

Virtuelle eksperimenter med FOSECO Pro Modul for MAGMASOFT®

Af Máirtín Burns

Foseco er en førende leverandør af hjælpe-materialer til den globale støberiindustri og har salgsafdelinger med teknisk personale på alle nøglemarkeder.

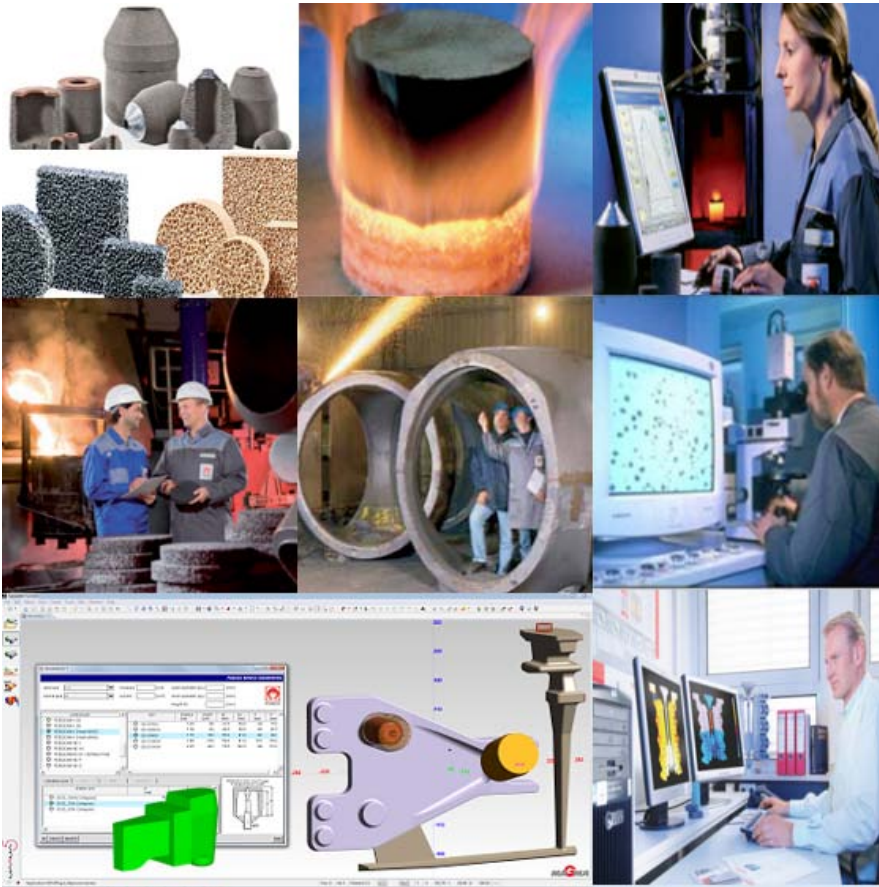
Foseco's applikationsingeniører arbejder i samarbejde med støberierne for at udvikle specifikke støberitekniske løsninger. Dette samarbejde involverer tilpasning og finjustering af Foseco's produkt- og processtyringsteknologi til ethvert støberis særlige forhold.

Den fortløbende teknologiske udvikling

Den fortløbende teknologiske udvikling fremmer in-

novation inden for støbedesign, og støberierne skal finde løsninger på de forskellige udfordringer, som disse innovationer medfører. Når nye udfordringer opstår er Foseco med til at finde løsninger ved at kombinere egen ekspertise med lokal viden.

For at kunne fremstille kvalitetsstøbegods er det nødvendigt, at besidde en tekniske viden, have praktisk erfaring, problemløsningskompetencer samt en evne til at kunne tilegne sig ny viden. Desuden er det vigtigt løbende at investere i fremstillings- og produktionsteknologi, samt at kunne anvende den nyeste computerteknologi til optimering af fremstillingen af støbegods til kommerciel brug. Alle disse forhold skal konstant være under udvikling og tilpasses de aktuelle omstændigheder.



Figur 1: Foseco's kompetence inden for metodebearbejdning er en kompleks blanding af støberiteknik, produktudvikling, indløbs- og efterføderdesign og ekspertviden om simulering af støbeprocesser.

Simuleringsteknologi er med til at sikre konkurrencemæssige fordele. Den er med til at finde den optimale støbemetode og udvælge de rigtige hjælpematerialer, fx efterfødere og filtre, før den egentlige produktion igangsættes. Til både nyt eller allerede eksisterende støbegods kan man drage stor nytte af computersimulering med simuleringværktøjer som MAGMASOFT®, der giver uvurderlig indsigt i støbeprocesserne under forskellige betingelser uden at skulle foretage model- eller procesændringer eller flere forsøgstøbninger. Dette visuelle analyseværktøj hjælper med til identificerede forskellige støbetekniske problemer og giver mulighed for at vurdere, hvordan disse problemer kan påvirke støb-

ningen og hvordan disse problemer kan løses optimalt.

FOSECO og MAGMA arbejder tæt sammen for at skabe reel værdi for støberierne gennem deres fælles aktiviteter inden for stø-

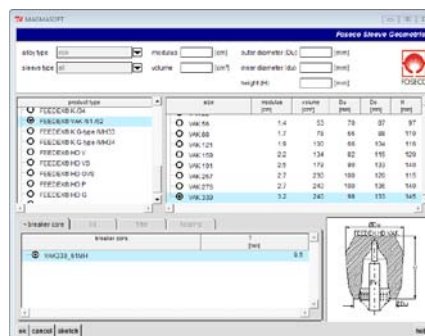


Fig. 2a: Feedex VAK indgår i Foseco Pro Modul

beriteknisk viden og udvikling. I fællesskab søger begge partnere at fremme viden om indløbs- og efterfødersteknik, robust produktionspraksis samt at opnå forbedret bevidsthed om forholdet mellem kvalitet og omkostninger. Dette er med til at forbedrede støbetekniske løsninger og i den sidste ende at kunne fremstille mere konkurrencedygtigt støbegods.

Grundlaget for dette samarbejde er muligheden for at kunne kvantificere og effektivt modellere FOSECO's produkter. Dette forudsætter indgående kendskab til produkternes materialeegenskaber, hvilket opnås ved hjælp af avancerede måleteknikker og efterfølgende validering i MAGMA. Dette arbejde resulterer i vigtige materialedata, som støberierne kan få adgang til ved brug af FOSECO Pro-modul for MAGMASOFT®.

Foseco arbejder kontinuerligt med at udvikle nye teknologier og anvendelsesteknikker for at imødekomme kundernes stadig skiftende behov. Simulering med MAGMA spiller en vigtig rolle i virtuel eksperimentering og udvikling af nye efterføder typer. Foseco opdaterer løbende efterføderdata i Pro Module-databasen, så simuleringingeniører, der anvender MAGMA, kan integrere dem i deres daglige metodeanalyser og optimeringsarbejde.

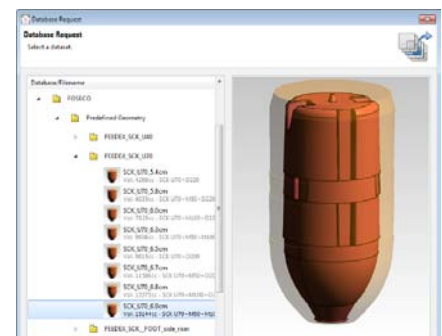


Fig. 2b: Feedex SCK værdier i den geometriske database



Figur 3: Udviklingsarbejde med termofysiske data for efterfødere hos Foseco's globale R&D-center i Enschede

"Foseco Pro-modulet er et parametrisk 3D-bibliotek for efterfødere og filtreringsprodukter kombineret med tilhørende termofysiske data, der er integreret direkte i MAGMASOFT®.

Den største fordel med Pro-modulet er, at det reducerer tiden til at oprette, modellere og simulere virkningen af Foseco-produkterne på støbegodset. Støberierne kan derfor hurtigere forbedre produktionsprocesserne og støbekvalitet ved at sammenligne de virkelige og simulerede støberesultater.

Eksempler på produktudvikling

Et eksempel på produktudvikling er efterfødere af type FEEDEX VAK og FEEDEX SCK (Sleeve Construction Kit), hvor de relevante produktdata vises i den seneste opdatering af MAGMASOFT® 5.4 autonom teknologi (fig. 2a-b).

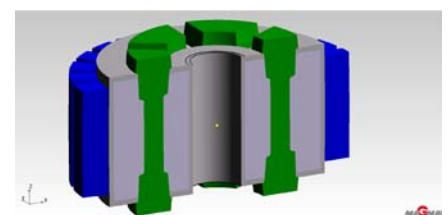
FEEDEX VAK er en videreudvikling af den velafprøvede teknologi for præcisionsefterfødere til gråjern, SG-jern og CGI-støbegods. En FEEDEX VAK-præcisionsefterføder er udstyret med

en patenteret sammenklappelig metalkerne, der muliggør præcis placering på meget små godssektioner. VAK/61-serien er designet til støbemaskiner med standard formtryk og VAK/62-serien til højtryksformning. Metalkernen er designet til under godsets størkning at kunne opretholde en pålideligt efterfødnings gennemføderhalsen. Det minimale kontaktareal gør det nemt at fjerne føderen efter støbning. FEEDEX SCK er et modulopbygget efterfødersystem til håndformning i jern- og stålstøberier. Denne innovative modelopbygning gør det muligt at sammensætte 8 isolerende/eksotermske elementer nemt og uden brug af lim til 31 forskellige typer efterfødere (23 til jern og 8 til stål) med modulværdier mellem 5,4 cm og 6,9 cm. SCK giver en fleksibel og effektiv efterfødnings på små kontaktflader og optimerer dermed udbyttet og renseomkostningerne.

For at inkludere SCK-serien i Pro-modulet måtte der udvikles et materialedatasæt, der beskriver de termiske egenskaber af et C6-SCK isolerende materiale til føderhalsen. Ved hjælp af en procedure, der tidligere er beskrevet i det fælles Foseco-MAGMA tekniske artikel "Avancerede termofysiske data til simulering af støbe-

processer - vigtigheden af efterføderens nøjagtige materialeegenskaber", begyndte processen med at udvikle en materialedatabase hos Foseco's globale Foundry R&D center i byen Enschede i Holland. Materialeegenskaberne blev målt i analyselaboratoriet og dannede grundlaget for et basisdatasæt.

For under støbningen at kunne måle og registrere temperaturen i godset og efterføderen, blev der fremstillet en specialdesignet støbemodel til en forsøgsform. Under den efterfølgende støbning blev temperaturen i form og føder målt og registreret. Denne virkelige støbning blev efterfølgende virtuelt modelleret og sammen med de virkelige målte værdier anvendt til at skabe en virtuel kopi i MAGMA. Ved sammenligning af de målte og beregnede temperaturkurver blev der udført en række simuleringer, der resulterede i mere nøjagtige materialedata til brug i MAGMA.



Figur 4: 1700 kg støbt valse

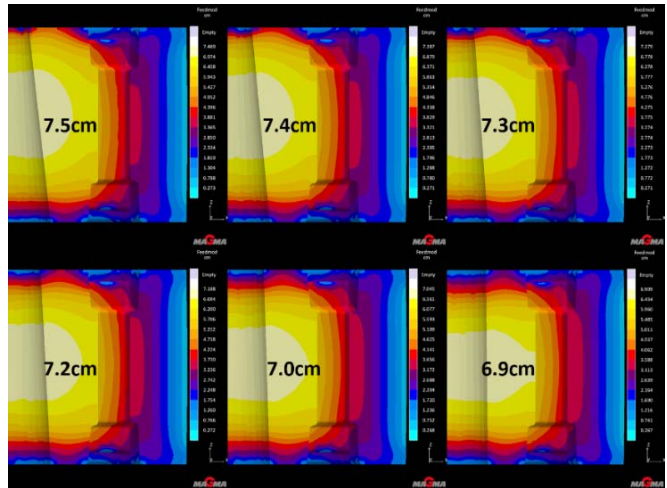
MAGMA er verdens førende inden for udvikling af simuleringssoftware til støberiindustrien, og den første, der introducerede metodologisk fuldt integreret optimering og virtuelt forsøgsdesign (Design of Experiments - DOE) i MAGMASOFT® version 5.3 i 2015. Den nuværende frigivelse af den seneste version MAGMASOFT® 5.4 forbedrer yderligere muligheden for en vidt omfattende modellering og simulering af en omfangsrig række støbe- og støberirelaterede processer.

Denne nye generation af værktøjer giver brugeren mulighed for at udføre visuelle analyser og statistiske evalueringer af simuleringresultaterne. Det statistiske evalueringværktøj giver en relativ numerisk værdi for de specifikt valgte kriterier. Dette giver brugeren mulighed for kvantificerbart at sammenligne forskellige støbemetoder, der ellers ville være meget vanskelige eller umulige at sammenligne. Et eksempel kan være at sammenligne de relative kvalitetsforskelle ved anvendelse af forskellige indløbssystemer eller forskellige muligheder for efterføding.

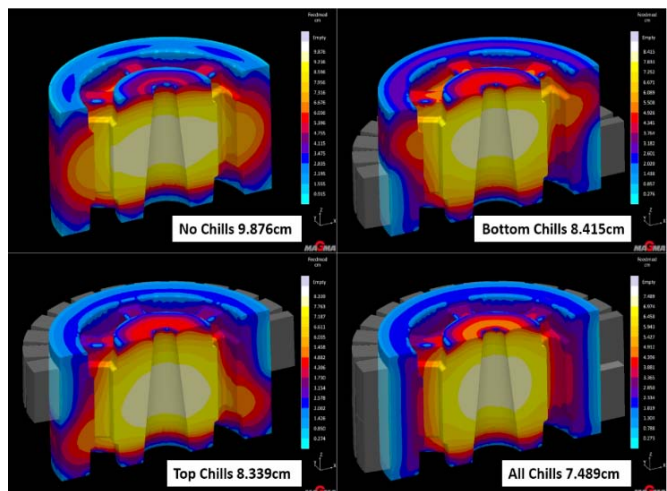
Målet med simuleringmodellering er at korrekt kunne forudsige de endelige egenskaber af støbe-godset. I alle tilfælde er det vigtigt for det endelige simuleringresultat at have nøjagtige termofysiske egenskaber. Med den nye generation af moderne simuleringssoftware og computerhardware kan støberiet gøre brug af disse nye efterføderdata og simuleringsteknologier til at optimere deres støbeproduktion.

Praktisk forsøgstøbning

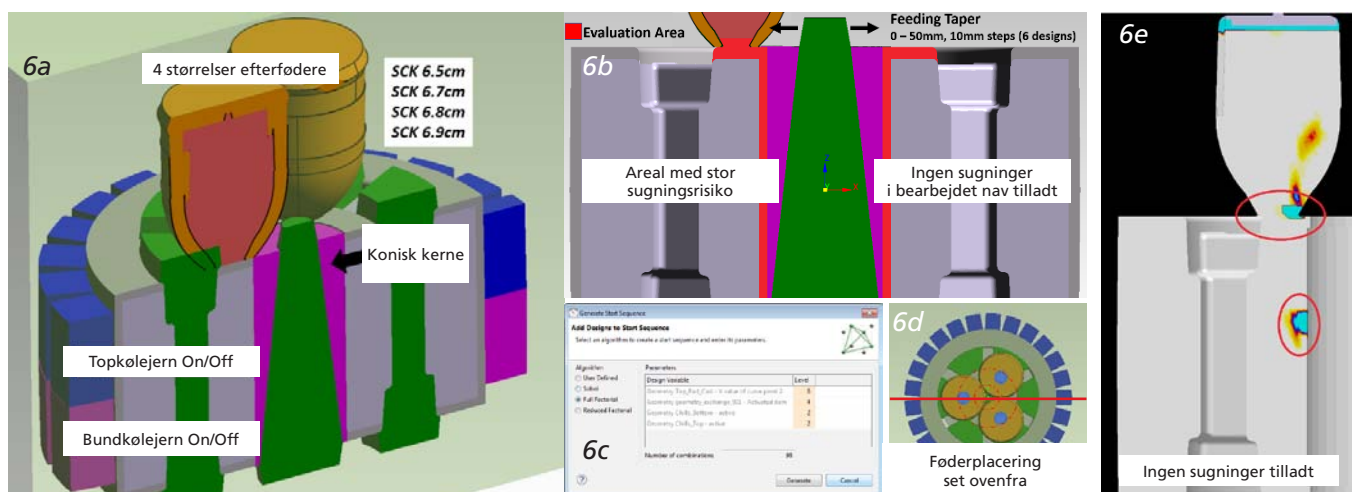
Et praktisk forsøg med en støbt SG-jerns valse er et godt eksempel på, hvordan Foseco Pro-modulet og MAGMASOFT® 5.4 Autonomous Engineering kan bruges til at studere og optimere en støbemetode. Simuleringsanalysen giver afgørende input til støberiets



Figur 5a: Indflydelse af godspålæg på maksimalt FEEDMOD-resultat (støbning uden føder, alle kølejernsplaceringer aktive)



Figur 5b: Indflydelse af kølejernsplaceringer på maksimalt FEEDMOD-resultat



Figur 6: Oversigt over parametre, føderplacering og DOE størrelse af godspålæg

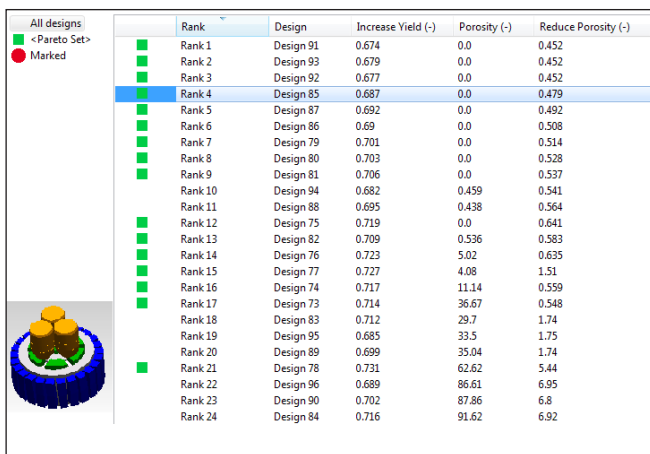


Fig. 7a: DOE resultater i faldende rækkefølge

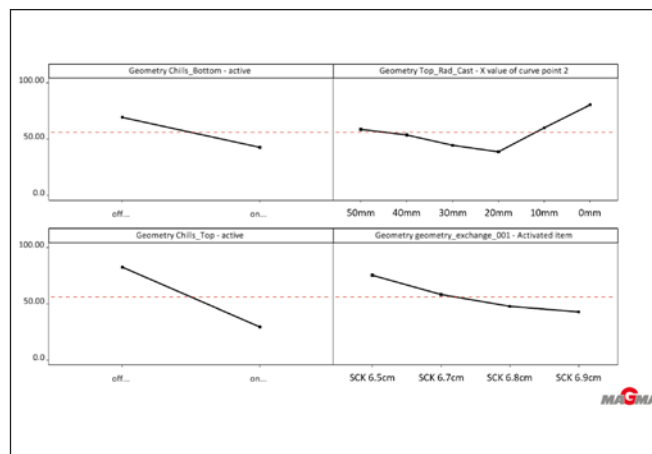


Fig. 7b: Hovedeffektdiagram for hver parameter

beslutningsprocesser og giver indsigt i, hvad der kan være relevant for fremtidige simuleringsanalyser.

Anvendelse af den nye generation af teknologiske simuleringsværktøjer og især anvendelsen af virtuelt forsøgsdesign DOE (Design of Experiments), kræver en lidt anden tilgang mht., hvordan en støbning skal studeres. Med muligheden for at kunne variere og analysere et potentielt uendeligt antal variabler har simuleringsingeniører fået en effektiv tilgang til op-sætning og kørsel af optimering og virtuelt forsøgsdesign. Efter først at have overvejet og defineret målene og parametrene til den valgte støbning skal metoden forberedes korrekt, og DOE defineres.

I det viste forsøg, hvor der anvendes en valse på 1700 kg støbt i SG-jern er udfordringen at efterføde det kraftige nav i valsens centrum, hvor der er begrænset plads til en efterføder. Tilsvarende emner støbes med flere kølejern for at kunne opnå en retningsbestemt størkning mod efterfødere. Formålet med undersøgelsen var at se, om det var muligt at reducere støbeomkostningerne enten ved brug af færre kølejern, mindre efterfødere eller minimalt godspålæg i valsens nav. Selvfølgelig under oprettholdelse af støbekvaliteten.

Godspålægget anvendes for at øge tværsnittet mod toppen af navet og dermed give retningsbestemt størkning mod efterføderne. Godspålægget dannes ved at anvende en konisk kerne med varierende konicitet.

Figur 5a viser virkningen af de forskellige godspålæg på det termiske modul på støbninger på en form med kølejern i toppen og bunden. Bemærk den betydelige påvirkning af koniciteten på godsmodul, nemlig fra 6,9 til 7,5 cm.

Fig. 5b. viser virkningen af kølejernets forskellige placeringer, dvs. ingen i toppen, i bunden eller

både i toppen eller bunden. Også her vises den store påvirkning på godsmodul, nemlig fra 7,489 til 9,87 cm. Kølejern kan ikke helt forhindre sugninger, men kan flytte dem til mindre kritiske godsdele af valsen, i pågældende tilfælde de dele, der bliver bearbejdet.

Parametrene

Et DOE blev anvendt for at kunne identificere den bedst mulige løsning ved anvendelse af de forskellige parametre (fig. 6a). Det samlede antal kombinationsmuligheder giver 96 forskellige forsøgsdesign (fig. 6c).

Fig. 6b viser et rødt område, som er det kritiske areal i navet, hvor der ikke må være sugninger. Fig. 6e viser de potentielle sugninger, som ikke kan accepteres. Fig. 6d viser placering af 3 efterfødere på toppen. En sådan placering er kun muligt med efterfødere af typen Feedex VAK eller SCK.

For at spare computertid blev de 96 virtuelle forsøgsdesign opbygget med et relativt groft mesh. Desuden blev der kun simuleret på et design uden indløbssystem, og derfor vises kun selve størkningsforløbet i den virtuelle form. Simuleringer blev gennemført i løbet af natten på en 8-core arbejdsstation.

Forsøgsresultater

MAGMA sorterer DOE resultaterne i en rækkefølge, der relaterer til de ønskede forsøgsmål (i dette tilfælde porøsitet, udbytte og total porøsitet). Fig. 7a viser disse datasæt i faldende rækkefølge. Den vigtigste parameter er porøsitet (porosity), som er påført med den procentuelle værdi i det kritiske måleområde (rød i fig. 69), og hvor en lav værdi selvfølgelig er bedst. De to andre måleværdier (Increase Yield og Reduced Porosity) er den procentuelle målte

forøgelse af udbytte og det vejede volumen af porøsiteter mod enden af størkningsforløbet. Også her er de laveste værdier bedst. Fig. 7b viser hovedeffekt-diagrammet, der opsummerer indflydelsen af hver parameter. Det fremgår, at procentandel porøsiteter øges betydeligt, når kølejern i toppen eller bunden fjernes. Der er også en tydelig ændring når godspålægget bliver mindre en 20 mm, samt en tendens til mindre porøsiteter, når der anvendes større efterfødere. Det sidste reducerer dog målet om maksimalt udbytte af metallet.

Visualisering og analysering af datasættene er vist i et parallel koordinatdiagram (fig. 8a), som er et værktøj, der giver brugeren mulighed for at følge forskellige versioners ruter til specifikke løsninger. Fig 8b viser tendenserne af disse analyser, hvor de grå områder angiver de mest optimale værdier for parametrene.

For at komme tættere på en optimal støbemetode blev der kørt en DOE med de fire mest lovende forsøgsdesign, dvs. et godspålæg på enten 40 eller 50 mm og to mellemstore efterfødere. Til alle design blev der anvendt kølejern i top og bund. Til disse virtuelle forsøg blev der anvendt langsom støbning fra bunden, og det var vigtigt at tage højde for temperaturfordelinger i slutningen af formfyldningen. Desuden blev der tilføjet et indløbssystem og designet blev opbygget med et finere mesh. Resultaterne er vist i fig. 9 og 10. Bemærk at disse figurer viser en snitflade som er angivet med rødt i fig. 6b.

Fig. 9 viser den begyndende adskillelse mellem det flydende metal i føderen og i støbningens hotspot. Dette gælder for alle 4 designs. Adskillelse mellem føder og gods er vigtigt for at undgå den i fig. 6 d viste porøsitet mellem føder og gods. Fig. 10 viser, at der findes nogen tilbageværende porøsitet i navet, men det ligger i bearbejdningsstillæget. Alle fire designs viser et porøsitetfrit emne efter bearbejdning. Selv om det ikke fremgår helt tydeligt på fig. 10 viser DOE resultaterne en klar tendens til, at mindre godspålæg (fig. 10b, 10d) øger porøsiteter i overgang gods-efterføder. Den lidt mindre SCK 6.7 efterføder kan kun yde et efterfødningsbehov som ligger på grænsen (fig. 10a, 10 b). Den relative dybde af hot spot-zonen er også større for den mindre SCK 6,7 cm (fig. 9a, 9b).

Det er meget vigtigt at tolke DOE resultaterne rigtig. Den første undersøgelse gjorde det tydeligt at valsen næppe kan støbes fejlfrit uden brug af kølejern. Dette er en konklusion som svarer til den gældende praksis, at stort støbegods i SG-jern generelt støbes med kølejern for at undgå porøsiteter eller for at flytte dem til minder kritiske områder. Den næste mere nøjagtige DOE viste at alle 4 bedst egnede designs kunne støbes med minimalt godspålæg og en mindre efterføder.

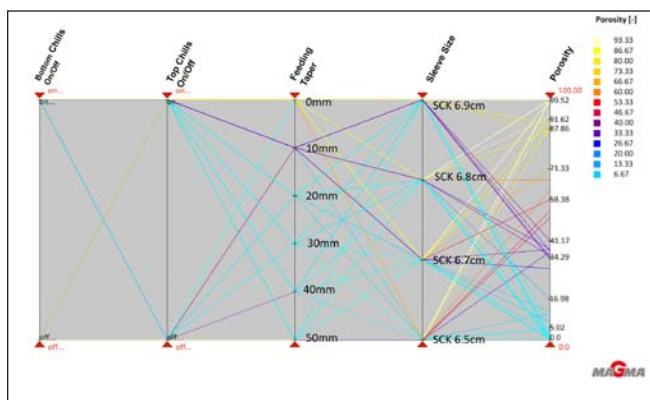


Fig. 8a: Parallel koordinatdiagram

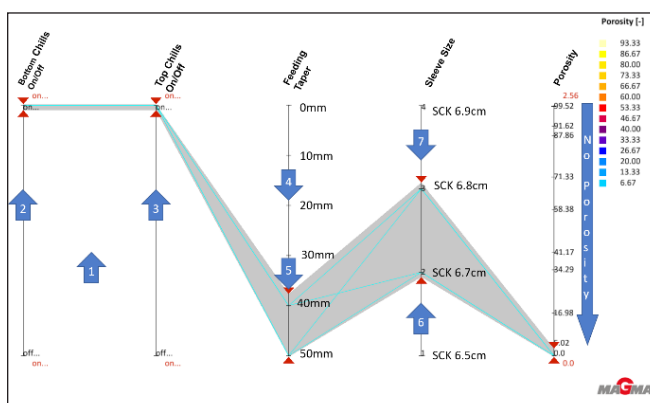


Fig. 8b: Analyse af parallelt koordinatdiagram

Når det drejer sig om stort gods er der normalt tale om enkeltstyksproduktion eller meget små serier, og i så fald er det mest fornuftige at gå med livrem og seler. Omkostningen ved et enkelt stykke 1700 kg vrags kan aldrig retfærdiggøre den forholdsvis lille merudgift til en lidt større efterføder og lidt extra bearbejdning. Drejer det sig derimod om en større serieproduktion, især med forholdsvis små emner er enhver omkostningsbesparelse nødvendig for at kunne bevare sin konkurrenceevne. Her er det en afgørende fordel at kunne forhåndsvurdere de forskellige muligheder med DOE før en prøvestøbning igangsættes.

Sammenfatning

I dag anvendes computere og informationsteknologi mere og mere til at analysere og give mening i store datamængder. Den nye generation af værktøjer til autonomous engineering, der er udviklet af MAGMA, har i høj grad forenklet mulighederne for parallelt at simulere og anskue støbeprojekter fra flere forskellige synsvinkler. Det er meget nyttigt til virtuel eksperimentering og læring. Den løbende udvikling inden for al støberirelateret teknologi kræver lignende udvikling af støberier, softwarevirksomheder og leverandører af hjælpematerialer.

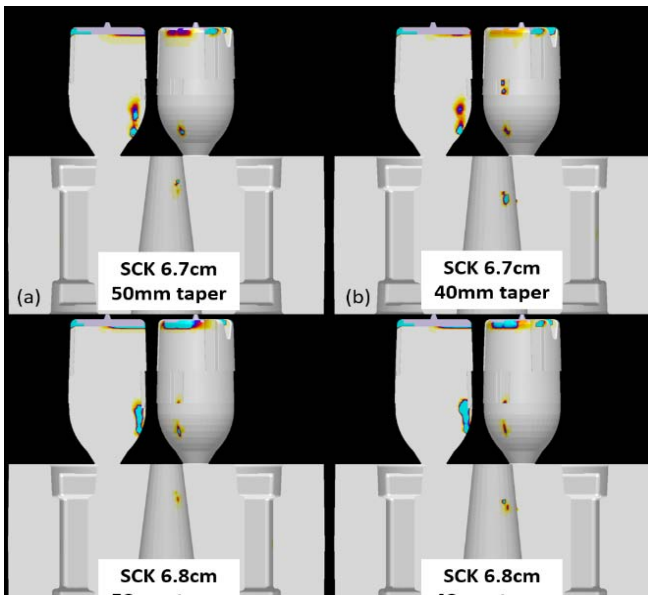


Fig. 9: Størkningsresultater

Foseco fortsætter opdatering af de tilgængelige databaser med de seneste materialedata af efterfødere, knækkerner og støbefiltre. Foseco har forpligtet sig til at arbejde på at udvikle nye og forbedre eksisterende termofysiske datasæt til støtte for de løbende tekniske fremskridt.

Den seneste Pro Module-database, version 2.5.4, di-

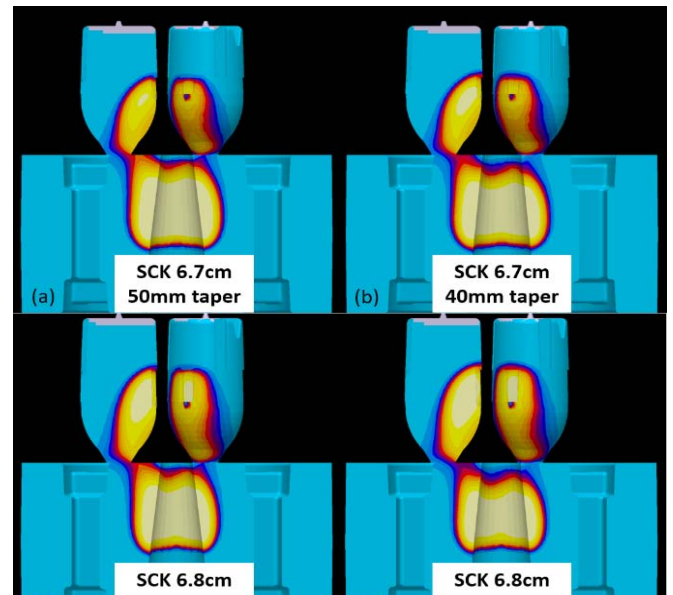


Fig. 10: Sugningsresultater

stribueres på MAGMA-installations-dvd'en. Det er nødvendigt at installere FosecoDB for at opdatere databasen. For yderligere oplysninger om Foseco Pro-modul til MAGMASOFT®, bedes du kontakte din lokale Foseco repræsentant.

Artiklen er bragt i Foundry Practice No. 267 og bearbejdet for Støberiet af Herbert Wolthoorn.