inte steget lika långt till riktig produktion. I projektet gjordes även enklare jämförelser på utbytet mellan två komponenter, där visade OPTYPE på en 12% förbättring.

Summary

This report summarizes the results of the project in "Optimised Yield casting process" (OPTYPE). The project is financed by Swedish Energy Agency and is a continuation of the project "Energy efficient casting and molding process." The project aims to further develop, adapt and industrialize the casting process developed in the initial project.

The first part of the project was to complete the pilot plant installed at the Scandinavian Foundry School at the end of the initial project. This applies safety-grilles, circuit-breakers and other various security features built into the equipment to ensure that no damage or injury can occur when casting.

In the project a new pressure control equipment has been developed and installed. In the first project, a simple flow-controlled pressure system was used. The new control system developed in the project is now digital and controls the current pressure inside the oven. This means that gas expansion is no longer something that the user needs to take into consideration. The project group developed and studied an articifiell component to work with. The purpose of the component was to represent the majority of feasable castings types of different thicknesses to generate different types of microstructure and properties. Comparisons of the working and measured pressure indicated that the equipment is leaking at a rate of 6% of the total pressure, which is enough to do away the need for active venting.

The results from the project shows a great potential with countergravity castingt. Since there is a possibility to control the pressure digitally, the step to real production is short. The project also showed that casting yield was 12% improvement over standard production for the OPTYPE-process.

Innehållsförteckning

1 TILLKOMST 1
2 INLEDNING 1
3 SYFTE OCH MÅL 2
4 GENOMFÖRANDE 3
4.1 NY TRYCKSTYRNINGSUTRUSTNING 3
4.2 YMPNING GENOM FILTER 7
4.3 PILOTANLÄGGNINGEN 8
4.4 MODIFIERING AV HWS UTRUSTNING 9
4.5 ÖVRIG UTRUSTNING 11
4.6 GASOLBRÄNNARE 13
4.7 ÖVERVAKNING AV GJUTFÖRLOPP 14
5 RESULTAT 15
5.1 KONTROLLERAT LÄCKAGE 15
5.1.1 Försök 15
5.1.2 Resultat från försök 17
6 DISKUSSION/SLUTSATS 20
6.1 MÅLUPPFYLLELSE 20
7 FORTSATT ARBETE 22
8 REFERENSER 22

1 Tillkomst

Denna publikation utgör slutrapport för projektet 1829 ”OPTimized Yield casting ProcEss”. Publikationen har utarbetats av Stefan Fredriksson på Swerea SWECAST tillsammans med Jonas Bäckman på Högskolan i Halmstad. Arbetet har finansierats av Statens Energimyndighet med 2400 kkr. Projektets totala budget var 6000 kkr.

Projektet har drivits av Swerea SWECAST tillsammans med ett antal projektpartners:

- Willy Andersson WBA Industriagentur
- Rolf Hermansson Holsbyverken AB
- Jeanette Colten Volvo Powertrain AB
- Rudolf Sillén Novacast AB
- Jonas Bäckman Högskolan i Halmstad
- Jan Bostedt ABP Induction AB
- Roger Persson Beijer Industrier AB
- Malte Ritzén Bürkert

Utöver ovan nämnda representater från företagen har även följande personer från Swerea SWECAST deltagit:

- Stefan Fredriksson
- Ralf Lisell
- Jörgen Bloom
- Bengt Nygren
- Åsa Lauenstein

2 Inledning

I det föregående projektet (1791, Energisnål gjut- och formningsprocess) var syftet att undersöka nya gjutmetoder som kan infria de krav som kommer från gjuteriindustrin på bl.a. minskad vikt och sänkta produktionskostnader. I projektet hanns det också med att planera för en försöksutrustning på Skandinaviska Gjuteriskolan för att närmare undersöka potentialen med att gjuta underifrån.

I OPTYPE har istället fokus varit på att utveckla processen och få en ökad kunskap om vilka parametrar som är viktiga för att lyckas med att gjuta järn underifrån. Stort arbete har lagts ner på att ta fram en ny styrutrustning för att kunna styra och kontrollera trycket inne i ugnen. Ett flertal gjutförsök har gjorts på Skandinaviska gjuteriskolan tillsammans med mycket arbete på att få utrustningen säker vid körningar då det förekommit industrirepresentanter vid några tillfällen. Vid varje försök har det funnits ett mål och försöken har därefter dokumenterats för att följa upp mot målet och dra lärdomar av de nya utmaningar som dyker upp längs resans gång. Mot slutet av projektet fanns förhoppningar om att hinna få in en verklig komponent med mycket väl dokumenterad historia om både kvalitet och egenskaper. Tyvärr fanns inte tiden då det vid tillfället inte fanns något 3D underlag på komponenten utan endast befintliga trämodeller. Dessa modeller var ej avsedda för att passa försöksutrustningen på Skandinaviska Gjuteriskolan utan för detta ändamål hade nya modeller behövts. Något som det medverkande företagen ställde sig positiva till men inte hann med inom ramen för detta projekt.

3 Syfte och mål

Svenska företag måste ligga långt framme vad gäller teknikutveckling för att klara av kraven och även på längre sikt för att överleva. Ett sätt att klara detta är att vara duktiga på att använda sig av ny teknik och nya processer. Att gjuta underifrån är erkänt en väldigt bra gjutmetod, kanske t o m den allra bästa. Men att gjuta underifrån med gjutjärn är nytt. Möjligheten finns att med metoden kunna tillverka tunnare och mer komplexa komponenter med högre utbyte och därmed sänkt energiförbrukning och tillverkningskostnaden, detta är något som ökar den svenska industrins konkurrenskraft.

Syftet med projektet är att visa marknaden potentialen med att gjuta underifrån med gjutjärn. Stort fokus har legat på att vidareutveckla den pilotanläggningen som installerades under det föregående projektet.

Nedan beskrivs de mål som är uppsatta vid användning av den nya gjuteriprocessen OPTYPE.

- Optimera gjuteriprocessen OPTYPE och påvisa att den är industrianpassad.
- På valda komponenter öka utbytet med 30 %.
- På valda komponenter minska väggtjockleken med 20 % med bibehållen eller ökad hållfasthet.
- På valda komponenter minska energianvändningen enligt Tabell 1

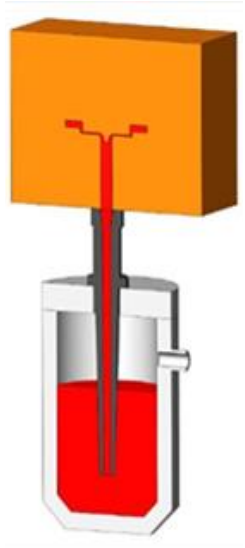
Tabell 1. Tabellen visar mål för energieffektivisering för projektet.

År	**Total energieffektivisering energieffektivisering (GWh)**							**CO_2 (ton)**
	El	**Fossila**					**Totalt**	
		Gasol	**Koks**	**Olja**	**Gas**	**Summa**		
2013 (Projektets slut)	2,1	-	1,4	-	-	1,4	3,5	710
2017	14,0	-	10,3	-	-	10,3	24,3	5038
2022	23,1	-	17,0	-	-	17,0	40,1	8334
2032 [1]	46,9		34,6			34,6	81,5	16886

- Anordna 2 seminarier för att marknadsföra tekniken för svensk gjuteriindustri.
- Minst 2 presentationer på konferenser (nationell/internationell).
- Publicera minst 3 artiklar varav minst 1 internationell.

4 Genomförande

Att gjuta underifrån är ingen ny gjutmetod men den har trots lovord ännu inte fått någon större utbredning hos gjuterier. Kanske är det för att det kvarstår forskningsarbete kring hur trycket ska kontrolleras. I det tidigare projektet på Swerea SWECAST installerades försöksutrustningen. Installationen av ugnen var ca 15 månader försenat vilket gjorde att när OPTYPE projektet startades fokuserades det initiala arbetet på att färdigställa utrustningen.



Figur 1. Bilden visar en principskiss av undergjutning där metallen trycks upp från ugnen upp igenom stigarröret och in i sandformen.

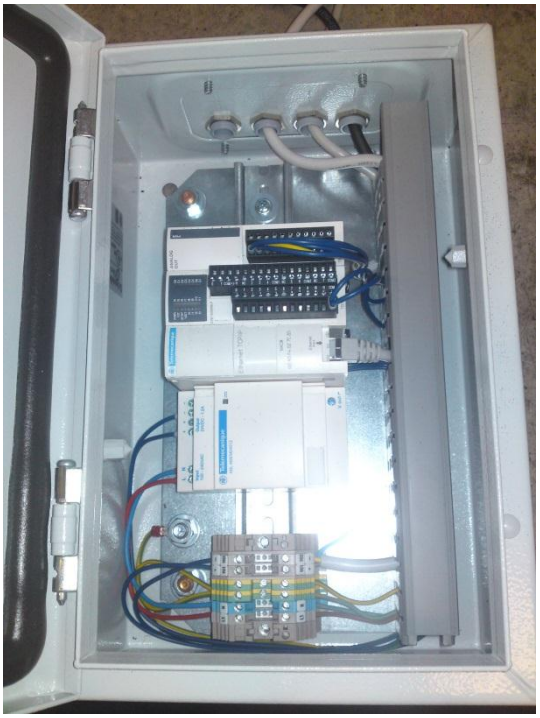
4.1 Ny tryckstyrningsutrustning

Det finns olika sätt att kontrollera och justera övertrycket inne i ugnen. I det tidigare projektet gjordes detta på ett analogt sätt där det förväntande trycket räknades fram genom att försöka gissa vilken temperatur som luften hade inuti ugnen och på så vis försöka att förutsäga vilken gasexpansion som skulle fås. Detta sätt är svårt att bemästra då temperaturen växlar vilket ger ett stort utslag på det övertryck som ges inuti ugnen. Det analoga sättet att styra hade fungerat för de initiala testerna men projektgruppen fann relativt snabbt att något annat sätt behövdes för att kunna ta utvecklingen till nästa steg.

Därför tittades det på ett digitalt sätt att försöka styra trycket. Kontakt togs med Bürkert som bl.a. tillverkar regulatorer för tryckstyrning. De kom på besök och en detaljerad genomgång av processen samt gruppens krav på en eventuell digital styrnings gick igenom. Genomgången resulterade i ett helt nytt gastryckssystem styrt via tryck, se Figur 2.

Figur 2. Bilden visar en schematisk skiss över tryckstyrningssystemet.

Gasen är kvävgas från flaska och den matar med 5 bars tryck en Bürkert styrventil. Denna ventil har en kontrollenhet som reglerar ventilöppningen och en trycksensor som känner av befintligt tryck i ugnen, se Figur 3.

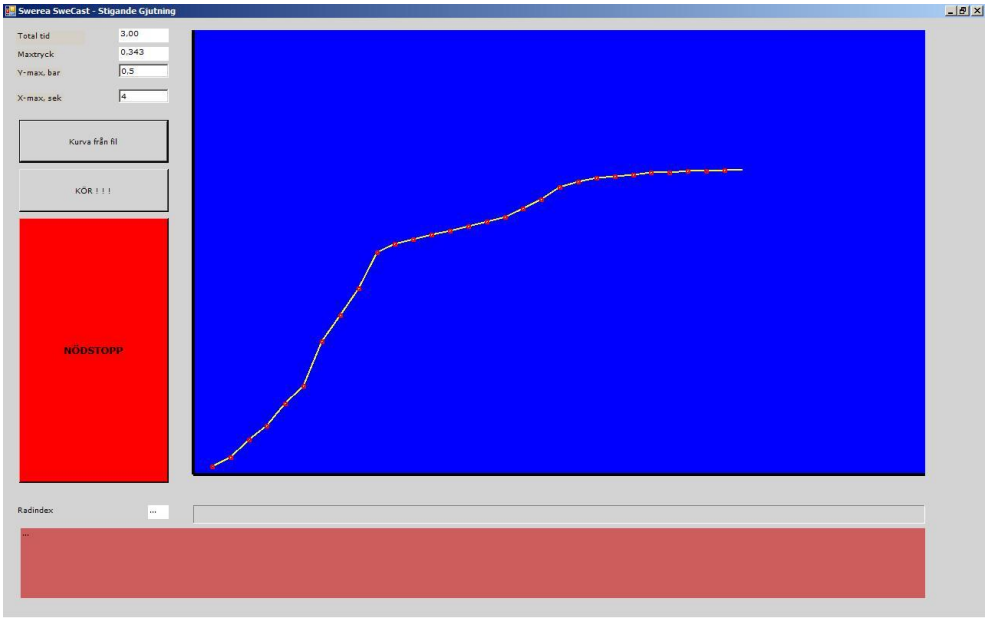


Figur 3. Bilden visar den kontrollenhet som reglerar ventilöppningen.

Kontrollenheten kan regleras utifrån via 4-20mA och en kommunikationsenhet finns mellan kontrollenheten och den dator som skickar önskat tryckvärde och övervakar processen. Även återkoppling till datorn sker så att den resulterande tryckkurvan kan registreras.

Ett tryckstyrningssystem måste kunna kontrollera trycket både genom att släppa in mer gas och på så sätt öka trycket, och genom att släppa ut gas så att trycket kan minskas.

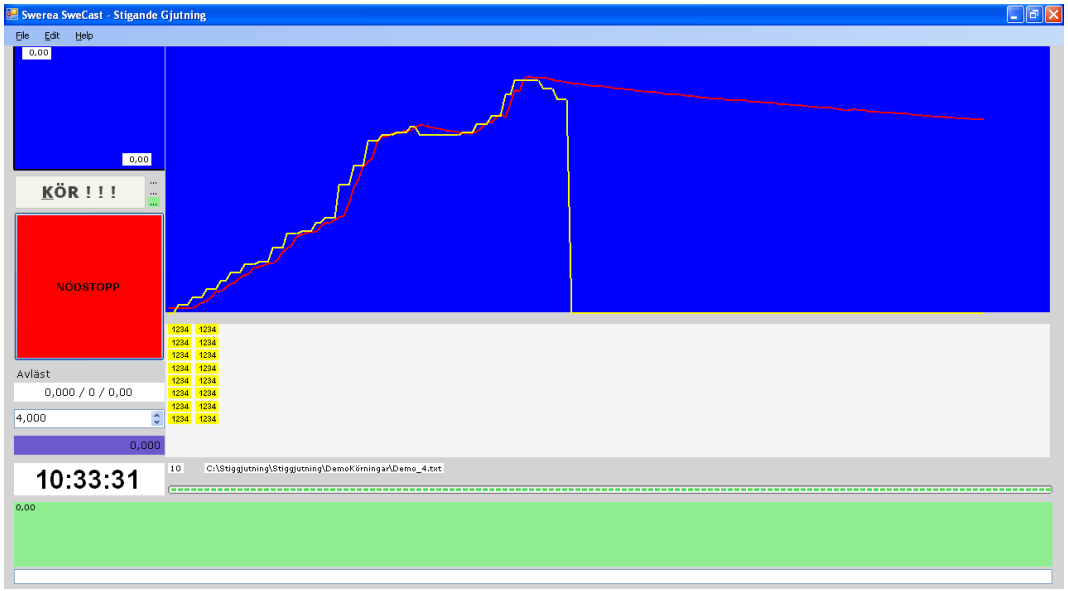
Det system som använts här har haft en styrd ventil endast på inloppssidan. I realiteten är ett fullständigt tätt ugnssystem svårt att skapa och det existerande läckaget har här fungerat som övertryckskompensation. Reglerventilen på inloppssidan klarar av att kompensera för situationen, vilket är tillräckligt. Främsta anledningen till gasläckage är den filtpackning som använts mellan ugnslock och stigarrör. Ett användargränssnitt, se Figur 4, skapades där möjlighet fanns att importera kurvor i textformat, samma format som används till gjutsimuleringarna där gjutprocessen simulerades. Efter att kurvan importerats visas den på skärmen där tid (s) är x-axeln och tryck (bar) är y-axeln.



Figur 4. Bilden visar tryckstyrningsprogrammets interface mot användaren.

Inledningsvis ”torrkördes” utrustningen mot ett tryckkärl, se Figur 5, för att testa uppbyggnaden av tryck samt att se hur snabbt det nya systemet svarade mot förändringar. Figur 6. Bilden visar resultatet från en av körningarna mot tryckkärl. Som bilden visar så följer kurvorna varandra vilket visar att utrustningens responstid var kort.Figur 6 visar resultatet från en av körningarna mot tryckkärlet.

Figur 5. Bilden visar tryckkärlet som köptes in för att kunna användas vid utvecklingen av den nya tryckstyrningsutrustningen.



Figur 6. Bilden visar resultatet från en av körningarna mot tryckkärl. Som bilden visar så följer kurvorna varandra vilket visar att utrustningens responstid var kort.

I projektet har flertalet olika kurvor används för att testa tryckuppbyggnaden. Till att börja med användes en relativt enkel tryckkurva. En linjär tryckökning från 0 bar till 1,0 bar på 6 sekunder, följt av 4 sekunders konstant-tryckhållning vid 1,0 bar. Kurvan skapades utifrån tankar om total tryckhöjd och eventuell ”tröghet” i järnets flöde. Systemet har en manuell ”nöd-trycksänkning” genom en wiremanövrerad kran och utöver det finns en automatisk övertrycksventil som maximerar trycket till 2,8 bar. 2,8 bar motsvarar en tryckhöjd på ca 3 meter men det var den ventilen med det lägsta trycket som kunde hittas. Längre fram i projektet optimerades kurvans form utifrån gjutgodsets form, främst för ett optimerat flöde och därmed associerade material- och godsegenskaper men även för en minskad energiförbrukning.

Figur 7 visare en del av utrustningen som registrera matningstryck och arbetstryck samt skickar signalen till styrsystemet för återkoppling.

Figur 7. Bilden visar de två manometrar som visar matningstryck respektive arbetstryck, samt den reglerenheten (displayen) som registrerar trycket inne i ugnen och som skickar signalen till programmet för återkoppling.

4.2 Ympning genom filter

Ympning av gjutjärn är ett avgörande moment vid gjutning för att önskad mikrostruktur och därmed önskade mekaniska egenskaper ska kunna uppnås. För att vara effektiv ska ympningen förhindra uppkomsten av såväl karbider som oönskad morfologi på grafitstrukturen. Ympning med ympmedel placerat inuti gjutformen har använts sedan 1960-talet med goda erfarenheter vad gäller mikrostrukturutveckling. De allt högre ställda kraven på kvalitet på det färdiga gjutgodset har medfört att användandet av filter har blivit allt mer vanligt vid gjutgodsframställning. Filter har dels avlägsnat inneslutningar och dels bidragit till lugnare metalflöden som var för sig gynnar gjutgodskvaliteten. De senaste 10 åren har olika metoder utvecklats för att kombinera filtreringseffekten och ympningen. Ympmedel i form av pellets eller block har placerats inuti, direkt före eller delvis integrerat i filtret. Dessa metoder har visat sig mycket effektiva för såväl gråjärns- som segjärnsframställning. De har medfört bättre mikrostruktur, mindre inneslutningar i gjutgodset och kanske inte minst viktigt mycket god repeterbarhet. Denna utveckling skulle mycket väl kunna uppfylla de krav som ställs för ympning av gjutjärn vid gjutning underifrån då möjligheten till förbehandling av smältan respektive strålympning är begränsad. Anpassningen av metallflödet genom filtret är dessutom möjlig vid tryckstyrd gjutning vilket inte är fallet med gravitationsstyrd gjutning. Denna teknik med ympning genom filter

kallas ”Inmould tekniken”. Inom projektet har ett tiotal artiklar studerats för att se potentialen med metoden. Potentialen anses vara mycket god för undergjutning.

4.3 Pilotanläggningen

Från början när OPTYPE startade saknades mycket av den säkerhetsutrustning som idag finns installerad på och kring utrustningen. Bl.a. har skyddsgaller satts upp tillsammans med säkerhetsbrytare. Detta för att förhindra att någon kommer för nära eller att det sker olyckor vid gjutning. Exempel på installerad säkerhetsutrustning syns i Figur 8. Installerat skyddsgaller vid undergjutningen, se Figur 8 och Figur 9.

Figur 8. Installerat skyddsgaller vid undergjutningen.

Figur 9. Bilden visar exempel på en av de säkerhetsbrytare som installerats vid undergjutningsutrustningen.

4.4 Modifiering av HWS utrustning

I de tidigare försöken på Skandinaviska gjuteriskolan har en horisontell delning används. Detta medförde bland annat att den stoppkolv som skjuts in i flaskan för att täppa till inloppet behövdes skjutas väldigt långt. Dessutom förborrades hål och en speciell sandkärna användes för att minska trycket på sandväggarna som tidigare hade medfört att sanden rasat med misslyckade gjutförsök som resultat. En bit in i projektet beslutades att undersöka om det var möjligt att modifiera utrustning för undergjutningen att även kunna gjuta med vertikal delning. Genom att göra det ges möjlighet att gjuta komponenter med högre höjd. Leverantören av utrustningen kontaktades och kort därefter skickades personal från Tyskland till Skandinaviska Gjuteriskolan för modifiering av utrustningen.

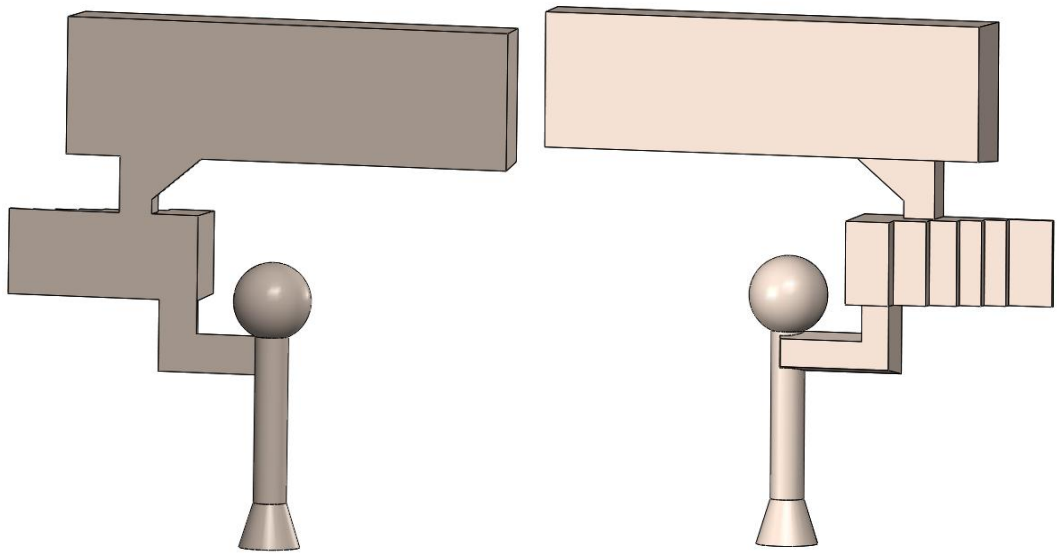
Tidigare vid horisontell delning har komponentens höjd varit en väldigt liten del av den totala tryckhöjden, vilket gör att den stora delen av övertrycket i ugnen bara går åt för att få metallen från badytan upp till toppen på stigarröret. Höjden från botten på ugnen till toppen på stigarröret är ca 1 m, men med normal mängd metall i ugnen är måttet ca 60 cm. Den mest intressanta delen av processen är den del som kommer efter att metallen har passerat toppen på stigarröret och istället kommer in i sandformen. Det är härifrån som olika kurvor har optimerats baserat på hur komponenten ser ut, vilka tvärsnittareor som finns m.m. Nackdelen med en horisontell delning är då att den höjden som komponenten kan ha blir liten i förhållande till den totala höjden, och eftersom det finns en responstid i systemet

så blir det svårt att ha en tryckkurva med alltför många variationer i. Det finns helt enkelt inte tid för det i processen.

Används däremot en vertikal delning där komponenthöjden kan vara nästan 500 mm istället för som tidigare 200 mm ges bättre förutsättningar att anpassa kurvan då det finns mer tid för förändringar. Det fanns inom gruppen intresse av att ta fram en geometri för vertikal delning. Det fanns från början många idéer hur geometrin skulle se ut. Gruppen var även enig om att det bör vara en relativt enkel modell med möjlighet att bygga ut, även om en enkel geometri oftast är svår att gjuta [4]. Tills slut enades det om den geometri som skulle fylla önskemålen nedan;

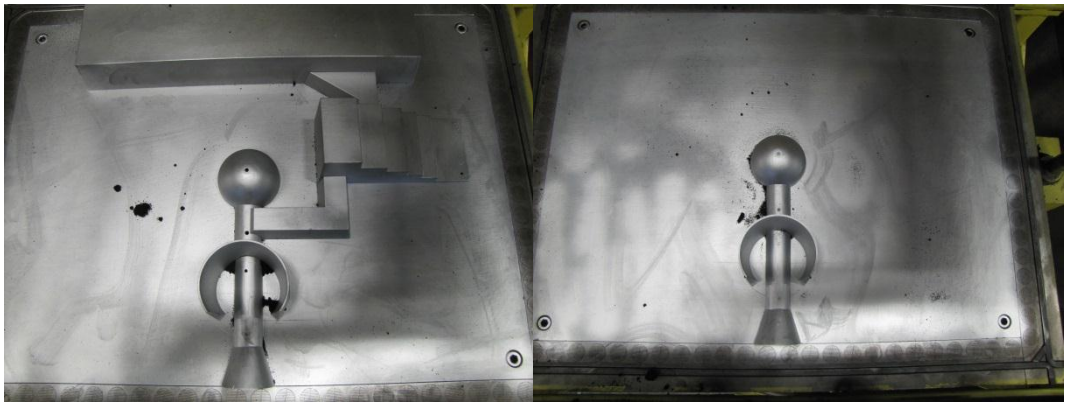
- Slaggfälla
  - Tanken med slaggfällan är att den första metallen som kommer från stigarröret ska fastna i den runda kulan istället för att åka med vidare i ingjutssystemet och in i gjutgodset. Idén med slaggfällan kommer ursprungligen från det tyska institutet i Duisburg som använt den med framgång.
- Olika tvärsnittsareor
  - Det hör till vanligheten att varje gjutgods har olika tvärsnittsareor, det är när metallen fyller godset och går från en sektion till en annan som det typiskt kan uppstå variation i tvärsnittarean. Är då flödet konstant kommer metallens hastighet att variera. Genom att optimera tryckkurvan så att tryckhöjningen till exempel minskar tillfälligt när tvärsnittarean ändras kan en lugn formfyllnad säkerställas trots variation i arean. Det är en av de stora fördelarna med att gjuta underifrån.
- Trappa som ger olika väggtjocklekar, tunt till grovt gods
  - Anledningen till att tillverka en geometri med olika väggtjocklekar är att dels se hur tunnväggigt det går att gjuta men också möjligheten att titta på strukturen och jämföra egenskaperna i materialet. Genom att tillverka en trappa ges möjligheten att plocka ut prover för metallografisk undersökning och dragprovning.
- Öppen matare på toppen
  - Det finns både fördelar och nackdelar med att ha en öppen matare. Nackdelen är att formen inte kan vridas 90 och sedan tas ut ur HWS utrustningen utan formen måste stå kvar till dess att metallen har stelnat tillräckligt mycket för att kunna vridas och därefter tas ut. Fördelen är däremot att projektgruppen genom att filma gjutprocessen kan se metallen stiga genom mataren. Det ger helt enkelt en visuell återkoppling på hur fort metallen stiger och hur högt den stiger. Tryckkurvorna som användes var anpassade så att metallen inte skulle stiga hela vägen upp.,

Swerea SWECAST fick i uppdrag att skissa på en geometri som uppfyllde önskemålen. Resultatet syns i Figur 10.



Figur 10. Bilden visar den geometri för vertikal delning som togs fram inom OPTYPE projektet.

Efter att gruppen godkänt geometrin så skickades underlaget för modelltillverkning. De två brättena syns i Figur 11. Det tillkom även en konstruktionslösning som medförde bättre möjligheter till ”avsnörpning” av inloppet efter gjutsekvensen. Det är det som på bilden nedan ser ut som en ”halvmåne” Denna lösning styr sanden som skjuts in och bidrar till bättre avsnörpning av inloppet [3].



Figur 11. Bilden visar den brättlagda geometrin för vertikal delning.

4.5 Övrig utrustning

För att kunna använda utrustningen som installerats i pilotgjuteriet krävdes formflaskor. Volvo Powertrain, ett av de deltagande företagen, tillverkade sammanlagt 10 flaskhalvor i projektet. Till en början var det tänkt att dessa skulle användas för horisontell delning men eftersom HWS utrustningen modifierades fick också vissa justeringar göras på formflaskorna. På vad som tidigare varit sidorna på flaskorna bearbetades nu ett hål upp för att möjliggöra att flaskorna skulle kunna stå upp och att gjutning kunde ske underifrån. Hålet gjordes medvetet större än vad som behövdes för att kunna justera flaskans placering över stigarröret om inte inloppet i flaskan satt mitt i modellen, se Figur 12.

Figur 12. Bilden visar en av formflaskorna efter att de modifierats för vertikal delning.

I några av försöken har det läckt smält metall mellan stigarröret och sandformen på grund av att det inte varit tätt. Anledningen har varit för liten tätningsyta mellan änden på stigarröret och sandformen, ytan blir inte större än rörets ändyta. Lösningen blev att tillverka en passbit lika stor som urtagen i formflaskorna, se Figur 13. Passbiten förenklade även processen att centrera flaskan över stigarröret

Figur 13. Bilderna visar passbiten som tillverkades för att täppa till läckaget mellan stigarröret och sandformen.

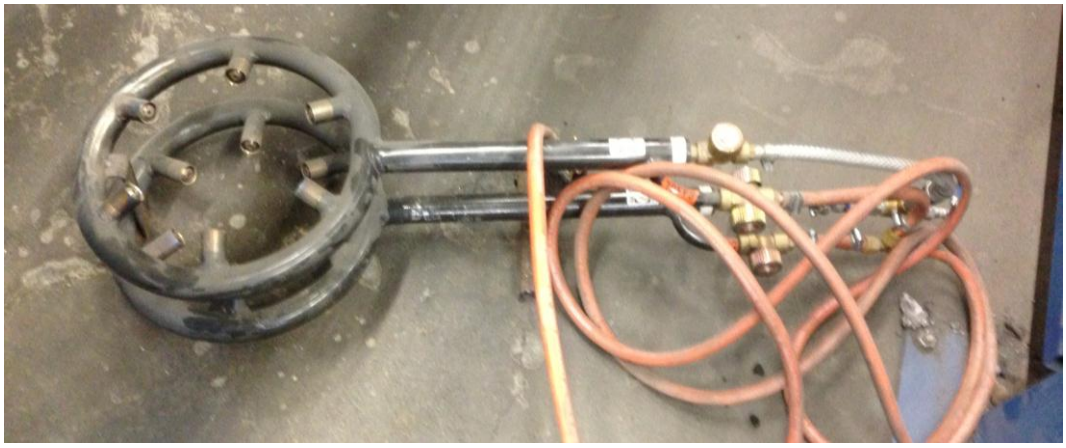
Även en ställning tillverkades för att lägga passbiten på, se Figur 14. En annan nämnvärd detalj på passbiten är att det på ovansidan sitter en liten kilformad fläns som tränger in i sanden för att öka tätheten mellan röret och sanden. Metall som

trots detta läcker ut bör kylas ner så snabbt att metall förhindras flyta ut över ugnen eller övrig utrustning.

Figur 14. Bilden visar den ställning som passbiten placerades på över stigarröret.

4.6 Gasolbrännare

Under gjutprocessen är det viktigt att temperaturen inte sjunker för då finns risken att metallen stelnar. Stigarröret är tillverkat i grafit vilket leder värmen bra. Fördelen är att det håller värmen när det väl är uppvärmt, men å andra sidan tar det ett tag innan det är uppe i tillräcklig temperatur för gjutning. I en verklig produktion kommer troligtvis stigarröret att värmas på elektronisk väg men för att komma lösa det problemet i projektet tillverkades en dubbel ringbrännare, se Figur 15. Ringbrännaren läggs runt stigarröret som sedan förvärms. Till brännaren kopplas gasol. Innan gjutningen tas ringbrännaren bort, dels för att det i befintlig anläggning inte finns plats att ha den kvar vid gjutning, men även för att förhindra att eventuell smält metall ska skada brännaren. För varje flaska som gjuts värms sedan röret upp av metallen inuti röret. På så vis säkerställs att metallen inte fryser inuti röret.



Figur 15. Bilden visar den ringbrännare som tillverkades för att förvärma stigarröret innan gjutning.

4.7 Övervakning av gjutförlopp

För att ytterligare kunna följa gjutförloppet installerades två webkameror där den ena kunde följa förloppet sett ovanifrån. Den andra webkameran placerades på marken och fokuserades på att filma stigarrörets anslutning till flaskan. Vid några av försöken filmades processen och det var typisk sådan dokumentering som ledde till de extra installationerna kring stigarröret. Förlängningskablar drogs sedan ut till ett temporärt bord där de kunde kopplas in till var sin bärbar dator för inspelning och redigering, se Figur 16.

Figur 16. Stationen där de båda webkamerorna kunde övervakas.

5 Resultat

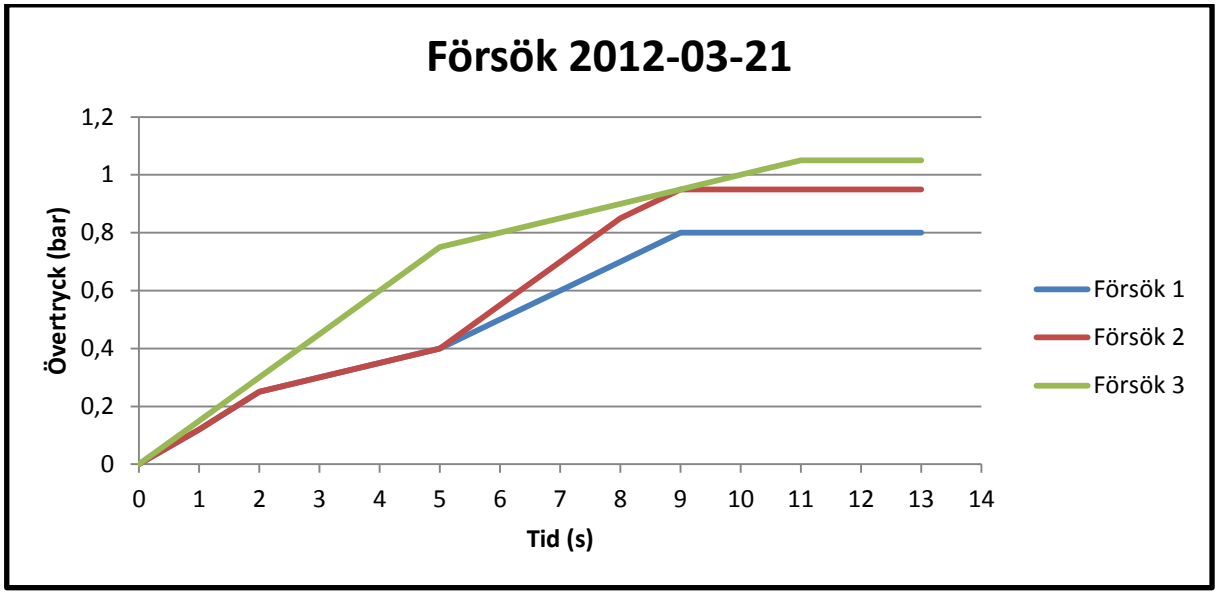
Att gjuta underifrån har en enorm potential, det vet projektgruppen och även troligtvis gjutarkollegor runt om i Sverige. Det handlar om att visa att tekniken är möjlig att applicera även på gjutjärn med sandform. Syftet och målet har således från projektets start varit att i pilotanläggningen på Skandinaviska gjuteriskolan få iordning en utrustning som kan visa att det går att överföra tekniken till en producerande enhet. Större delen av arbetet har lagts på att utveckla en digital tryckstyrningsutrustning samt att skapa en säker miljö för forskarna och industrirepresentanterna att vistas i. Utöver detta har litteraturstudie kring ympning genom filter gjorts för att även undersöka om tekniken skulle kunna breddas ytterligare. Genom att kunna ympa genom ett filter skulle det gå att gjuta även segjärn med hjälp av utrustningen. I så fall öppnas ytterligare ett stort segment av produkter upp. Oftast är dessa också något mer hög-presterande produkter varvid en lugn och kontrollerad formfyllnad är ett måste för att ha förutsättningar till bra kvalitet på gjutgodset. Något som gjutning underifrån medger.

5.1 Kontrollerat läckage

Ett stort delmål har varit att ta reda på hur mycket utrustningen läcker. Tryckstyrningsutrustningen används idag utan någon ventil för att släppa ut gas om trycket blir för högt utan det förlitas på det faktum att utrustningen läcker något. Det finns en nödventil som släpper ut allt tryck om det överstiger 2,8 bar. Detta för att säkerställa att inga olyckor sker. För att kunna optimera tryckkurvor och även få bra gjutresultat var det därför oerhört viktigt att ta reda på vilket läckage som ugnen hade. Det primära läckaget antas komma från tätningen mellan ugnen och stigarröret. Tätningen är idag av typen filtpackning vilken släpper igenom gas. Genom att, vid gjutförsöken, prova olika kurvor med tryck och samtidigt mäta det uppmätta trycket ges en återkoppling på hur väl tryckstyrningsutrustningen lyckas återskapa den kurva som matats in i systemet.

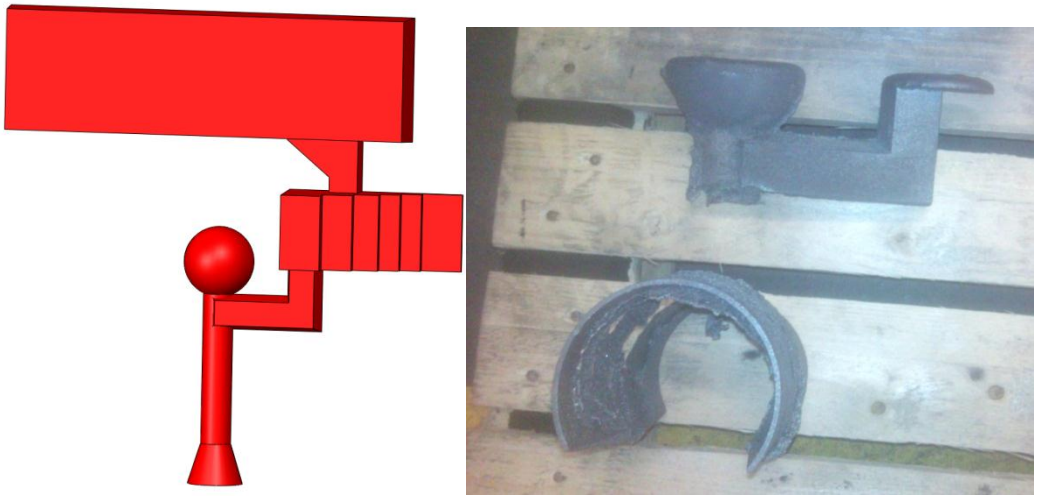
5.1.1 Försök

Tre olika tryckkurvor kom att appliceras vid försöksgjutningen 2012-03-21, se Figur 17. Vid det första försöket var det maximala övertrycket 0,8bar.



Figur 17. Diagrammet visar de tre tryckkurvor som användes vid försöken 2012-03-21.

I det första försöket nådde järnnivån upp till motsvarande halva ”klotet” dvs. inte in i ”trappan”. Se Figur 18.



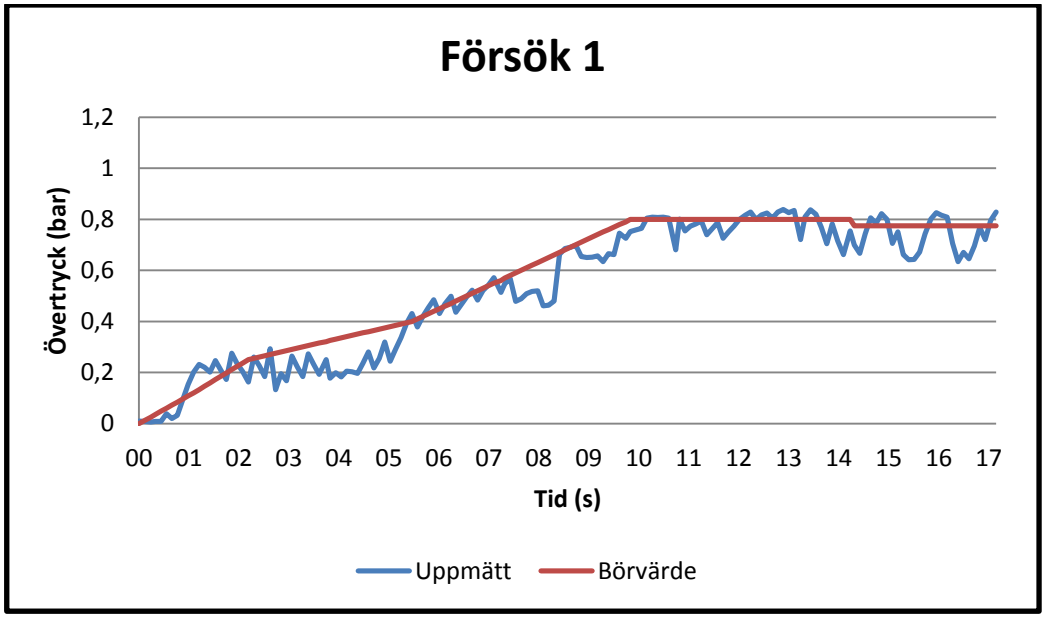
Figur 18. Bilden visar resultatet efter den första tryckkurvan.

I försök två ökades tryckkurvans maxvärde till 0,95 bar, och nivån nådde upp till ungefär hela trappans höjd, se Figur 19. Vid rotation till horisontellt läge, skvätte/rann en del av smältan i trappsektionen in i ”matarsektionen” och trappan är därför inte fullgjuten. Trappans tunnaste sektion är fullgjuten vilket visar att nivån nådde så långt innan rotation till horisontalläge inträffade.

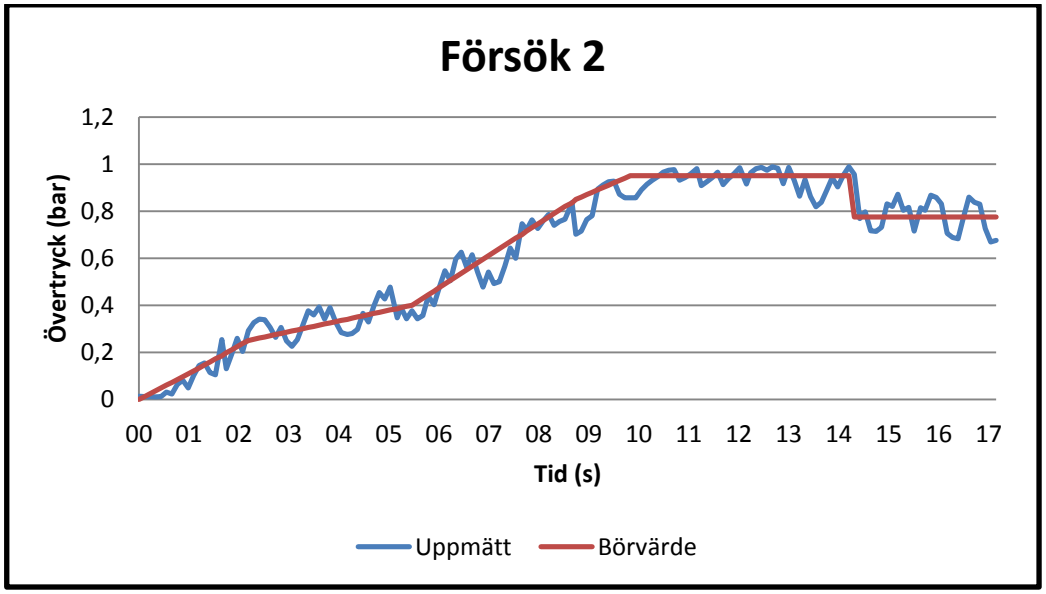
Figur 19. Bilden visar resultatet när tryckkurvan ökades till 0,95bars övertryck.

5.1.2 Resultat från försök

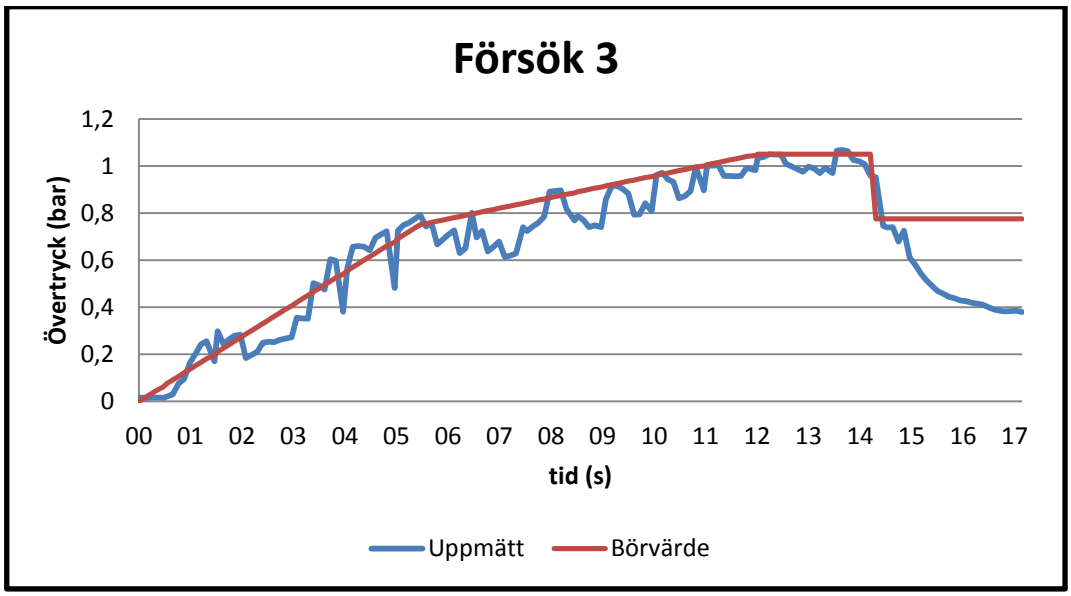
Nedan följer resultat från de tre försöken i form av diagram som redovisar tryckkurvan vid de tre olika flaskorna som göts, Figur 20 till Figur 22.



Figur 20. Diagrammet visar resultat från försök 1.

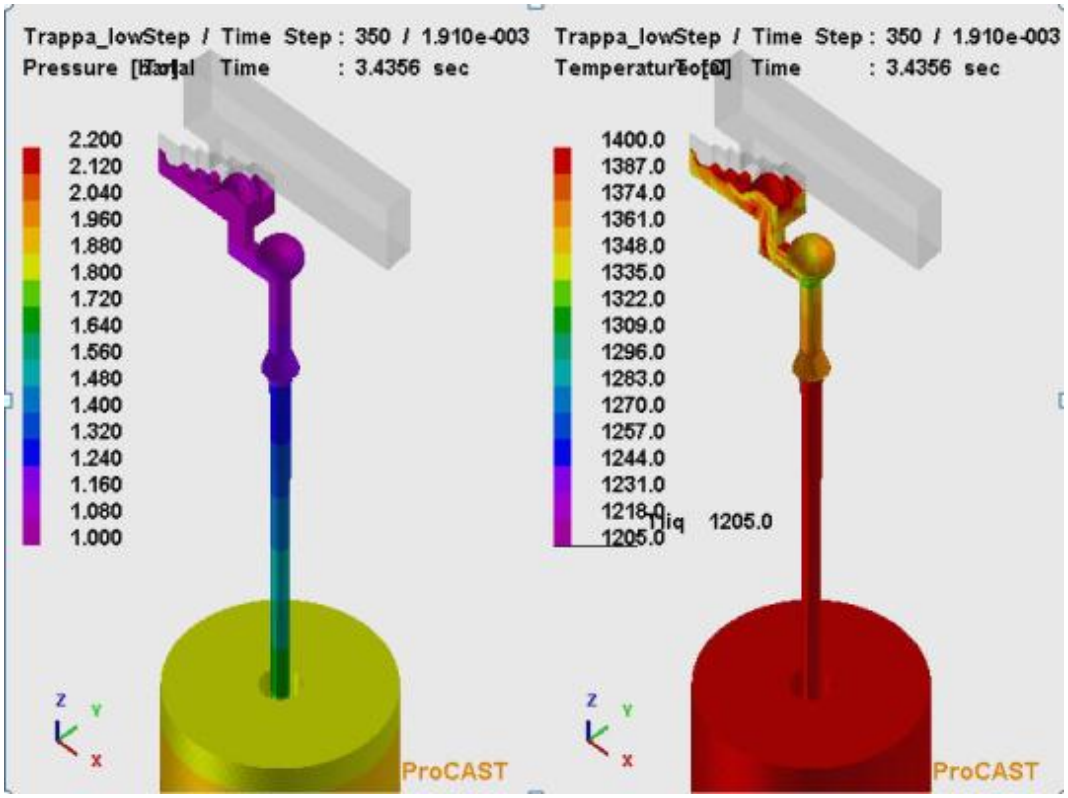


Figur 21. Diagrammet visar resultatet från försök 2.



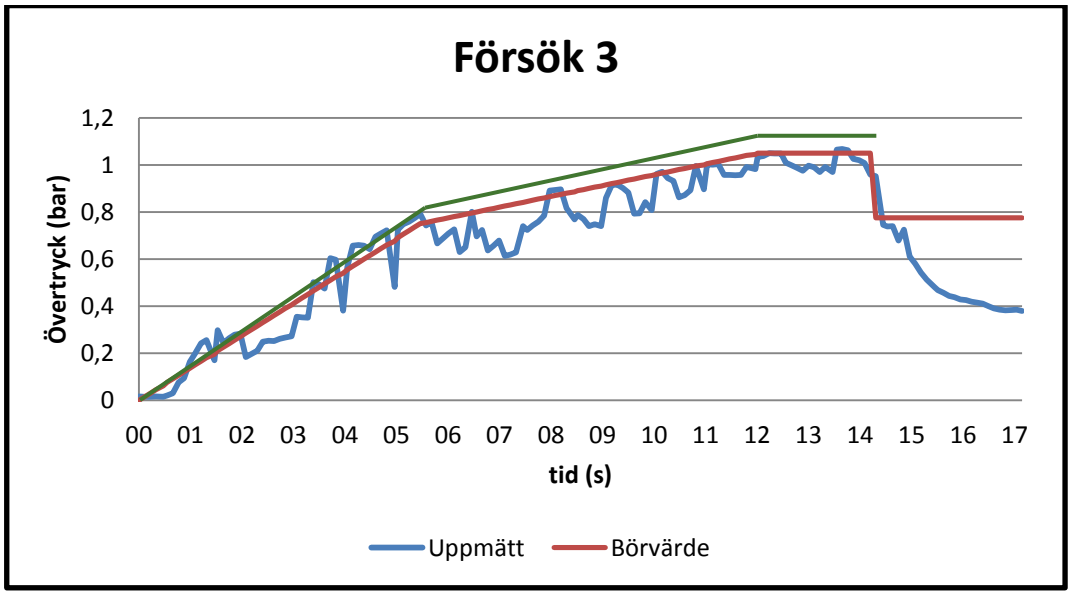
Figur 22. Diagrammet visar resultatet från försök 3.

Det finns en liten skillnad mellan börvärdet och det uppmätta värdet. Skillnaden finns med från början och tros bero på att utrustningen läcker något. Detta är något som har funnits med i beräkningarna från början och till nästa gång kommer det att adderas övertryck för att kompensera för det läckaget. Målet var att försöka ta reda på hur stort läckaget är för att kunna kompensera för den förlusten.



Figur 23. Bilderna visar formfyllnaden från en simulering av gjutning underifrån. Bilden till vänster anger tryck (bar) och bilden till höger visar temperaturen (C).

Efter de utföra försöken mättes det hur långt metallen ”klättrat” i gjutgodset, detta ger ett svar på hur stort läckaget är. Efter mätningar på flera olika komponenter från försök konstaterades att läckaget var ca 6 %, se Figur 24. Vid framtida gjutningar bör alltså en tryckkurvan optimeras med hjälp av gjutsimulering men att kurvan därefter förskjuts med ca 6% för att ge det sökta slutvärdet.



Figur 24. Diagrammet visar korrelationen mellan applicerad tryckkurva och uppmätt mätvärde.

Det finns även fler tänkbara lösningar att hitta för att ge ett jämnare flöde och mer kontrollerad formfyllnad. En sådan är att använda filter vid gjutning. Ett filter förhindrar även att eventuell sand som kan ramla av formväggen i samband med att kolven skjuts in, faller ner i stigarröret För bästa resultat bör här runda filter användas [1].

6 Diskussion/slutsats

Det har varit oerhört inspirerande att driva och arbeta med ett sådant industrinära projekt och det märks också på industrin att engagemanget blir starkare när det finns en tydlig koppling till industrinyttan. Nedan följer en summering och återkoppling till de mål som fanns uppsatta för projektet.

6.1 Måluppfyllelse

Nedan beskrivs de uppsatta målen för projektet ”OPTYPE”.

- Optimera gjuteriprocessen OPTYPE och påvisa att den är industrianpassad.
    - Genom framtagning av ett nytt tryckstyrningssystem har förutsättningarna skapats för att på ett mer kontrollerat sätt gjuta underifrån. Möjligheten finns nu att enkelt jobba sekventiellt då tryckkurvan först optimeras i datorn och sedan enkelt exporteras från mjukvaran för simulering och därefter enkelt importeras i den egenutvecklade mjukvaran för tryckstyrningsutrustningen. Många av de barnsjukdomar som kommer med ny teknik eller process har upptäcks och flertalet av dem har dessutom fått sin lösning inom projektet. I den mån det i pilotanläggningen går att industrianpassa OPTYPE finner projektgruppen att de nått fram.
- På valda komponenter öka utbytet med 30 %.
    - De flesta försök som gjorts har gjorts med en komponent som har vertikal delning och speciellt framtagen för att kunna täcka in så många olika typer av gjutgods som möjligt. Tjock gjutgods, tunt gjutgods, trånga sektioner, stor tvärsnittsarea, snäva svängar m.m. Då den framtagna trappan i projektet inte tillverkas i verkligheten finns där inget ursprungligt utbyte att jämföra med. Däremot gjorde en förenklad beredning om trappan skulle ha gjutits med traditionell gjutmetod. Då uppvisade modellen som var framtagen i projektet 12% bättre utbyte.
- På valda komponenter minska väggtjockleken med 20 % med bibehållen eller ökad hållfasthet.
    - I projektet har det arbetats med en artificiell produkt speciellt framtagen för att representera olika stelningsförhållanden/olika godstjocklekar och därmed kunna provocera fram olika materialegenskaper. Inom ramen för projektet har det inte gjorts några dragprover på gjutna komponenter varvid detta mål kan ses som ej uppfyllt.

- På valda komponenter minska energianvändningen enligt tabell nedan

År	**Total energieffektivisering (GWh)**							**CO_2 (ton)**
	El	**Fossila**					**Totalt**	
		Gasol	**Koks**	**Olja**	**Gas**	**Summa**		
2013 (Projekt slut)	2,1	-	1,4	-	-	1,4	3,5	710
2017	14,0	-	10,3	-	-	10,3	24,3	5038
2022	23,1	-	17,0	-	-	17,0	40,1	8334
2032 [1]	46,9		34,6			34,6	81,5	16886

[1] *Maximal implementering*

- Anordna två seminarier för att marknadsföra tekniken för svensk gjuteriindustri.
    - Projektet hade en kraftig försening i början. Nästan hela 2009 stod projektet still. När det sedan startades hölls ett seminarium/träff med dels projektgruppen men också andra inbjudna för att visa på tekniken och i försök att utöka projektgruppen. En presentation hölls även på Sveriges Gjuteritekniska Förenings vår-konferens 2009 där cirka 100 personer deltog.
    - Ytterligare ett seminarium planerades innan projektets slut. Denna gång har en förfrågan gått ut till Sveriges Gjuteritekniska Förening om att få hålla en presentation och få visa på resultat från projektet. Kontakt har tagits och Föreningen ställer sig positiva till frågan. Nästa konferens går av stapeln hösten 2013.
- Minst två presentationer på konferenser (nationell/internationell)
    - Två stycken presentationer har hållits inom ramen för projektet. Den första var i Svedala, Malmö där Magmasoft som är en återförsäljare av program för gjutsimulering höll sitt användarmöte för alla användare inom Norden. På mötet hölls en 30 minuter lång presentation om projektet.
    - Den andra var på NovaCast system technologies användarmöte i Göteborg våren 2013. Även här hölls en presentation om projektet.
- Publicera minst tre artiklar varav minst 1 internationell

Under projektets tid har det skrivits tre artiklar, två av dessa är publicerade i Gjuteriet, som är en branschskrift för den svenska och nordiska gjuteriindustrin, nr 9 2010 och nr 2 2012. Dessutom har en internationell artikel publicerats i Støperiet nr 1 2013. Støperiet är Danmarks motsvarighet till Gjuteriet och når dessutom en del av den tyska marknaden med sin tidning.

7 Fortsatt arbete

Det finns fortfarande arbete kvar att göra innan tekniken och metoden är helt industrianpassad. Inom projektet fick mycket tid och resurser läggas ned på att utveckla en ny digital tryckstyrning samt färdigställa utrustningen och den 15 månader försenade ugnen. Detta sammantaget fick som konsekvens att det inte hanns med att ta in några reella komponenter i projektet. Lagom till projektets slut känner gruppen att projeketet visat att tekniken fungerar för gjutjärn och därmed nått teknikmålet. Projektet har inte haft som mål att på något sätt optimera någon parameter utan har bara mappat upp produktionsfönstret.

En vidareutveckling av tekniken innebär en optimering av en eller flera parametrar med avseende på produktion och ekonomi. En sådan optimering måste göras för varje enskild produkt och kan inte hållas generell. Naturligtvis bör optimeringsprocessen totalt sett gå fortare och fortare, ju fler gånger den genomförs och ju fler produkter tekniken optimeras för.

Årsproduktionen för gjutjärn i Sverige har sjunkit från 260 000 ton år 2008 till att år 2012 vara 205 000 ton. Resonemanget kring potentialen för energieffektivisering förefaller fortfarande aktuell. De siffror som tagits fram vad gäller högre utbyte visade sig vara väldigt lika mot de som tidigare angivits (bromskiva i tidigare projekt, 15 %, trappan framtagen i nuvarande projekt, 12 %). Det som behövs för att få industrin att hoppa på tåget är fler tydliga exempel. Nu när utrustningen står färdig efter två etapper av projekt hade ett fortsättningsprojekt om ca 6 månader där arbetet bestått av att enbart visa på exempel tillsammans med industrin varit intressant att följa.

8 Referenser

[1] A. Carlsson, V Fourlakidis, Optimering av filter, Svenska Gjuteriföreningen, rapport nr 2010-006, (2010)

[2] J Bloom, OFP för bestämning av defekter, inre renhet och grafitstruktur, Svenska Gjuteriföreningen, rapport nr 2011-013, (2011)

[3] J. Haglind, Konstruktion för rensning, Svenska Gjuteriföreningen, rapport nr 2012-014, (2012)

[4] A. Carlsson, Enkla geometrier, Svenska Gjuteriföreningen, rapport nr 2010-008, (2010)