

# Simulering af ram-up sleeve efterfødere

Af Nikolaj Vedel-Smith, PhD

## Introduktion

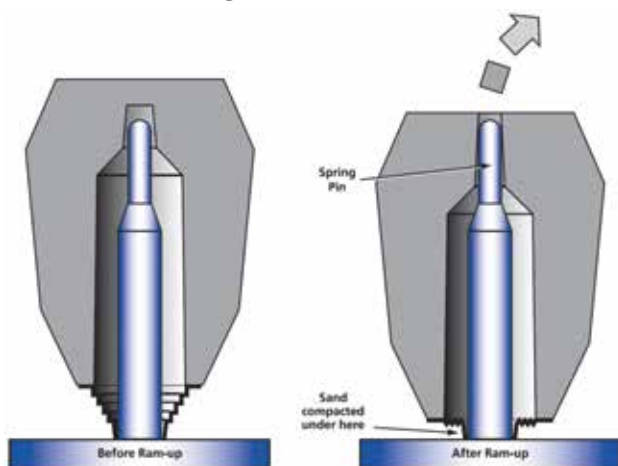
Ram-up sleeves tilbyder støberierne nye muligheder for at efterføde deres støbninger. Den specielle montering af ram-up sleeves gør at de kan placeres på steder hvor der normalt ikke kan placeres efterfødere. Efterføderne bliver formet direkte ind i sandet når det kompakteres, hvilket løser udfordringen med efterfødere der er en del af modellen og som skal have slip for at kunne afforme, som vist på **figur 1**.

Brugen af disse nye efterfødere stiller samtidig nye krav til opsætningen af simuleringer der skal påvise omfanget og placeringen af porøsiteter i de støbte emner. Udfordringen hermed et størst for vertikale

anlæg da efterføderne ikke kan gøre brug af tyngdekraften som normalt benyttes til at flytte smelten fra efterføderen og ind i emner. Læringen fra opsætningen og kalibreringen af støbninger lavet på et vertikalt anlæg kan dog i høj grad også overføres til vertikale anlæg.

## Støbeforsøg

I undersøgelsen er der benyttet to forskellige emner, som hver repræsenterer forskellige udfordringer for efterfødnings og simulering. Det første emne er en skive med en ydre ring, en tyndvægget sektion og et nav i midten. Se **figur 2a**. Den specielle geometri gør at navet i midten ikke kan efterfødes fra omkredsen af emner. Der er altså brug for at efterføderen placeres direkte på navet. Det andet emne er en massiv blok som er tre gange så høj som den er bred og dyb, som vist på **figur 2b**. Oven på blokken er en specielt designet efterføder som sikrer at det flydende svind ikke påvirker svindet i selve blokken. Hermed kan mængden af porøsiteter i emner nemmere sammenlignes. En anden effekt er at blokken fungerer på samme måde som en isoleret sektion der har brug for separat efterfødnings. Blokken er skaleret i tre størrelser for at påvise hvordan efterfødnings ændre sig ved forskellige moduler.



(a) Princippet i ram-up sleeve efterfødere [1]



(b) Sidemonterede ram-up sleeve efterfødere

Figur 1: Illustration af ram-up sleeve princippet og dets funktion i praksis.

## Støberesultater

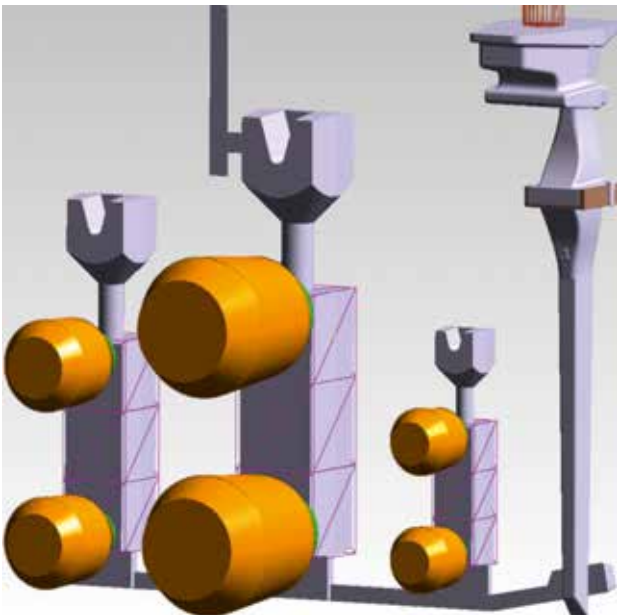
Der er blevet støbt over 50 skive-emner og over 200 blok-emner som en del af undersøgelsen. Alle disse støbninger er efterfølgende blevet analyseret med ultralyd, røntgen og gennemskæring for at kortlægge størrelsen og placeringen af porøsiteter i de forskellige emner, som vist i **figur 3**. For skiven er der fokuseret på hvor i emner porøsiteterne befinder sig. For blok-emnet har der været en grundlæggende inddeling i tre områder (top, midt og bund som vist i **figur 2b**), men hvor størrelsen af porøsiteterne er kvantificeret på en skala fra 0-4, hvor 0 er porøsitetsfri og hvor 4 er massive porøsiteter.

## Kalibrering af simuleringer

Simuleringen er sket med Magmasoft 5.1, 5.2 og 5.3. For begge emner har fremgangsmåden været at teste indflydelsen af hver enkelt parameter for at finde de indstillinger som matcher resultaterne fra støbning-



(a) Gennemskåret skive-emne der viser profilen.

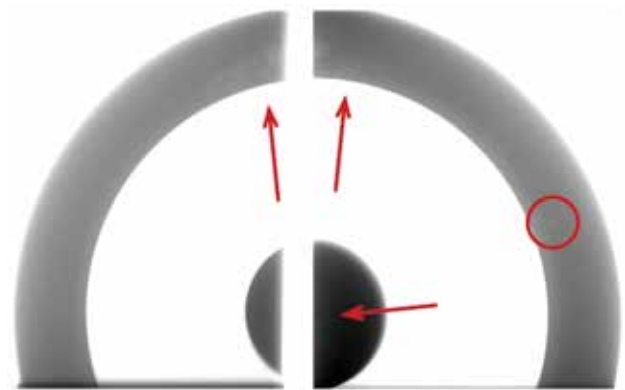


(b) Blok-emne. Viser de forskellige skalerede størrelser af emner samt de mulige placeringer af efterfødere.

Figur 2: Oversigt over de to testemner.

gerne bedst, samt for at blive klogere på hvordan de enkelte simuleringsparametre påvirker resultatet – i dette tilfælde størrelsen og placeringen af porositeterne.

Skive-emnet blev brugt til at teste to forskellige legeringer; EN-GJS-500-7 og EN-GJS-450-14, hvoraf den sidste har et højt indhold af silicium og har et stort behov for efterføding. Støbetemperatur og andre procesparametre blev indstillet ud fra de produktionsforhold der var mens emnerne blev støbt. Der blev taget målinger af støbetemperaturen løbende for at sikre at den var stabil. Den primære faktor som



(a) Røntgenundersøgelse af en af skive-emnerne



(b) Gennemskæring af et blok-emne for at finde porositeter

Figur 3: Porositets analyse af skive- og blok-emner.

påvirkede porositeterne var grafitudvidelsesfaktoren [2]. Kvaliteten af podningen havde dog også betydning. Vi fandt at de emner som benyttede de eksotermiske efterfødere var fri for porositeter. Dette matchede med undersøgelserne af støbningerne. Modulen af disse efterfødere var stor nok til at sikre sunde emner for begge legeringer. De emner som blev støbt med isolerende ram-up sleeve efterfødere viste porositeter i emnet for den krævende EN-GJS-450-10 legering som vist i **figur 4**. Ved den optimale indstilling af grafitudvidelsesfaktoren (GP) – 8 for EN-GJS-500-7 og 6 for EN-GJS-450-10, var der en god overensstemmelse mellem støbningerne og simuleringerne. Et interessant fund ved undersøgelsen var at grafitudvidelsesfaktoren ikke kun have betydning for hvor store porositeter der blev forudsagt af simuleringen, men også placeringen. En lavere grafitudvidelsesfaktor fik i nogle tilfælde lokale porositeter til at forsvinde – eller rettere at være placeret som større samlede porositeter andetsteds i emner.

For blok-emnerne er simuleringen, som det også skete med skive-emnerne, først blevet kalibreret iht. emner støbt helt uden efterfødere. På den måde opnås



Figur 4: Porøsitetsresultater for test og kalibrering af simuleringerne for skive-emnerne. Her set fra siden. GP er grafitudvidelsesfaktoren.

et billede af emnet og simuleringsopsætningen uden indflydelsen af efterfødere. For blok-emnerne dækkede parameterstudiet 30 forskellige opsætninger, som vist i **tabel 1** og i **figur 5**. Testen omfattede indstillinger som materiale, efterfødnings effektivitet, formstabilitet, mesh-størrelse, grafitudvidelse, podning og støbetemperatur. Testen af de mange parametre blev til to forskellige opsætninger som hver i sæt blev brugt til at si-

mulere tre forskellige blok-emner med forskellige kombinationer af efterfødere. Placering og størrelse af de simulerede porøsiteter blev sammenholdt med de porøsiteter der var fundet via ultralyd, røntgen og gennemskæring af emnerne, som vist i **figur 3**. En vigtig faktor for hvor porøsiteterne var lokaliserede i simuleringerne var den såkaldte efterfødnings effektivitet. Denne faktor er en procentsats fra 0-100 % og er normalt

forbeholdt fx stål, aluminium og lign. metaller, men ikke støbejern. Vi fandt dog at størkningen af den EN-GJS-500-14 legering med højt silicium indhold som blev brugt til blok-emne forsøgene udviste nogle af de samme karakteristika som ellers kendetegner dannelsen af porøsiteter i stål- og aluminiumsemner [2].

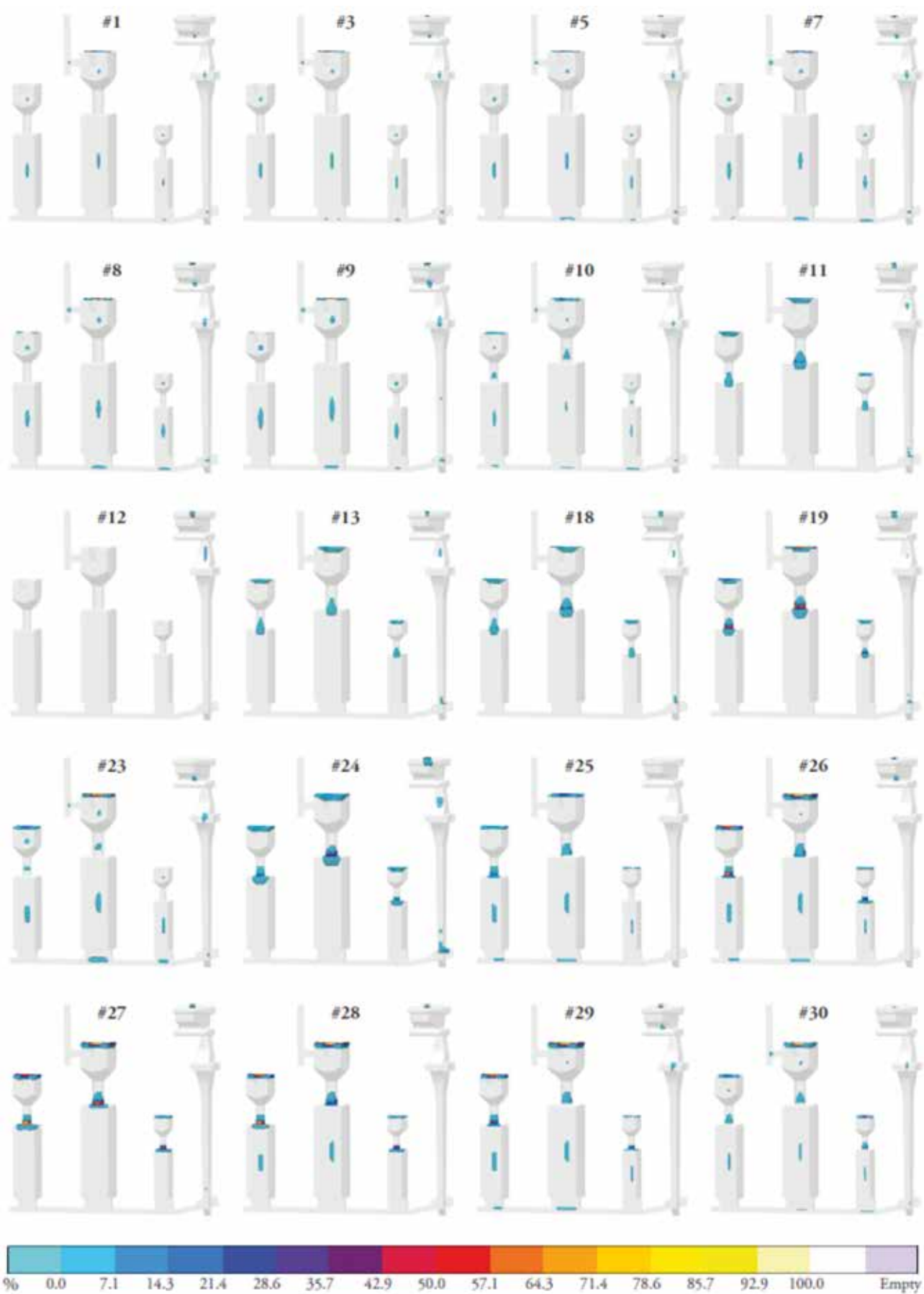
Simuleringerne matcher i flere tilfælde, som det ses på **figur 6**, men har til tider svært ved at ramme rigtigt for både store og små moduler samtidig. Ligeledes at det varierende hvilken af de to opsætninger der giver de bedste resultater. Udfordringen skyldes at ram-up sleeve efterføderne i denne undersøgelse er monteret sidevers på emnerne, og det er derfor andre parametre end blot tyngdekraften som styrer bevægelsen af smelten. Undersøgelsen viste dog også at varmemæssige analyser af emnerne var meget præcise og at så længe efterfødnings primært var styret af den varmemæssige kapacitet i emnet og efterføderen, så var simuleringerne også præcise.

## Konklusion

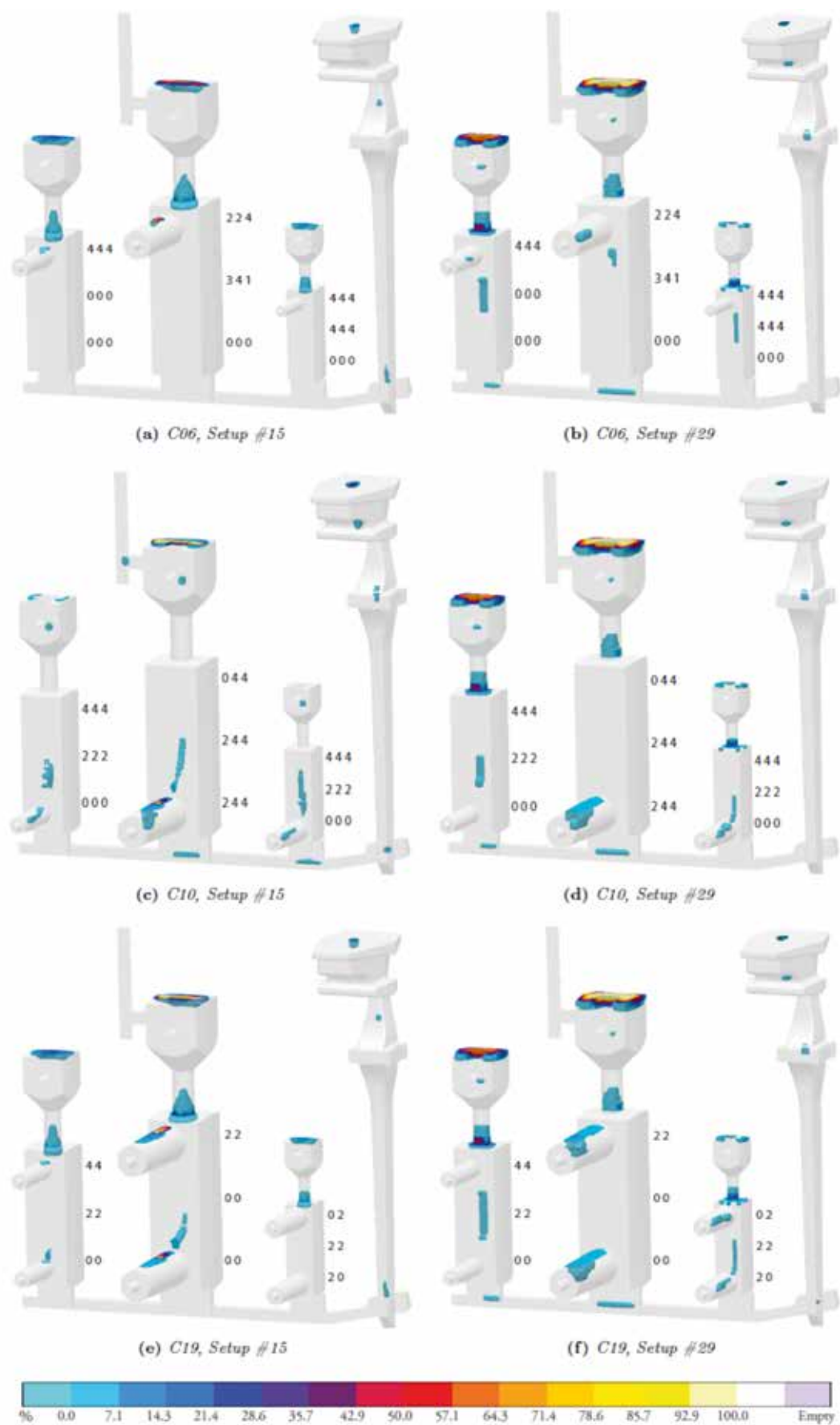
Det er muligt at simulere defekter som porøsiteter i Magmasoft ifm. brugeren af horisontalt monterede ram-up sleeves. Der er dog nogle begrænsninger, og man skal være særligt opmærksom på hvilke efterfødningskriterier som er de dominerende for den pågældende støbning, herunder geometri og legering.

## Videre læsning

Læsere som er interesseret i yderligere information om de omtalte undersøgelsen henvises til følgende udgivelser: "Quantification of Feeding Effects of Spot Feeding Ductile Iron Castings Made in Vertically Parted Molds" [3], "Effects of Feeder Configuration on the Microstructure of Ductile Cast Iron" [4], "Thermal Distortion of Disc-Shaped Ductile Iron Castings in Vertically Parted Moulds [5]" og "Feeding Against Gravity with



Figur 5: Porøsitetsresultater for de fleste af de kalibreringssimuleringer beskrevet i tabel 1.



Figur 6: Porøsitetsresultater for tre forskellige kombinationer af ram-up sleeve efterfødere simuleret med hhv. opsætning nr. 15 og 29.

#	Legering	Efterfødnings-effektivitet [%]	Form	Mesh [mm]	GP	Podning	Temp [°C]
1	GJS-500	100	Stable	2.0	7	Very Good	1380
2	GJS-500	100	Stable	2.0	6	Very Good	1380
3	GJS-500	100	Stable	2.0	5	Very Good	1380
4	GJS-500	100	Stable	2.0	4	Very Good	1380
5	GJS-500	100	Stable	2.0	3	Very Good	1380
6	GJS-500	100	Stable	2.0	2	Very Good	1380
7	GJS-500	100	Stable	2.0	1	Very Good	1380
8	<b>GJS-450</b>	100	Stable	2.0	1	Very Good	1380
9	GJS-450	100	Stable	2.0	1	<b>Good</b>	1380
10	GJS-450	<b>30</b>	Stable	2.0	1	<b>Very Good</b>	1380
11	GJS-450	<b>0</b>	Stable	2.0	1	Very Good	1380
12	<b>GJS-500</b>	0	Stable	2.0	1	Very Good	<b>1200</b>
13	GJS-500	0	Stable	2.0	1	Very Good	<b>1300</b>
14	GJS-500	0	Stable	2.0	1	Very Good	<b>1350</b>
<b>15</b>	<b>GJS-500</b>	<b>0</b>	<b>Stable</b>	<b>2.0</b>	<b>1</b>	<b>Very Good</b>	<b>1380</b>
16	GJS-500	0	Stable	2.0	1	Very Good	1380
17	GJS-500	0	Stable	2.0	1	Very Good	1380
18	GJS-500	0	Stable	2.0	1	Very Good	<b>1400</b>
19	GJS-500	0	Stable	2.0	1	Very Good	<b>1450</b>
20	GJS-500	0	Stable	2.0	1	Very Good	<b>1500</b>
21	GJS-500	0	Stable	2.0	1	Very Good	<b>1600</b>
22	GJS-500	<b>50</b>	Stable	<b>5.0</b>	1	Very Good	<b>1380</b>
23	GJS-500	50	Stable	5.0	<b>5</b>	Very Good	1380
24	GJS-500	<b>0</b>	Stable	5.0	5	Very Good	1380
25	GJS-500	<b>20</b>	Stable	5.0	5	Very Good	1380
26	GJS-500	20	<b>Weak</b>	5.0	5	Very Good	1380
27	GJS-500	<b>10</b>	Weak	5.0	5	Very Good	1380
28	GJS-500	<b>15</b>	Weak	5.0	5	Very Good	1380
<b>29</b>	<b>GJS-500</b>	<b>25</b>	<b>Weak</b>	<b>5.0</b>	<b>5</b>	<b>Very Good</b>	<b>1380</b>
30	GJS-500	25	Weak	<b>2.5</b>	5	Very Good	1380

Tabel 1: Viser parametervariationen i simuleringsforsøget. De gule felter med fed tekst markerer der hvor der er sket ændringer iht. ovenstående opsætning. Til de videre forsøg blev hhv. opsætning nr. 15 og 29 benyttet.

Spot Feeders in High Silicon Ductile Iron [6]”. Resultaterne er en del af PhD-afhandlingen “Spot feeding Spheroidal Graphite Iron with Exothermic and Insulating Ram-Up Sleeves in Vertically Parted Moulds” som kan erhverves ved at kontakte forfatteren: Nikolaj Kjelgaard Vedel-Smith (nikvs@mek.dtu.dk).

## Referencer

[1] Foundry Practice by Foseco Ltd., “The Application of Compressor Core Technology for Feeding Systems in a Mass Iron Automotive Foundry,” vol. 248, pp. 1–3, 2008.

[2] Magmasoft 5.3 manual by Magma GmbH, 2015.

[3] N. K. Vedel-Smith, N. S. Tiedje, J. Sällström, and K. T. Maza, “Quantification of Feeding Effects of Spot Feeding Ductile Iron Castings Made in Vertically Parted Molds.”

[4] N. K. Vedel-Smith and N. S. Tiedje, “Effect of Feeder Configuration on the Microstructure of Ductile Cast Iron,” TMS Proceedings---Shape Cast. 5th Int. Symp. 2014, pp. 113–120, 2014.

[5] N. K. Vedel-Smith, J. Rasmussen, and N. S. Tiedje, “Thermal distortion of disc-shaped ductile iron castings in vertically parted moulds,” J. Mater. Process. Technol., vol. 217, 2015.

[6] N. K. Vedel-Smith, “Feeding Against Gravity with Spot Feeders in High Silicon Ductile Iron,” in Science and Processing of Cast Iron X, 2014.