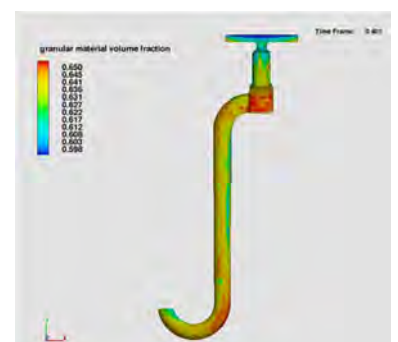
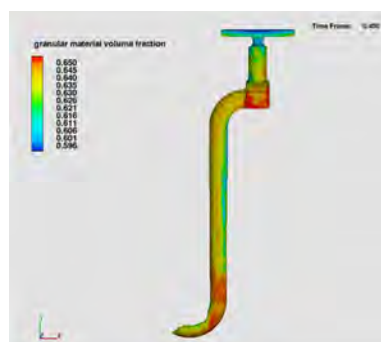
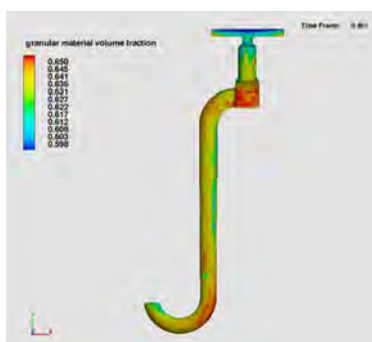


2012-016

Simulering av kärnskjutning

Roger Svenningsson, Ralf Lisell



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

© 2013, Swerea SWECAST AB

Sammanfattning

Detta arbete behandlar möjligheterna med kärnsimulering, främst i den generella CFD-koden Flow-3D men även i Arena Flow, ett kommersiellt kärnsimuleringsprogram.

Experiment och simuleringar utförda med två olika kärnlådor visar att det idag finns möjligheter att simulera kärntillverkningsprocessen, även om det krävs mer och bättre indata för att kunna göra det tillförlitligt. Resultaten visar vikten av att ha rätt indata, rätt kalibrering och att verifiera resultaten med uppföljande fysiska tester.

Vid dessa försök gick det inte att använda samma indata för olika ventilkonfigurationer för kärnlådan "svanhalsen" och erhålla överensstämmande resultat mellan simulering och experiment. Detta betyder att ytterligare kalibrering är nödvändig. Fler tester måste genomföras, dels med andra geometrier men också med andra typer av sand och bindemedel. Vidare är det viktigt att utveckla metoder för att mäta (eller åtminstone uppskatta) sandens benägenhet att flyta samt möjligheter att mäta lokal "packningsgrad" för verifiering av simuleringarna.

Summary

This work investigates the possibilities to simulate the core shooting process, using the general CFD-code Flow-3D and the commercial core shooting software Arena Flow.

Experiments and simulations with two different coreboxes show that there are possibilities to simulate the core shooting process today, although more and better indata is essential to do reliable simulations. The results show the importance of accurate indata, proper calibration and the need to verify the results with physical tests.

It was shown that the same setup of indata for Flow3D did not capture the behaviour of two different venting conditions for the "Swan neck" corebox. This implies that further calibration is needed. Additional tests are required. Different geometries and other sand/binder mixtures need to be evaluated. Furthermore, it is important to develop verifying methods to measure (or at least estimate) the sand's flowability and local degree of packing.

Innehållsförteckning

1	TILLKOMST	1
2	INLEDNING.....	1
3	SYFTE OCH MÅL.....	2
4	SIMULERING AV KÄRNSKJUTNING MED FLOW-3D.....	2
4.1	SIMULERING AV KÄRNTILLVERKNING	2
4.2	FLYTBARHET.....	2
4.3	VENTILERING- LOKALT OCH GLOBALT	3
5	GENOMFÖRANDE.....	3
5.1	KÄRNLÅDA ”SVANHALS”	3
5.2	KÄRNLÅDA PROVSTAV	4
5.3	RANDVILLKOR VID SIMULERING.....	5
5.4	VAL AV VENTILKONFIGURATIONER.....	5
5.5	PARAMETRAR FÖR SIMULERING I FLOW-3D	6
5.6	RESULTAT SIMULERINGAR: SVANHALS	7
5.6.1	<i>Ventil 4 öppen</i>	7
5.7	RESULTAT SIMULERINGAR STAVAR.....	9
6	DISKUSSION	12
7	SLUTSATS OCH FÖRSLAG TILL KOMMANDE ARBETE	13
8	REFERENSER	13

Bilageförteckning

Sandanlys	1
Bild på sand	1

1 Tillkomst

Simulering av kärntillverkning är en förhållandevis ny företelse och förekommer endast i mycket liten utsträckning i Sverige. Dock bedöms denna typ av simulering ha god potential för att växa de närmaste åren. Skälet till att använda kärnsimulering är att optimera antal och positioner för ventiler och blåsbusningar, både med avseende på blåsning och gasning av kärnor. Eftersom tekniken endast tillämpas i mycket liten utsträckning bedöms kunskapen vara låg i Sverige idag. Vidare används idag till största del "trial and error" samt erfarenhetsbaserad kunskap vid framtagning och optimering av kärnlådor. Genom simulering kan säkerligen tiden för utveckling av en ny kärnlåda minskas. Vidare skulle också tillverkningskostnaden minska, ett starkt motiv för att undersöka hur mogen tekniken är idag samt stärka kunskapen inom området. Detta genomförs genom att jämföra experiment med simulering. Projektet har finansierats av Gjuteriföreningen samt CIC med en budget om 1700 kkr.

Deltagande företag:

- Volvo Powertrain AB, Anders Hammarstrand.

2 Inledning

Kärntillverkning är en mycket viktig process då det gäller framställning av gjutgods. Sandskjutning karakteriseras av att sandkorn belagda med bindemedel samt luft skjuts in i en ventilerad kärnlåda med högt tryck (4-5 bar), vilket i sin tur medför hög hastighet på sand/luft-blandningen. Sanden kompakteras därigenom under blåsningen och härddas sedan genom att en reaktiv gas blåses genom sanden. Det är viktigt att kärnan har tillräckligt god kvalitet, dvs. att den har lämplig packningsgrad (ett mått på hur hårt kompakterad sanden är) samt att den är genomgasad och därigenom fullt härdad.

Det finns flera viktiga aspekter när det gäller att ta fram en ny kärnlåda. För det första måste sanden kunna nå alla utrymmen i kärnlådan, och där få tillräckligt god packningsgrad. Vidare måste den gas som härddar kärnan kunna nå alla regioner av kärnlådan. En viktig parameter, för både själva skjutningen och gasningen är antalet ventiler och deras placeringar i kärnlådan. Vidare är det också viktigt att veta hur många blåsbusningar som måste finnas för att hela kaviteten skall kunna fyllas. Ofta, men inte alltid, är den optimala placeringen av ventiler för skjutning inte densamma som den optimala placeringen för gasning.

Idag tillverkas kärnlådor mycket med "trial and error" vilket ofta är tidsödande och därigenom kostsamt. Det vore optimalt att använda simulering tidigt i utvecklingsprocessen för att ge svar på dessa frågor.

För att få en djupare förståelse för detta togs en "artificiell" kärna fram för experiment. Kärnlådan för denna konstruerades så att en ändring av ventilkonfigurationen också leder till tydliga förändringar av kärnans kvalitet.

Detta arbete handlar till stor del om mognadsgraden av kärnsimulering. Ur en fysikalisk mening går denna process att definiera som ett tvåfasflöde med en fas bestående av partiklar och en fas bestående av luft. Det finns idag ett fåtal olika program som går att använda för kärnsimulering. Arena-flow kanske är det mest kända och mest utvecklade. Det som utmärker Arena-flow från alla andra program är att istället för att modellera det som en, alternativt två fluider, modelleras

kluster av partiklar. Även Magmasoft har under den senaste tiden släppt en modul som är specialiserad på simulering av kärntillverkning.

3 Syfte och mål

Simulering används mer och mer för att kunna förutsäga olika fysikaliska fenomen inom industrin för att minska andelen fysisk provning. Nu finns också mjukvaror som på ett eller annat sätt stödjer att simulera granulat media. Sand faller inom ramen för detta medium. Projektet syftade till att undersöka möjligheterna om simulering av kärntillverkningsprocessen är mogen nog för att kunna användas på ett tillförlitligt sätt. Experiment genomfördes på en speciellt framtagen kärna och relaterades till simuleringar. Både fyllnadsgrad och tryckuppbyggnad i kärnlådan studerades för en sandblandning och ett antal ventilkonfigurationer. I första hand användes simuleringsprogramvaran Flow-3D.

4 Simulering av kärnskjutning med Flow-3D

4.1 Simulering av kärntillverkning

Modellen som används av Flow-3D för att simulera kärntillverkning grundar sig på en continuum-modell för granulärt media. Med detta menas att de två ingående delarna (sand och luft) beskrivs genom en kompositfluid. Detta är inte ur en fysikalisk mening sant men ändå genomförbart tack vare att en mycket stark interaktion föreligger mellan sanden och luften vid sandkoncentrationer över 50 procent [1]. Eftersom sand och luft har olika densiteter kommer de också ha en relativ hastighet under formfyllnaden. Detta tas hänsyn till genom en så kallad "drift flux model", se [1] för en närmare beskrivning.

4.2 Flytbarhet

Viskositeten av sand/luft blandningen beskrivs i Flow-3D som ett icke newtonskt material med "shear thickening". Med detta menas att viskositeten ökar som en funktion av skjuvhastigheten enligt [1]:

$$u_{eff} = 7.8\mu \left(\frac{\lambda^2}{1+\lambda} \right) + 0.066\rho_s (\lambda d)^2 |e_{ij}| \quad (4.1)$$

där:

$$\lambda = \frac{1}{\left(\frac{1.032 f_s^{\max}}{f_s} \right)^{1/3} - 1} \quad (4.2)$$

Det går enligt ekvationerna ovan att se att viskositeten fullständigt beskrivs genom:

- d , kornstorleken (sandkornen modelleras som sfäriska med en diameter)
- ρ_s , densiteten på sandkornen
- f_s , maximala packningsgraden

Det är endast dessa parametrar som går att justera för att ändra flytbarheten av sand/luft – blandningen.

4.3 Ventilering- Lokalt och Globalt

För att kunna evakuera luften under formfyllnaden används ventiler. Dessa är viktiga att kunna beskriva i en simuleringsmjukvara. När sand/luft blandningen skjuts in i kammaren kommer blandningen att dras mot ventilerna; luften tar den enklaste vägen ut ur lådan. När sedan sanden börjar packas framför ventilerna kommer ventilens kapacitet att minska. I Flow-3D ”stängs” ventilen när en fraktion på 0,5 av sanden nås. Detta betyder att ventilen i fortsättningen inte kan evakuera luft. Ventilerna definieras via ”valves” i Flow-3D. Koordinaterna för ventilen, externt tryck samt en koefficient associerad till flödesförluster skall definieras enligt [1]:

$$valc = Area \left(\frac{1}{2\rho} \right)^{0.5} \quad (4.3)$$

där *Area* är den öppna arean och ρ luftens densitet. Flödet genom ventilen definieras sedan enligt:

$$FlowRate = valc \sqrt{p - valp} \quad (4.4)$$

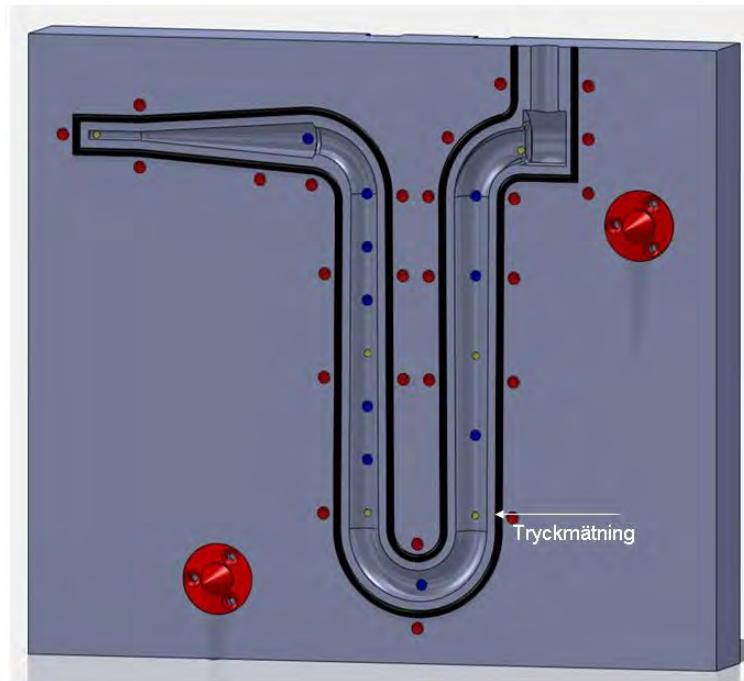
där *valc* är definierad ovan, *p* är trycket och *valp* det externa trycket utanför kärnlådan, dvs. en tryckskillnad. Detta betyder att ventiler med olika genomsläpplighet går att modellera, vilket är en förutsättning eftersom ventiler med många olika storlekar och typer används. Det är dock inte säkert att flödesförlusten är så enkelt definierad som enligt ekvationen ovan. Det är möjligt att detta behöver kalibreras med hjälp av tester.

Eftersom en sand/luft blandning är porös kommer den, även vid sin maximala packningsgrad, att ha en viss genomsläpplighet av luft. Detta beskrivs i Flow-3D genom en ”*global venting*”. För mer ingående detaljer om hur modellen i Flow-3D är uppbyggd hänvisas till [1].

5 Genomförande

5.1 Kärnlåda ”Svanhals”

För att kunna dra någon slutsats om simuleringsprogrammen är mogna för att hantera kärntillverkningsprocessen måste fysiska prover genomföras och relateras till simuleringar. En enkel kärnlåda enligt figur 1 togs fram för detta ändamål. Den är uppbyggd av en U-form med ett antal möjligheter och kombinationer för placering av ventiler, blå positioner i figur. Ventilernas ordning är enligt ventil 1,2,,,,,10, med Ventil 1 som första ventil efter inloppet. Gula positioner indikerar möjliga positioner för placering av tryckgivare. Kärnlådan är endast ventilerad från ena sidan och var därför inte symmetrisk då testerna genomfördes. Det är dock enkelt att sätta dit ventiler så att den blir symmetrisk. Fördelen med detta skulle vara att den då också går att simulera symmetriskt, vilket betyder mindre antal celler i modellen. Lådan är också tätad med en gummilist, så att ingen ventilation skall kunna ske i partlinjen.

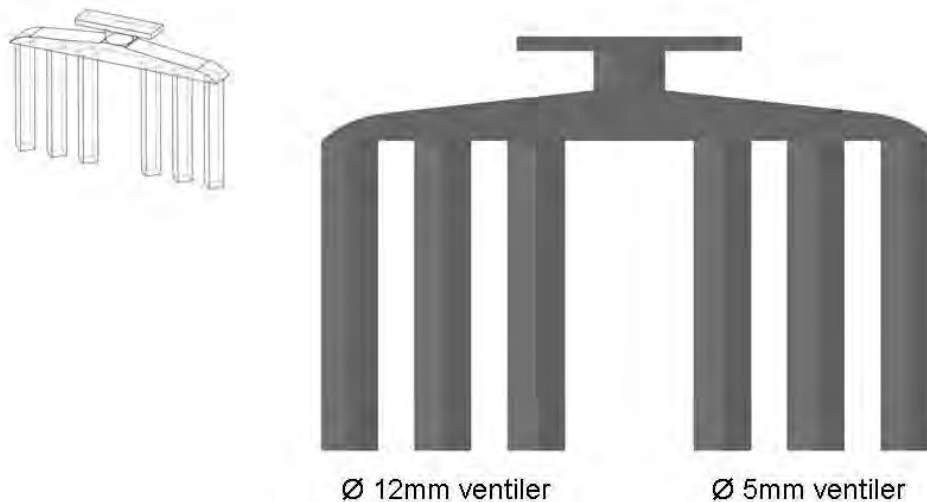


Figur 1: Den ventilerade halvan av kärnlådan "Svanhalsen".

Andel fylld kärna samt tryckutveckling i en position i lådan, se figur 1, användes vid jämförelserna mellan fysiska tester och simulering.

5.2 Kärnlåda Provstav

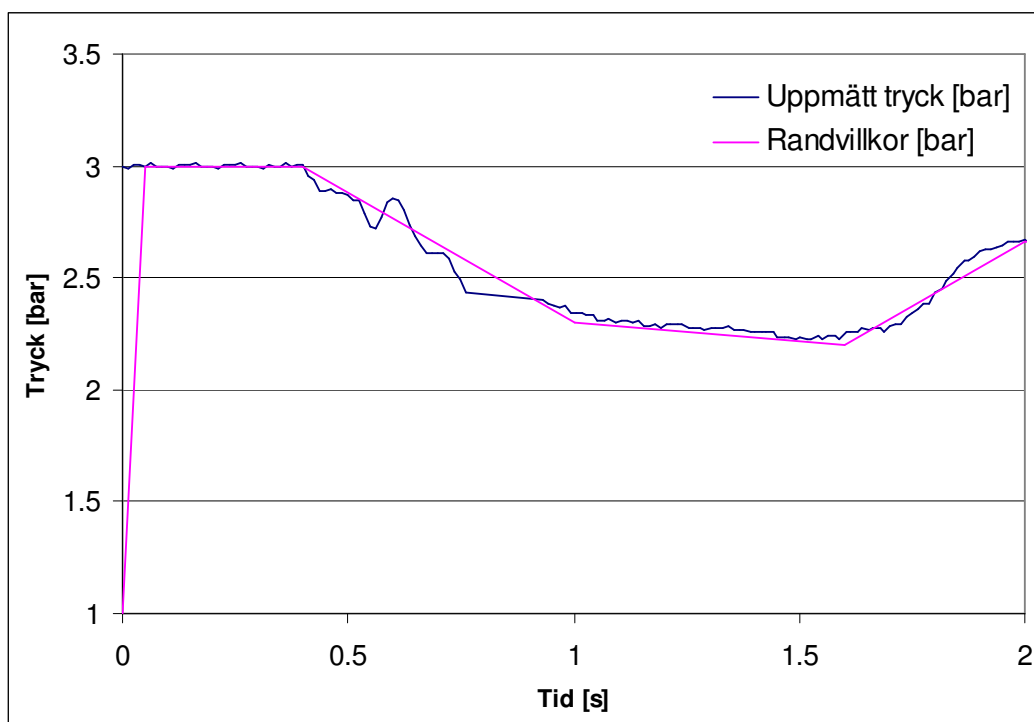
För att undersöka hur ventilerna modelleras i Flow-3D användes en annan typ av kärnlåda, se figur 2. Denna har sitt ursprung i att undersöka brotthållfasthet för provstavar. Genom att sätta olika typer av ventiler vid de olika stavarerna skapas en kärna som inte är symmetrisk, vilket bör ge olika resultat beroende på hur ventilererna är konfigurerade.



Figur 2: Kärna för framtagning av provstavar.

5.3 Randvillkor vid simulering

För att få en uppfattning om den tryckprofil som skjuter sanden ner i kärnlådan genomfördes tryckmätningar strax efter manometern på kärnskjutmaskinen. Dessa användes sedan som indata till simuleringsmjukvaran, se figur 3. Det går att se två olika regioner. Under de första två sekunderna sker skottet. Sedan sker en tryckavlastning under två ytterligare sekunder, men den är inte medtagen. Det går att notera att trycket sjunker efter cirka 0,5 s för att sedan öka igen mellan 1,5-2 s. Denna tryckprofil läggs som randvillkor på inloppet till kärnlådan. Orsaken till att inte nominellt tryck går att bibehålla under hela skjuttiden kan bero på att inte kompressorn hinner med att mata. Detta bör dock utredas närmare eftersom det ofta läggs en snabb rampning upp till nominellt tryck, vilket sedan bibehålls under hela skjuttiden. De randvillkor som är associerade till ventilerna (yttre tryck) anges vid definitionen av ventilerna. Alltså behöver man inte ange externt tryck som randvillkor.



Figur 3: Skjuttrycket som funktion av tid som används vid simulering.

5.4 Val av ventilkonfigurationer

I kärnlådan Svanhals valdes tre olika ventilkonfigurationer, eftersom de gör stor skillnad i hur mycket av kärnlådan som fylls:

1. Ventil 4 öppen, övriga stängda
2. Ventil 4-10 öppna, övriga stängda
3. Ventil 1-3 öppna, övriga stängda

Valet av ventilkonfigurationer 1-2 redovisas eftersom vi utförde repeterbara experiment och erhöll bra data för hur trycket byggs upp. Vi genomförde många fler tester som inte redovisas i denna rapport. Resultaten av dessa kommer att ligga till grund för kalibreringen av Flow-3D. För ventilkonfiguration 3 redovisas simuleringsresultat helt enkelt för att den är intressant i relation till ventilkonfiguration 1.

I kärnlådan för stavkärnor var alla ventiler öppna.

5.5 Parametrar för simulering i Flow-3D

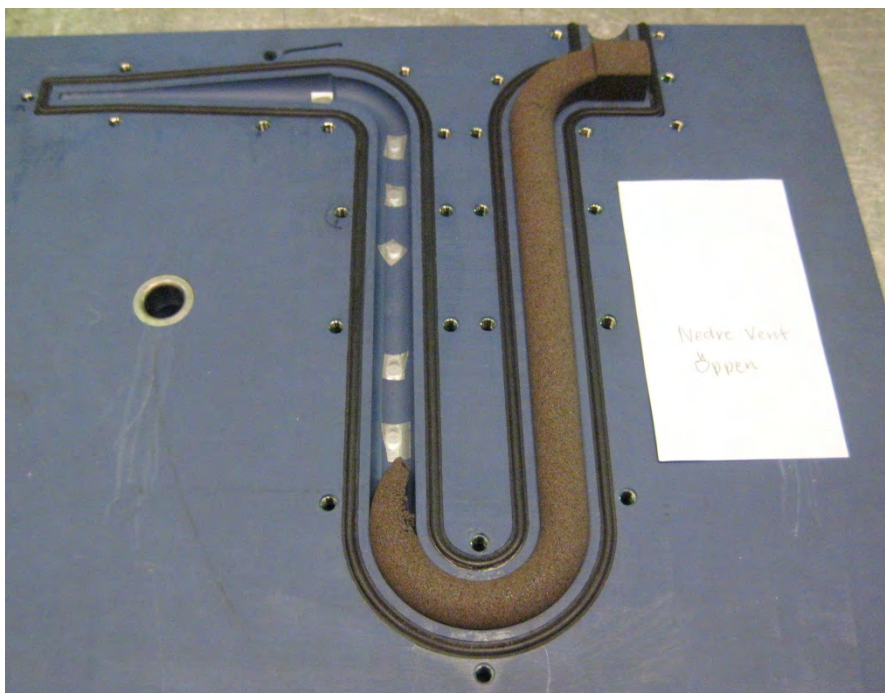
Alla kalibreringar gjordes mot en global elementstorlek på 1,8 mm. Det har visat sig att elementstorleken kan ha betydelse för resultatet. Om elementstorleken förändras kan för denna geometri andra resultat visas, något som är viktigt att belysa. Det kan också finnas modelleringsaspekter som vi inte tagit hänsyn till, vilket kan vara upphovet till detta.

Tabell 1: Indata till Flow-3D.

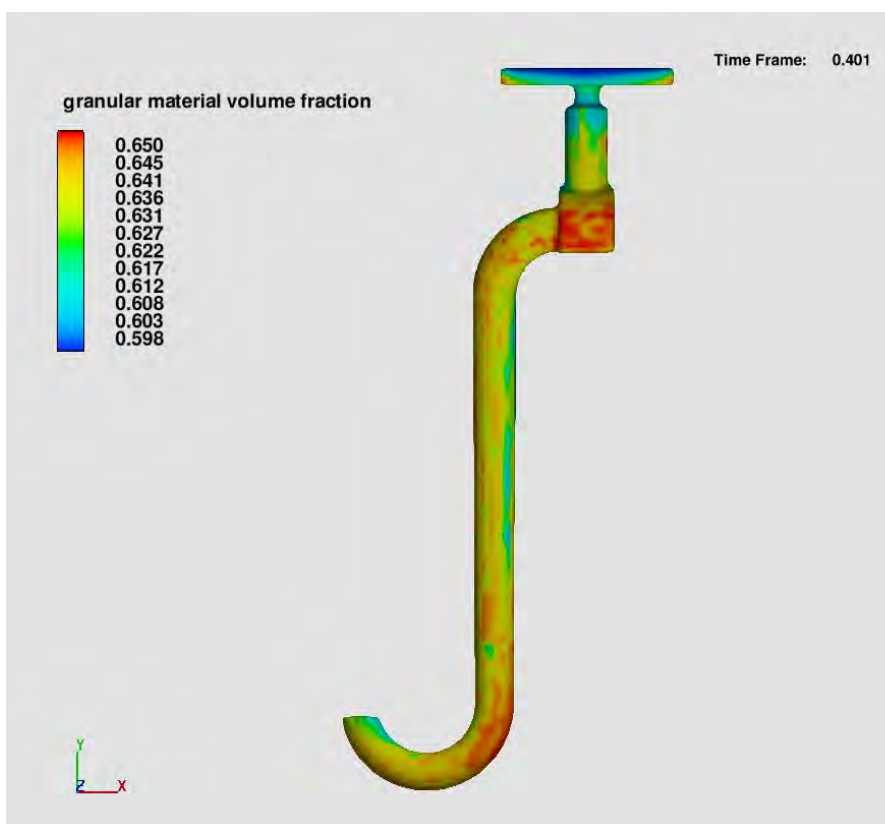
Flow3-D	Svanhals			Stavar
Parameter/Model	Vent: 4	Vent: 4-10	Vent: 1-3	-
Global Vent Coefficient	0.02	0.02	0.02	0.017
Mechanical jamming [-]	0.61	0.61	0.61	0.61
Close Packing [-]	0.67	0.65	0.67	0.65
Grain Diameter [mm]	0.2	0.2	0.2	0.2
Grain density [g/cm ³]	2.6	2.6	2.6	2.6
Gas density [g/cm ³]	1.2E-3	1.2E-3	1.2E-3	1.2E-3
Gas viscosity [1.72	1.72	1.72	1.72
Multiplier 1 [-]	1	1	1	1
Multiplier 2 [-]	1	1	1	1
Angle of response [degrees]	37	37	37	37
Gamma	1.4	1.4	1.4	1.4
Pressure void/external [bar]	1	1	1	1
Valve loss coefficient	1.44	1.44	1.44	+ -

5.6 Resultat simuleringar: Svanhals

5.6.1 Ventil 4 öppen



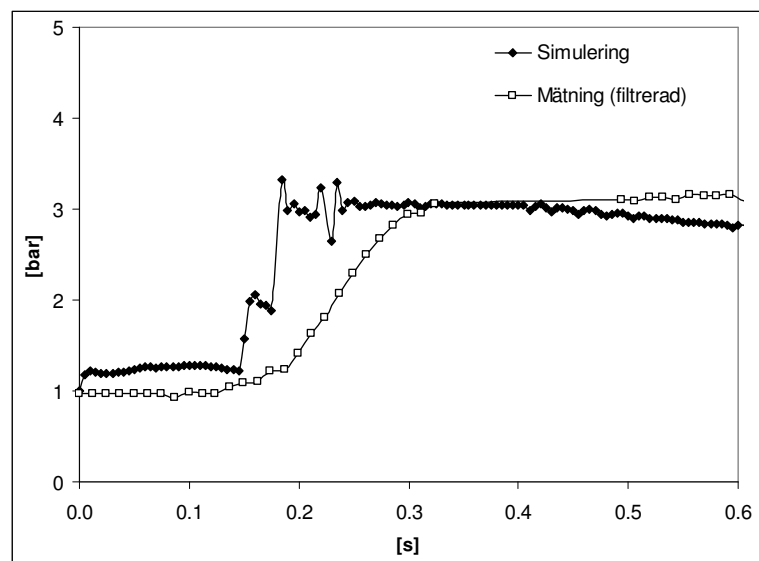
Figur 4: Visar på fyllnadsgrad för ventil 4 öppen.



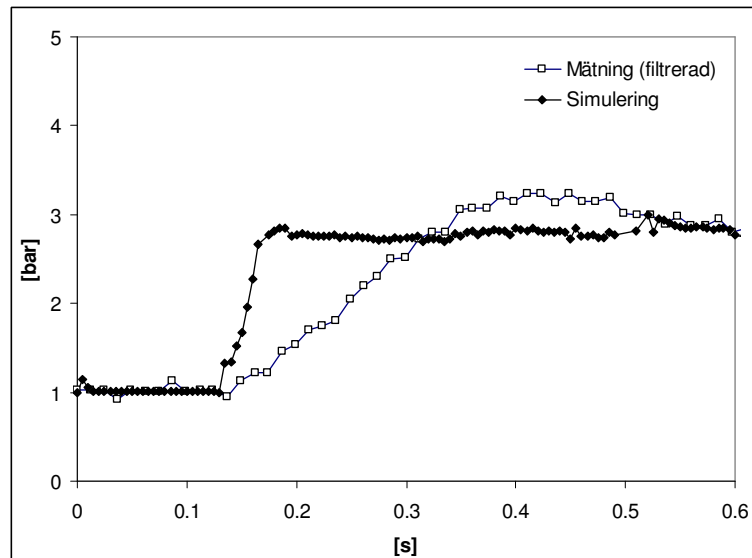
Figur 5: Visar ett mått på packningsgrad för ventil 4 öppen.



Figur 6: Visar ett mått på packningsgrad för ventil 1-3 öppen.



Figur 7: Visar tryckuppbyggnad för fallet med ventil 4 öppen.

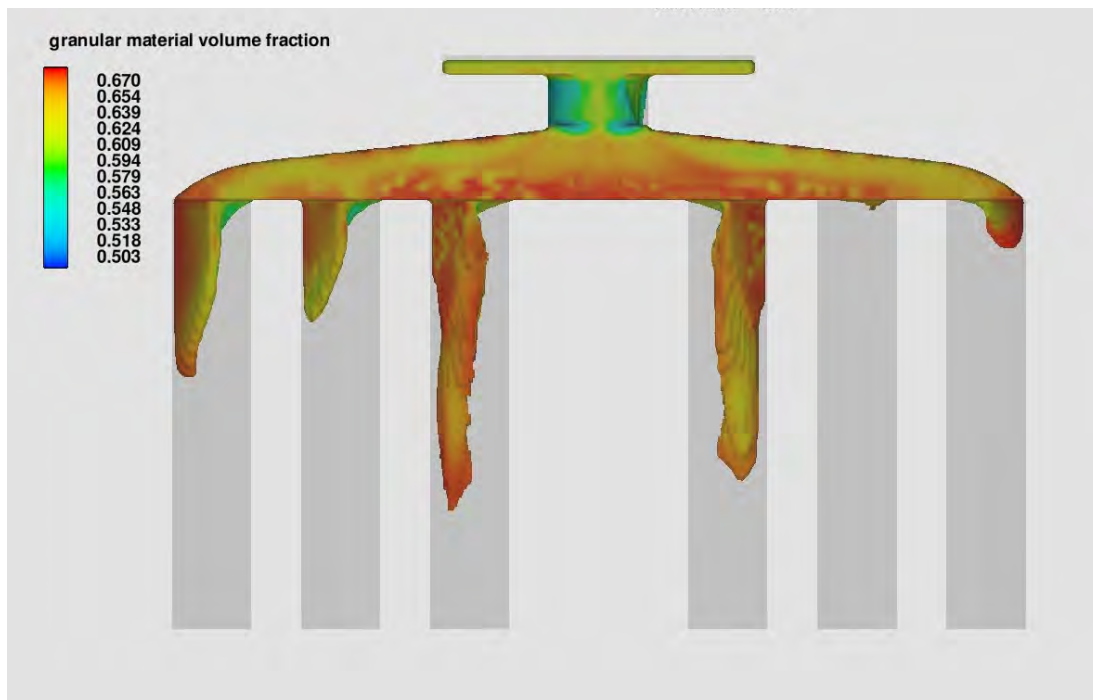


Figur 8: Visar tryckuppbyggnad för ventil 4-10 öppna.

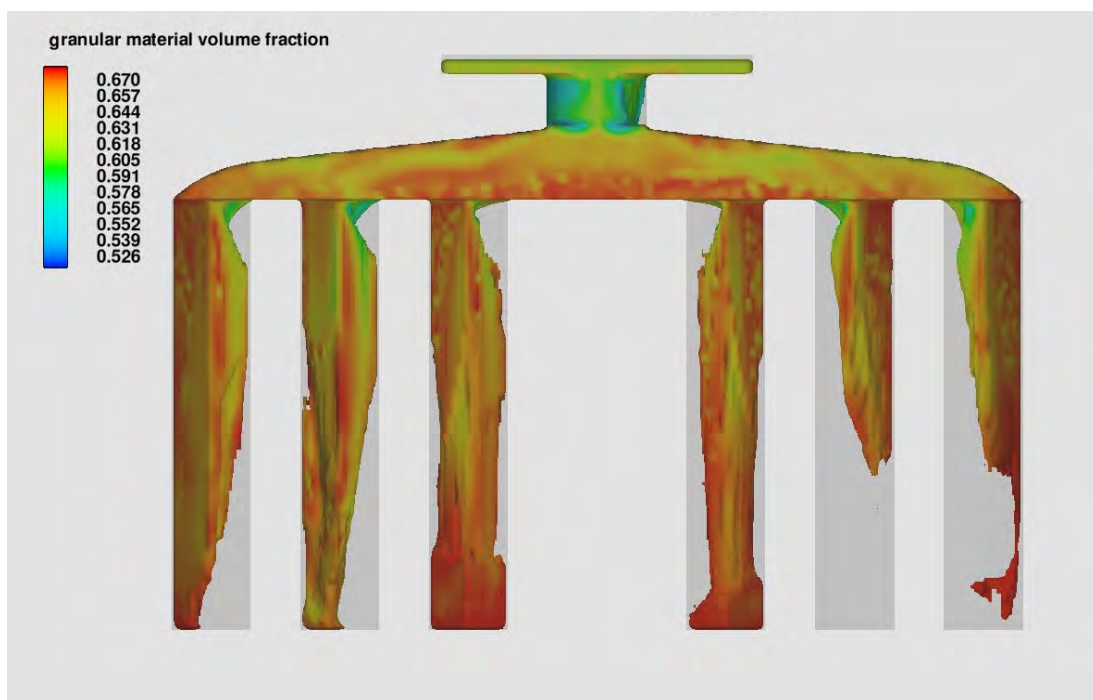
Efter viss kalibrering överensstämmer resultatet mellan simuleringar och experiment till en ganska stor grad, både i termer av andel fylld kärna men även i hur trycket byggs upp. När ventil 4 är öppen stämmer resultaten mycket bra mellan simulering och experiment. Intressant att notera är att sanden får svårt komma förbi kröken när ventilerna 1-3 är öppna. Detta är ett rimligt resultat av simuleringen eftersom lådan inte kan ventileras efter det att ventil 3 har blivit blockerad. Också tryckuppbyggnaden för ventilkonfigurationen 4-10 öppna stämmer till en ganska hög grad, även om simuleringarna indikerar en mycket brantare tryckgradient när trycket börjar öka. Det bör dock sägas här att tryckkurvan för experimenten dels är filtrerad för att ”jämna ut” kurvan men också parallellförflyttad i tiden för att starten på tryckökningen skall stämma mellan experiment och simulering. Det har inte under experimenten funnits något bra sätt att trigga starten för insamlandet av tryckdata. Intressant att notera är att, i fallet där endast ventil 4 är öppen, tryckökningen startar direkt vid simuleringen, detta går inte att notera för experimenten.

5.7 Resultat simuleringar stavar

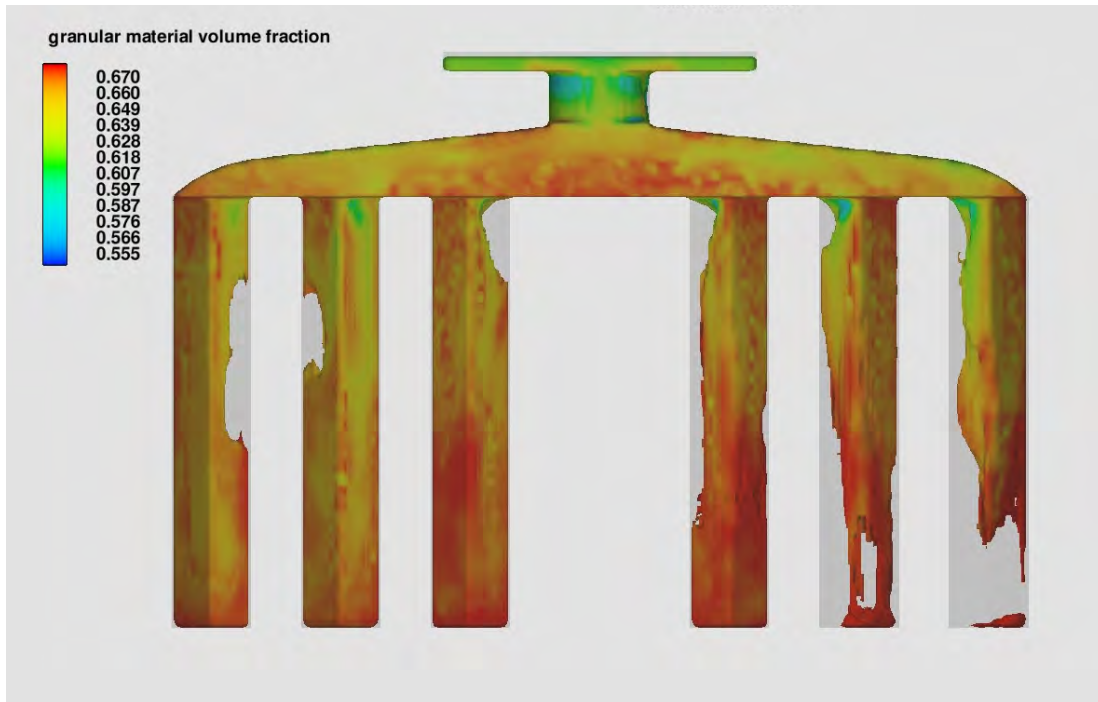
Målet med simuleringarna av stavarna var att undersöka fyllnadsbeteendet mellan olika ventilkonfigurationer (stor och liten) och att samtidigt undersöka möjligheten att se skillnader i makroskopisk densitet mellan de olika stavarna tillverkade i kärnlådan i figur 2. Inga ansträngningar gjordes för att kalibrera Flow-3D för att helt efterlikna experimenten.



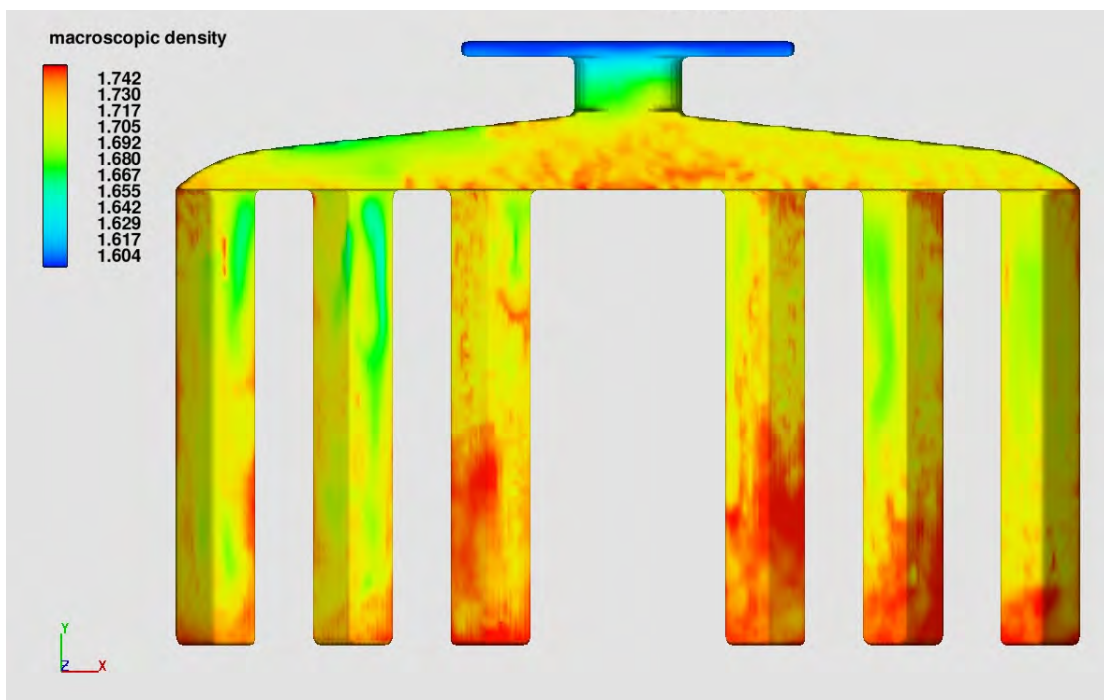
Figur 9: Visar skillnaden i flöde. Ventilerna till vänster har större diameter.



Figur 10: Visar skillnaden i flöde (ventilerna till vänster har större diameter).



Figur 11: Visar skillnaden i flöde (ventilerna till vänster har större diameter).

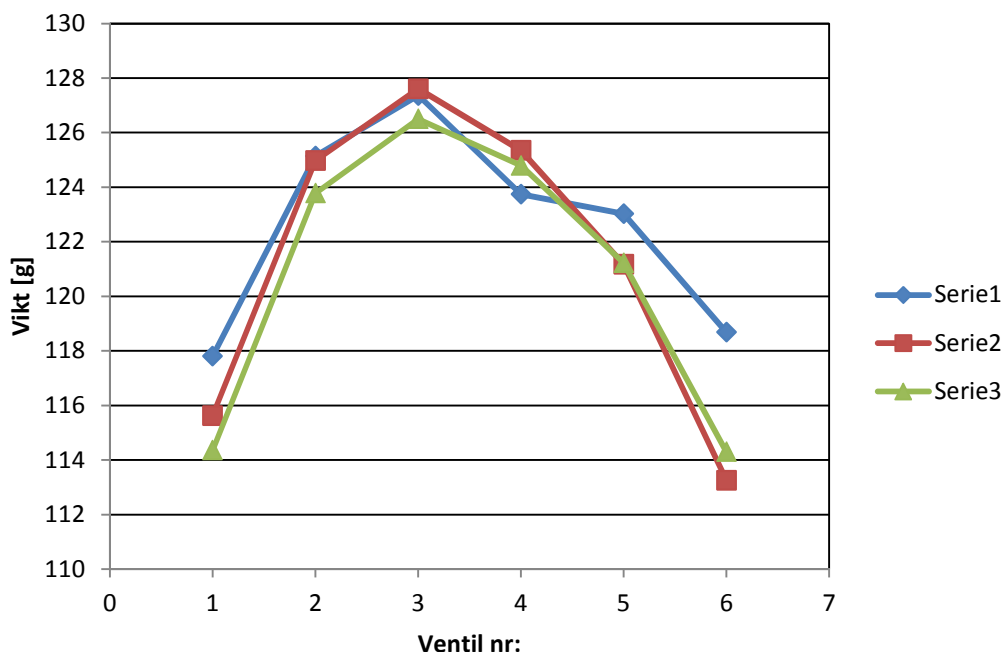


Figur 12: Visar slutresultatet för stavsimulering.

Av denna simulering går det att dra slutsatsen att fyllnaden av de stavar som har de större ventilerna fylls före de som har små ventiler, något som känns rimligt. I figur 12 visas den makroskopiska densiteten vid 2 sekunder. De två innersta stavarna har en högre densitet, vilket också experimenten visar. För sidan med de mindre ventilerna följer också densitetsresultatet experimenten; densiteten minskar när avståndet till centrum ökar. Detta är inte lika tydligt för den sida som har större ventiler. Där har den innersta staven högst densitet, men sedan tycks den andra staven ha en lägre densitet än den yttersta. Detta ses inte i viktkurvorna från

experimenten. I simuleringarna tycks dessutom stavar från sidan med liten ventil ha en högre packningsgrad än stavar från sidan med stor ventil, något som motsägs av vikt kurvorna. Kom dock ihåg att ingen nämnvärd insats gjordes för att kalibrera modellen. Målet var primärt att, genom simulering, undersöka hur sanden fyller formen.

Figur 13 illustrerar stavarnas vikt. Ventil 1-3 är små ventiler med diametern 5 mm medan ventil 4-6 har diametern 12 mm. Ett nominellt skjuttryck på 3 bar användes vid försöken. Figuren visar att kurvan har parabolisk form. Vidare noteras en mindre skillnad beroende på vilken typ av ventil som använts. Stavarna från sidan med större ventiler har generellt en något högre makroskopisk densitet. En avvikelse från mönstret är dock att stavar från ventil 3 och 5 uppvisar i stort sett samma densitet. Vid dessa försök visade det sig att den gummilist som skall hindra ventilation i partlinjen inte fungerade tillfredställande. Över nästan hela partlinjen fann man sand, vilket tyder på att viss ventilering skett. Detta har inte inkluderats i simuleringarna, något som kan ge ett något missvisande resultat.



Figur 13: Uppmätta vikter hos stavarna. Stav 1-3 har större diameter.

6 Diskussion

Eftersom kärnsimulering är en teknik som befinner sig lite i sin linda, är det fortfarande mycket som är osäkert. Till stor del handlar det om hur sandens flytbarhet skall definieras. Det finns idag inga modeller för att kunna bestämma flytbarheten av en sand/luft-blandning. Detta är en klar nackdel och i framtiden måste den kunna bestämmas, eftersom olika kombinationer av sand och bindemedel uppvisar olika grader av flytbarhet. Vidare finns det idag inget tillförlitligt sätt att mäta lokal packningsgrad. En metod för detta är nödvändig för att få konfidens i simuleringarna.

Överlag stämmer simuleringarna med experimenten på en global nivå. Resultaten visade dock att samma indata inte gick att använda till två olika ventilkonfigurationer för att få överensstämmande resultat mellan simulering och experiment. Detta visar att ytterligare kalibreringar måste göras i Flow-3D.

Det tryck som bildas i kärnlådan stämmer till viss del mellan simulering och experiment. Detta är en indikation på att ventilerna modelleras på ett tillförlitligt sätt. Dock är det ett faktum att den beräkningsmodell som finns för Flow-3D är av en ganska enkel karaktär, och det finns inte många relevanta parametrar att kalibrera.

7 Slutsats och förslag till kommande arbete

Efter att ha genomfört många experiment och simuleringar kan vi konstatera att det idag finns möjligheter att simulera kärntillverkningsprocessen med Flow-3D, även om det krävs mer och bättre indata för att kunna göra det tillförlitligt. Arbetet i detta projekt visar vikten av kalibrering och uppföljande fysiska tester. Vid denna preliminära kalibrering gick det inte att använda exakt samma indata för båda ventilkonfigurationer för svanhalsen och samtidigt få överensstämmande resultat mellan experiment och simulering. Detta betyder att ytterligare kalibrering är nödvändig. Fler tester måste genomföras, dels med andra geometrier men också med andra typer av sand och bindemedel. Vidare är det viktigt att ha metoder att kunna mäta (eller åtminstone uppskatta) sandens benägenhet att flyta.

Lokal packningsgrad är mycket viktig att kunna bestämma. Exempelvis hade stavarna en markant högre packningsgrad närmast ventilerna. Packningsgraden minskade sedan med avståndet från ventilerna. Detta förhållande skulle vara mycket bra att kunna bekräfta genom mätningar. Teknik att mäta packningsgraden ”inne” i kärnan med någon icke förstörande metod bör också utredas.

Ytterligare kalibrering av mjukvaror är något annat man bör titta närmare på. Det är också viktigt att andra sand/bindemedelsblandningar används vid kommande experiment och kalibrering av simuleringar. Erhållna resultat kan sedan användas för att testa simuleringar mot verkliga komponenter.

Hur mycket av kärnsjutmaskinen som skall tas med vid simuleringarna bör slutligen analyseras. Det kan vara så att hela sandmagasinet, blåsplattan samt tryckets påläggning krävs för bättre överensstämmelse. I de simuleringar som genomfördes i detta arbete togs ingen hänsyn till detta; trycket var endast pålagt på en platta, något som kan vara en begränsning.

8 Referenser

- [1] C.W. Hirt, ”A Continuum Model for High Concentration Granular Media: Illustrated by Application to Sand Core Blowing”, FSI-10-TN88, Flow-3D, www.flow3d.com

Appendix 1:

Siktanalys:

swerea | SWECAST

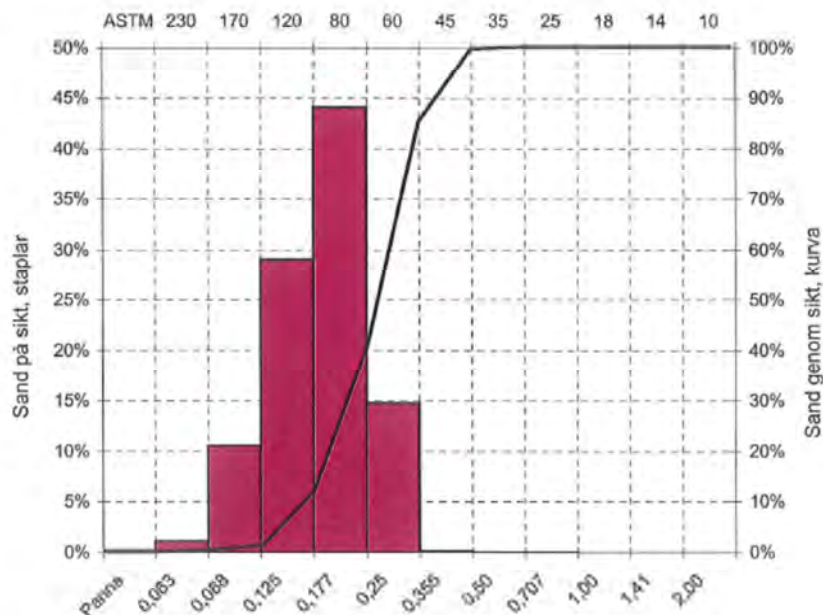
SIKTANALYS

Prov ID:	Datum: 2011-09-16	Uppdrag nr:
	Märkning: 1905-01-16	
	Sign: UL	Anm:

Resultat:	Medelkornstorlek:	0,21 mm
	Finandel:	11,9 %
	Kornkoncentration:	73 %
	Teoretisk specifik kornyta:	127 cm² / g

ASTM	Masköppning mm	Sandmängd		
		på sikt (g)	på sikt (%)	genom sikt (%)
10	2,00	0,00	0,00	100,00
14	1,41	0,00	0,00	100,00
18	1,00	0,00	0,00	100,00
25	0,707	0,01	0,02	99,98
35	0,50	0,01	0,02	99,96
45	0,355	0,07	0,14	99,82
60	0,25	7,43	14,77	85,05
80	0,177	22,18	44,10	40,95
120	0,125	14,62	29,07	11,89
170	0,088	5,32	10,58	1,31
230	0,063	0,56	1,11	0,20
Panna	Panna	0,10	0,20	0,00
Total sandmängd:		50,30	100,00	-

Siktkurva:



Appendix 2:

Bild på sand som använts vid experiment:

