

## **VERIFIERING AV DATORSIMULERAD KAPACITETSÖKNING VID ANRIKNINGSVERKET I MALMBERGET**

Johanna Alatalo, Eva Öberg, LKAB, SE-983 81, Malmberget  
Bertil Pålsson, Luleå tekniska universitet, SE-971 87 Luleå

### **ABSTRACT**

LKAB genomför försök i full skala med cyklonering kring sekundärsteget i en av kvarnsektionerna i Malmbergets anrikningsverk. Val av kretskoppling och dess dimensionering har gjorts efter omfattande simuleringsstudier av ett stort antal möjliga kretsutföranden. Resultaten visar att andelen grova partiklar kan minskas i slutprodukten, vilket bör ge något lägre föroreningshalter i ingående till pelletverket. Malbarheten i hela kretsen förbättras med 7-8 %, vilket skulle kunna utnyttjas för kapacitetshöjningar i befintliga kretsar. Simuleringarna har gett möjlighet att teoretiskt testa ett antal tänkbara alternativ. Vi har på ett billigt sätt kunnat "screena" fram de alternativ, där det är sannolikt att vi får den bästa effekten av en klassering. Dessa verifieras sedan i en testrigg, som sitter i en producerande kvarnsektion. Den stora vinsten med det här förfaringssättet är att vi slipper problem med uppskalning från pilot till fullstor skala.

### **Bakgrund**

Marknaden för järnmalm beräknas öka under perioden fram till 2010. Flera av LKAB:s kunder på BF- och DR-marknaden planerar och har i flera fall beslutat om investeringar i ökad produktionskapacitet. LKAB kan endast under förutsättning att man ökar sin egen produktionskapacitet behålla marknadsandelar hos kund. LKAB har förfrågan från kunder om utökade pelletleveranser från 2007. Mot denna bakgrund har arbete initierats där en första del är uppförandet av ett nytt pelletverk i Malmberget för produktion av till en början 2,5 Mton/år. Om miljökoncession erhålls avses att ytterligare utöka pelletproduktionen till mer än 8 Mton per år.

Med tanke på tillgången på råmalm i Malmberget och nuvarande produktion av sinterfines (MAF), krävs inledningsvis att en andel av rågodsförsörjningen för ett nytt pelletverk i Malmberget sker med rågods från Kiruna. Det har en annan mineralogi och kemisk sammansättning och en finare renkrossningsgräns. Detta kommer med stor sannolikhet att medföra att malsektionerna blir begränsande för de framtida produktionsmålen.

I det stora arbetet inför sektion 6 i Malmbergets anrikningsverk kördes pilotkampanjer, som sedan utvärderades, dels på traditionellt sätt med energiinsatser och malbarheter, och dels via simuleringar. I de senare gjordes först kalibrering mot pilotdata, därefter uppskalning till befintlig sektion 4 och validering av resultatet mot provtagningar i den sektionen (Tano, et al., 2006). I samband med designarbetet inför sektion 6 uppmärksammades att cyklonering i nuvarande sektion 4 och 5 skulle kunna ge ett kapacitetstillskott på ca 10 % vid i stort sett bibehållen nedmalningsgrad. Ett arbete med simulering av ett antal olika tänkbara alternativ sattes igång och det kalibrerades mot en äldre undersökning (Anttila & Henriksson, 1979). Resultaten visade på några mycket intressanta alternativ och dessa blev utvalda för verifierande försök i fullskala.

Det traditionella hade varit att efter simuleringar genomföra försök i pilotskala för att verifiera simuleringsresultat. Svårigheten att i pilotskala studera effekten av cyklonering, där cyklonstorlek och -dimensioner påverkar avskiljningsgränsen, gjorde att pilotförsök bedömdes inte ge något bra underlag för uppskalning. Ytterligare skäl är tidspress att komma fram med lämpliga processåtgärder för att i tid klara av nödvändiga investeringar för om/tillbyggnader.

Dessutom finns några faktorer som begränsar antalet möjliga cykloneringsalternativ, en av de viktigare är att nyttja den värme som genereras i sista malsteget. En hög pulptemperatur ger en högre råkuletemperatur vilket i sin tur har en stark påverkan på kapaciteten i pelletverket, 1 grad Celsius motsvarar ca 5-8 ton/h. Ytterligare en begränsande faktor är uppehållstiden i kvarn. På grund av cirkulerande last blir det totala flödet genom kvarn mycket stort. Man skall ha i minnet att befintliga kvarnar är dimensionerade för avsevärt lägre genomsättning. Befintliga kvarnar byggdes om till överströmmande i början av 90-talet med syftet att minska förbrukning av malmedia, erhålla en siktanalys lämplig för agglomerering (kulrullning) samt ge ökad genomsättning.

Ovan nämnda skäl resulterade i att fullskaleförsöken inriktades på att studera klassering kring sekundärkvarn. Det alternativ som bedömdes möjligt med tanke på flöde/uppehållstid var halvöppen-sluten, se figur 4. En traditionellt sluten krets visade i simuleringar på flöden som bedömdes omöjliga att klara med befintligt centrumgaller.

### **Simulering**

Simuleringarna gjordes för ett stort antal olika, teoretiskt sett intressanta, alternativ för att skapa underlag för att välja ut de som skulle kunna bli föremål för verifierande försök. Här redovisas bara några av de viktigaste varianterna.

#### Material, halter och godsflöden

Pellets A-kvalitet Rågods (PAR) anses normalt vara < 15 mm även om det allt som oftast har några vikt-% över 16 mm. Ing partikelstorleksfördelning uppmätt vid pilotkörningen ges i tabell 1. Av tabellen framgår att max partikelstorlek nog är närmare 18 mm.

Tabell 1. Ing partikelstorleksfördelning för PAR i pilotkörning.

Sikt (mm)	Ack % fint	Sikt (mm)	Ack % fint	Sikt (mm)	Ack % fint
16	97.41	2.0	63.66	0.355	28.09
12.5	90.62	1.4	59.79	0.250	20.57
10	85.53	1.0	54.17	0.180	14.57
5.0	72.51	0.710	46.37	0.125	9.98
2.8	66.94	0.500	36.33	0.090	6.22

Dagens PAR antas förenklat bestå av två komponenter:

- magnetisk med 99% magnetit (motsvarar 71% Fe), densitet 5.0 g/cm<sup>3</sup>,
- gråberg med 7 % magnetit (motsv 5 % Fe), densitet 3.1 g/cm<sup>3</sup>.

Sammansättningen i fraktionerna under 6.68 mm antas likna råmullldata (Berg, 1981) med justering för inblandning av krossmull.

Tabell 2. Antagen sammansättning av ing

Fraktion (mm)	Magnetit (%)	Gråberg (%)
> 6.68	85	15
4.7 – 6.68	92.7	7.3
3.33 – 4.7	90.75	9.25
1.65 – 3.33	90.75	9.25
0.59 – 1.65	91.8	8.2
0.30 – 0.59	91.75	8.25
0.15 – 0.30	93.7	6.3
0.07 – 0.15	94.3	5.7
< 0.07	88.35	11.65

Matningen till kretsen är hela tiden 250 ton/h PAR.

I simuleringarna är för utg kvarnar och malsteg lagt in referenser från partikelstorleksfördelningar hämtade från provtagning 2003-03-13 med enbart PAR i sektion 5 (Jirestig & Mickelsson, 2003).

### Maskiner

Här redovisas alla maskiner i alla de olika simuleringsalternativen. Skillnaderna kan i några fall vara antalet cykloner, cykloners underloppsdiometer eller en ändrad utspädning. Detta kommenteras då i samband med resp simulering.

### *Våtsovring*

Ing gods matas på en våtsovringsseparator. Separatorm körs med 40 vikt-% fast.

*Primär malning*

Kvarnen har måtten  $\varnothing$  4.15 x 5.4 m med innermått  $\varnothing$  3.95 x 5.2 m. Installerad motoreffekt är 1800 kW, men bara ca 1450 kW utnyttjas. Kvarnen körs med fyllnadsgrad 0.42, hastighet  $n_c$  0.75 och 70 vikt-% fast. Postklasseringen är borttagen eftersom kvarnen numera går överströmmande. Malkroppar är 60 mm kulor.

*Primär magnetseparering*

Utg från kulkvarnen rinner till en våt magnetseparator som körs med 35 vikt-% fast.

*Sekundär cyklonering*

Cykloneringen görs i två-tre 500 mm enheter. De har diameter 500 mm, inre cyklonhöjd 1230 mm, inloppsdiаметer 144 mm (180 x 90 mm), överlopp 200 mm och underlopp anpassas till att ge en cirkulerande last på ca 100 %. Cyklonen körs på 55 vikt-% fast.

Det uppgivna inloppstrycket 0.95 bar är omräknat till 7 m pulppelare. Pulpdensitetens faktor styrs av att ing hydrocyklon skall hålla 55 vikt-% fast.

*Sekundär malning*

Överströmmande kulkvarn  $\varnothing$  4.9 x 5.7 m med innermåtten  $\varnothing$  4.77 x 5.4 m. Installerad motoreffekt är 3600 kW. Kvarnen körs med fyllnadsgrad 0.42, hastighet  $n_c$  0.76, 72 vikt-% fast och effektuttag 2550 kW. Postklasseringen är borttagen eftersom kvarnen numera går överströmmande. Malkroppar är  $\varnothing$  25 mm x 32 mm cylpebs, men är i simuleringen ersatt med 30 mm kulor.

*Sekundär magnetseparering*

Utg från den sekundära kulkvarnen magnetsepareras på en våt magnetseparator. Den körs på 30 vikt-% fast.

*Tertiär cyklonering*

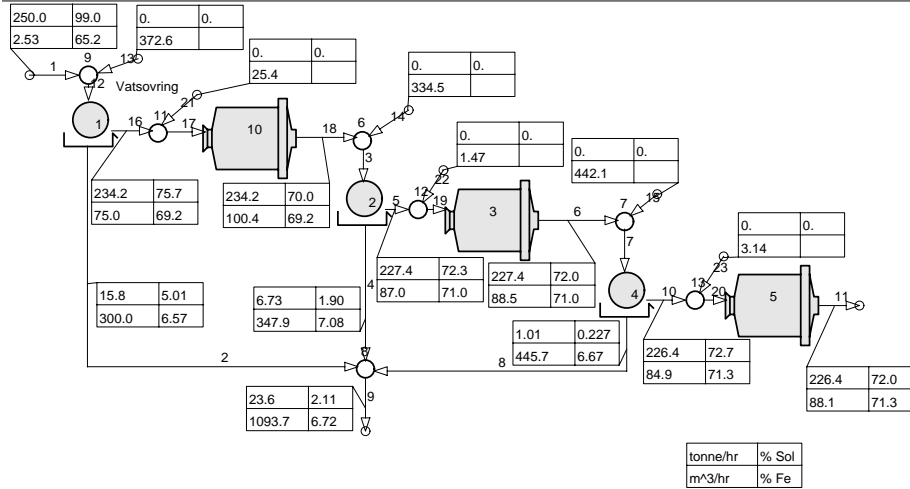
Cykloneringen görs i ett cyklonbatteri med 10 st 250 mm enheter. Ett varierande antal är i ingrepp. De har diameter 250 mm, inre cyklonhöjd 730 mm, inloppsdiаметer 80 mm (100 x 50 mm), överlopp 100 mm och underlopp anpassas till att ge en cirkulerande last på ca 100 %. Cyklonen körs på 55 vikt-% fast.

Det uppgivna inloppstrycket 0.75 bar är omräknat till 6 m pulppelare. Pulpdensitetens faktor styrs av att ing hydrocyklon skall hålla 55 vikt-% fast.

*Tertiär malning*

Överströmmande kulkvarn  $\varnothing$  4.9 x 5.7 m med innermåtten  $\varnothing$  4.77 x 5.4 m. Installerad motoreffekt är 3600 kW. Kvarnen körs med fyllnadsgrad 0.42, hastighet  $n_c$  0.76, 72 vikt-% fast och effektuttag 2450 kW. Postklasseringen är borttagen eftersom kvarnen numera går överströmmande. Malkroppar är 25 mm kulor.

## Öppen krets

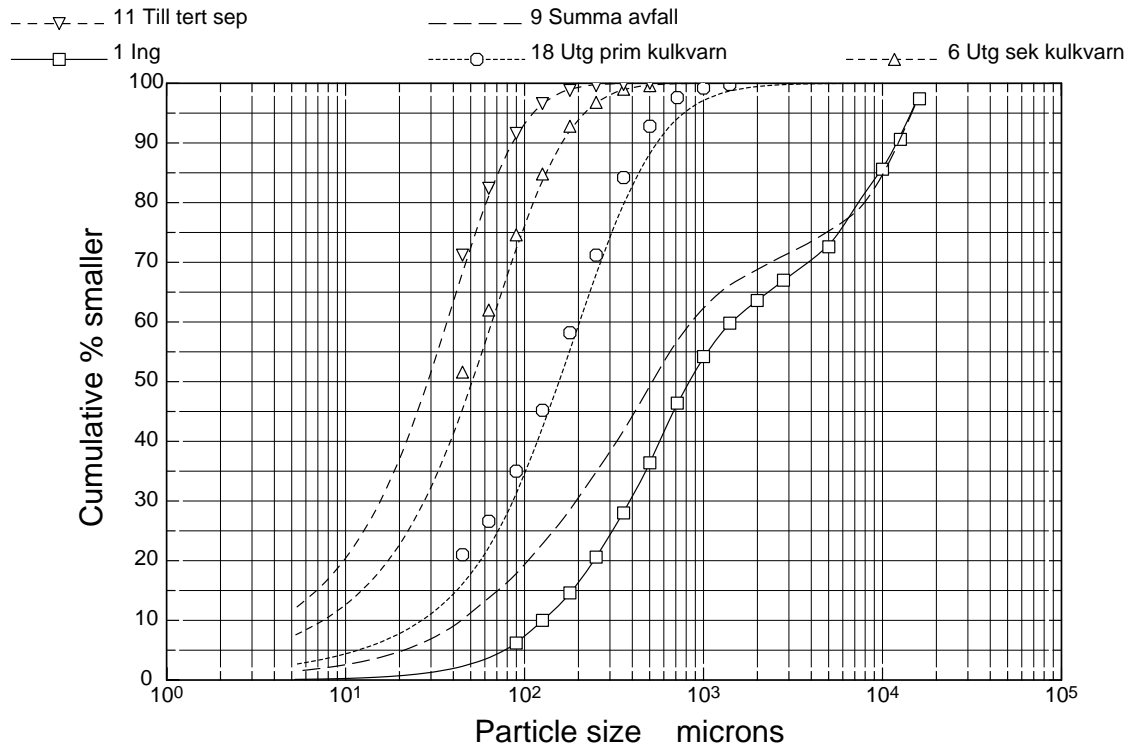


Figur 1. Flödesschema – öppen krets (referens).

Detta är standardschemat som de andra simuleringarna skall jämföras med. Mängden i summa avfall är något för låg relativt uppmätta värden, men det är ett generellt problem med de enkla magnetsepareringsmodeller som står till buds.

Tabell 3. Resultat från simulering av öppen krets

Primärkvarn	3.22 min	1310 kW	5.06 kWh/ton	$d_{80}(\text{in})$ 7020 $\mu\text{m}$ $d_{80}(\text{ut})$ 362 $\mu\text{m}$
Sekundärkvarn	5.18 min	2240 kW	8.62 kWh/ton	$d_{80}(\text{in})$ 361 $\mu\text{m}$ $d_{80}(\text{ut})$ 112 $\mu\text{m}$
Tertiärkvarn	5.22 min	2240 kW	8.65 kWh/ton	$d_{80}(\text{in})$ 112 $\mu\text{m}$ $d_{80}(\text{ut})$ 61.1 $\mu\text{m}$
Utg krets				$d_{80}$ 61.1 $\mu\text{m}$ $d_{20}$ 9.74 $\mu\text{m}$ SA45 69 %



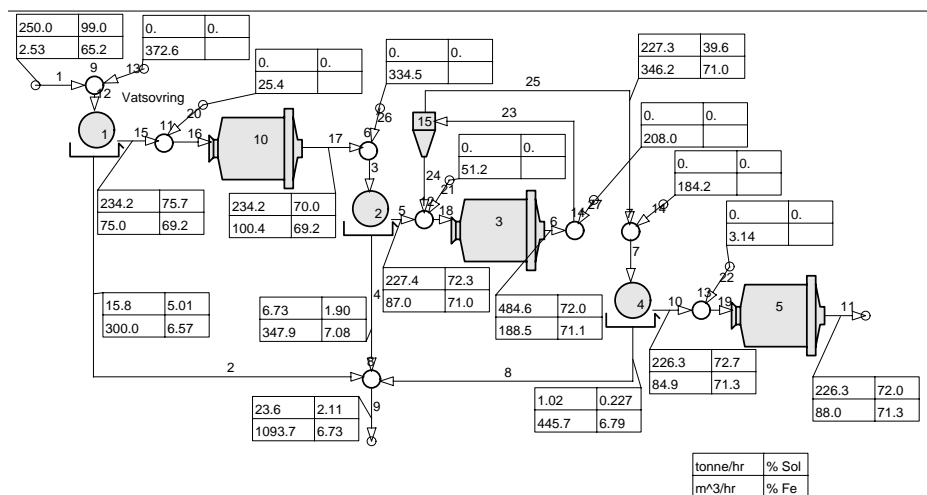
S4ball\_MA\_open

Figur 2. Partikelstorleksfördelningar i öppen krets (referens)

Det är hyfsad överensstämmelse mellan simulerade och uppmätta partikelstorlekar. Möjligen en aning grovt ut från primärkvarnen, men simuleringen är körd med ett grövre ing material än vid provtagningen som är jämförelse.

### Sluten krets i malsteg 2

Malsteg 2 körs i sluten krets med hydrocycloner. Dessa väljs som 2 st 500 mm enheter med dimensioner enligt tidigare, men med underlopp 105 mm.



Figur 3. Flödesschema – sluten sekundärkrets

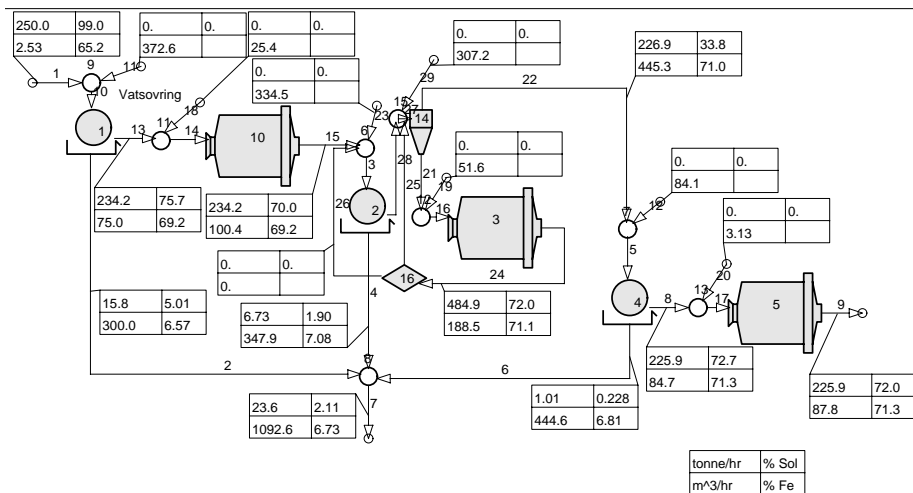
Cirkulerande lasten blir 113 % räknat på konc prim sep. Underlopp cyklon är lite för tjockt.

Tabell 4. Resultat från simulering av slutna sekundärkrets

Primärkvarn	3.22 min	1310 kW	5.06 kWh/ton	$d_{80}(\text{in})$ 7020 $\mu\text{m}$ $d_{80}(\text{ut})$ 362 $\mu\text{m}$
Sekundärkvarn	2.43 min	2240 kW	4.04 kWh/ton	$d_{80}(\text{in})$ 251 $\mu\text{m}$ $d_{80}(\text{ut})$ 141 $\mu\text{m}$
Tertiärkvarn	5.22 min	2240 kW	8.66 kWh/ton	$d_{80}(\text{in})$ 74.0 $\mu\text{m}$ $d_{80}(\text{ut})$ 52.3 $\mu\text{m}$
Sekundärklass (2)	$D_u$ 105 mm	112 kPa	$F_{vu}$ 50 vol-%	$d_{50}(\text{c})$ 85.2 $\mu\text{m}$ $d_{50}$ 78 $\mu\text{m}$
Utg krets				$d_{80}$ 52.3 $\mu\text{m}$ $d_{20}$ 9.48 $\mu\text{m}$ SA45 72 %

### Halvöppen-sluten krets i malsteg 2

Malsteg 2 körs i halvöppen-sluten krets med hydrocykloner. Till följd av det grövre godset till cyklonerna, jämfört med den slutna kretsen, måste tryckfallet hållas ner och därför väljs 3 st 500 mm enheter med dimensioner enligt tidigare. Ett annat resultat av det grövre godset till cyklonerna är att underloppet måste öppnas för att undvika stockning. Underloppet behöver då vara 125 mm.



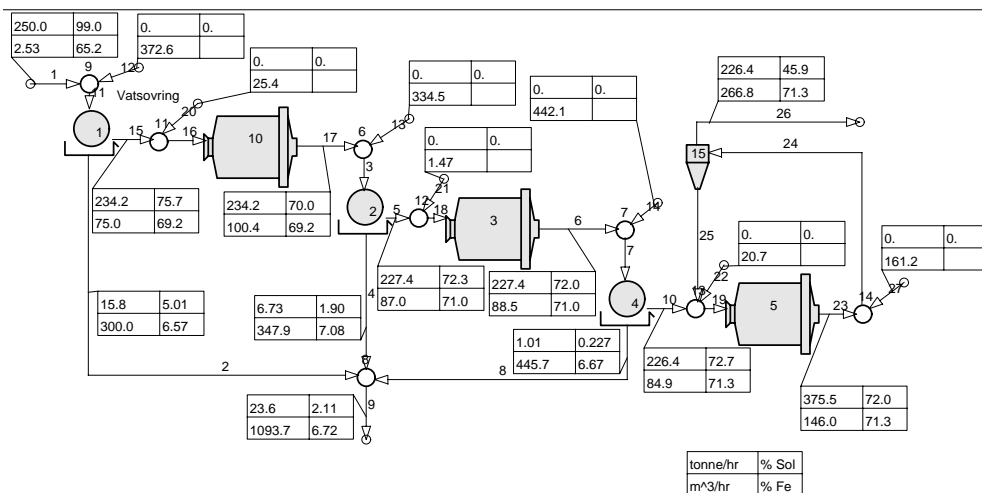
Figur 4. Flödesschema – halvöppen-sluten sekundärkrets (retur till cyklon)

Tabell 5. Resultat från simulering av halvöppen-sluten sekundär krets

Primärkvarn	3.22 min	1310 kW	5.06 kWh/ton	$d_{80}(\text{in})$ 7020 $\mu\text{m}$ $d_{80}(\text{ut})$ 361 $\mu\text{m}$
Sekundärkvarn	2.43 min	2240 kW	4.04 kWh/ton	$d_{80}(\text{in})$ 251 $\mu\text{m}$ $d_{80}(\text{ut})$ 141 $\mu\text{m}$
Tertiärkvarn	5.24 min	2240 kW	8.68 kWh/ton	$d_{80}(\text{in})$ 72.8 $\mu\text{m}$ $d_{80}(\text{ut})$ 51.5 $\mu\text{m}$
Sekundärklass (3)	$D_u$ 125 mm	100 kPa	$F_{vu}$ 41 vol-%	$d_{50}(\text{c})$ 76.0 $\mu\text{m}$ $d_{50}$ 60 $\mu\text{m}$
Utg krets				$d_{80}$ 51.5 $\mu\text{m}$ $d_{20}$ 9.43 $\mu\text{m}$ SA45 74 %

### Sluten krets i malsteg 3

Malsteg 3 körs i sluten krets med hydrocykloner. Dessa väljs som 5 st 250 mm enheter med dimensioner enligt tidigare, men med underlopp 50 mm.



Figur 5. Flödesschema – sluten tertiärkrets

Cirkulerande lasten blir 66 % räknat på konc sek sep.

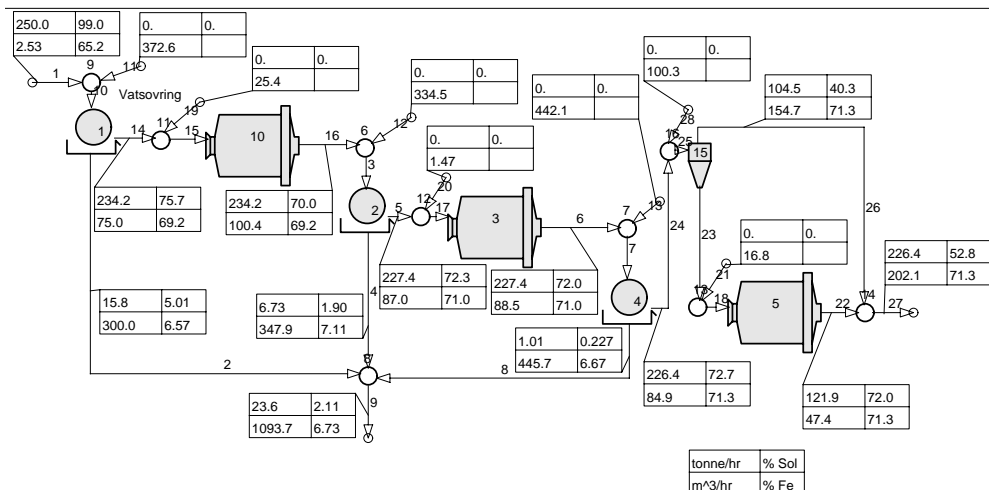
Tabell 6. Resultat från simulering av sluten tertiärkrets

Primärkvarn	3.22 min	1310 kW	5.06 kWh/ton	$d_{80}(\text{in})$ 7020 $\mu\text{m}$ $d_{80}(\text{ut})$ 361 $\mu\text{m}$
Sekundärkvarn	5.18 min	2240 kW	8.62 kWh/ton	$d_{80}(\text{in})$ 361 $\mu\text{m}$ $d_{80}(\text{ut})$ 112 $\mu\text{m}$
Tertiärkvarn	3.15 min	2240 kW	5.22 kWh/ton	$d_{80}(\text{in})$ 110 $\mu\text{m}$ $d_{80}(\text{ut})$ 75.6 $\mu\text{m}$
Tertiärklass (5)	$D_u$ 50 mm	122 kPa	$F_{vu}$ 42 vol-%	$d_{50}(\text{c})$ 65.7 $\mu\text{m}$ $d_{50}$ 60 $\mu\text{m}$
Utg krets				$d_{80}$ 49.0 $\mu\text{m}$ $d_{20}$ 9.38 $\mu\text{m}$ SA45 76 %



### Halvöppen krets i malsteg 3

I malsteg 3 används hydrocykloner för att ta bort fint material som inte behöver malas om. Cyklonerna väljs som 3 st 250 mm enheter med dimensioner enligt tidigare, men med underlopp 55 mm.



Figur 6. Flödesschema – halvöppen-sluten tertiärkrets

Flödesuppdelningen grovt:fint över cyklonbatteriet är ungefär 55:45 %.

Tabell 7. Resultat från simulering av halvöppen-sluten tertiärkrets

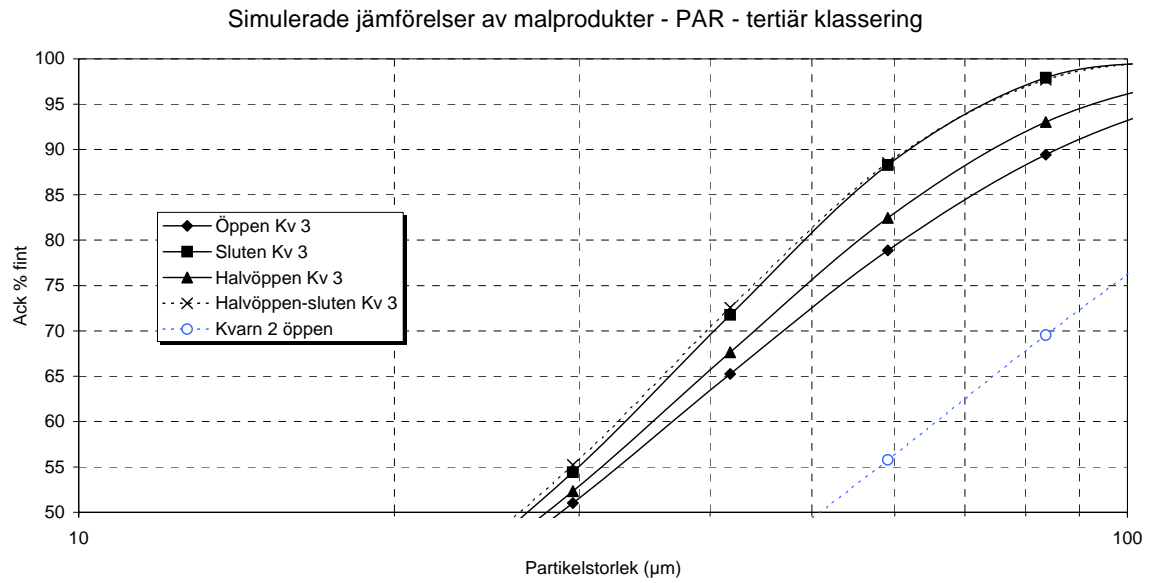
Primärkvarn	3.27 min	1350 kW	5.20 kWh/ton	$d_{80}(\text{in})$ 7020 $\mu\text{m}$ $d_{80}(\text{ut})$ 356 $\mu\text{m}$
Sekundärkvarn	5.18 min	2240 kW	8.62 kWh/ton	$d_{80}(\text{in})$ 355 $\mu\text{m}$ $d_{80}(\text{ut})$ 111 $\mu\text{m}$
Tertiärkvarn	9.70 min	2240 kW	16.08 kWh/ton	$d_{80}(\text{in})$ 156 $\mu\text{m}$ $d_{80}(\text{ut})$ 62.2 $\mu\text{m}$
Tertiärklass (3)	$D_u$ 55 mm	119 kPa	$F_{vu}$ 44 vol-%	$d_{50}(\text{c})$ 61.2 $\mu\text{m}$ $d_{50}$ 54 $\mu\text{m}$
Utg krets				$d_{80}$ 55.5 $\mu\text{m}$ $d_{20}$ 9.55 $\mu\text{m}$ SA45 71 %

### Resultat med sekundär och/eller tertiär klassering

En jämförelse av partikelstorleksfördelningarna för de olika fallen visas i de följande figurerna, som har begränsats till att bara visa området 10-100  $\mu\text{m}$  och 50-100 ack. % fint. Det är tydligt att sekundärklasseringen ger en kraftig förändring av utg från malsteg 2 och att de olika kombinationerna med cyklonering i både steg 2 och 3 inte oväntat ger de finaste partikelstorleksfördelningarna.

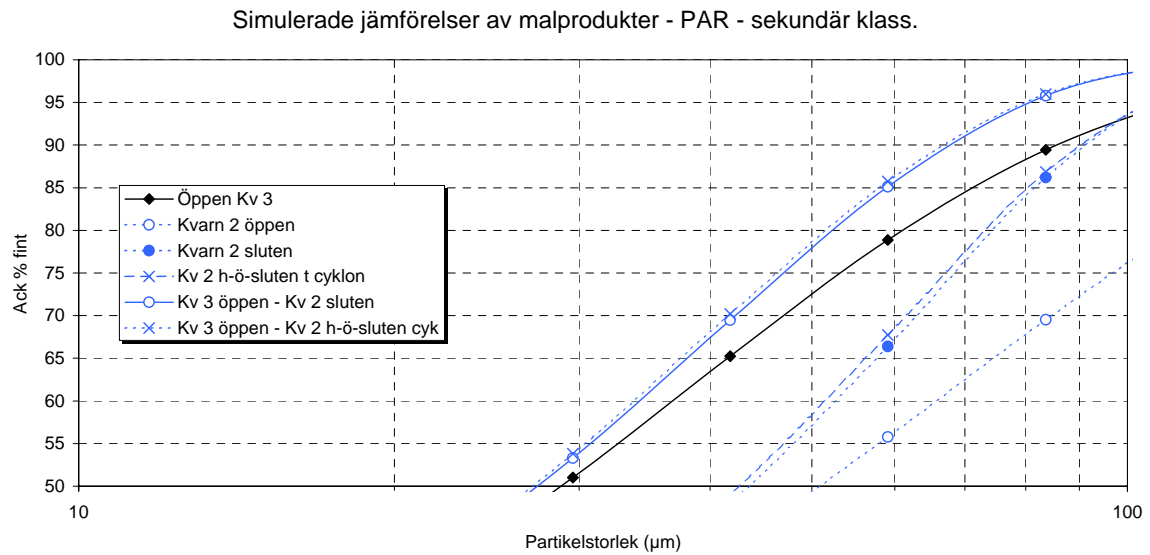
Observera att *Öppen kv 3* innebär ingen klassering alls och är referensfallet.

I figur 7 visas alternativen klassering kring tertiärkvarnen. *Kvarn 2 öppen* är kurvan för utg sekundärkvarnsteget.



Figur 7. Jämförelse av partikelstorleksfördelningarna i de olika fallen

Nedanstående figur visar vad som händer om klassering sätts in runt sekundärsteget. Resultatet blir kraftigt brantare partikelstorleksfördelningar ut från sekundärsteget, men det ger också, på grund av ett finare ingående till tertiärsteget, en finare slutprodukt.



Figur 8. Partikelstorleksfördelning av cyklonering kring sekundärsteget

Slutsatsen från simuleringarna var att den största klasseringseffekten skulle fås om sekundärsteget fick klassering. Skulle tertiär klassering införas måste denna vara sluten och sannolikt med än mindre cykloner än 250 mm, alternativt 250 mm cykloner med snäva över- och underlopp. Då en tertiär klassering dessutom kräver extra spädvatten, som skulle kyla ner färdigt PAR, beslöts att tills vidare låta bli att verifiera de alternativen i försöksriggen.

## Resultat

### Experimentellt

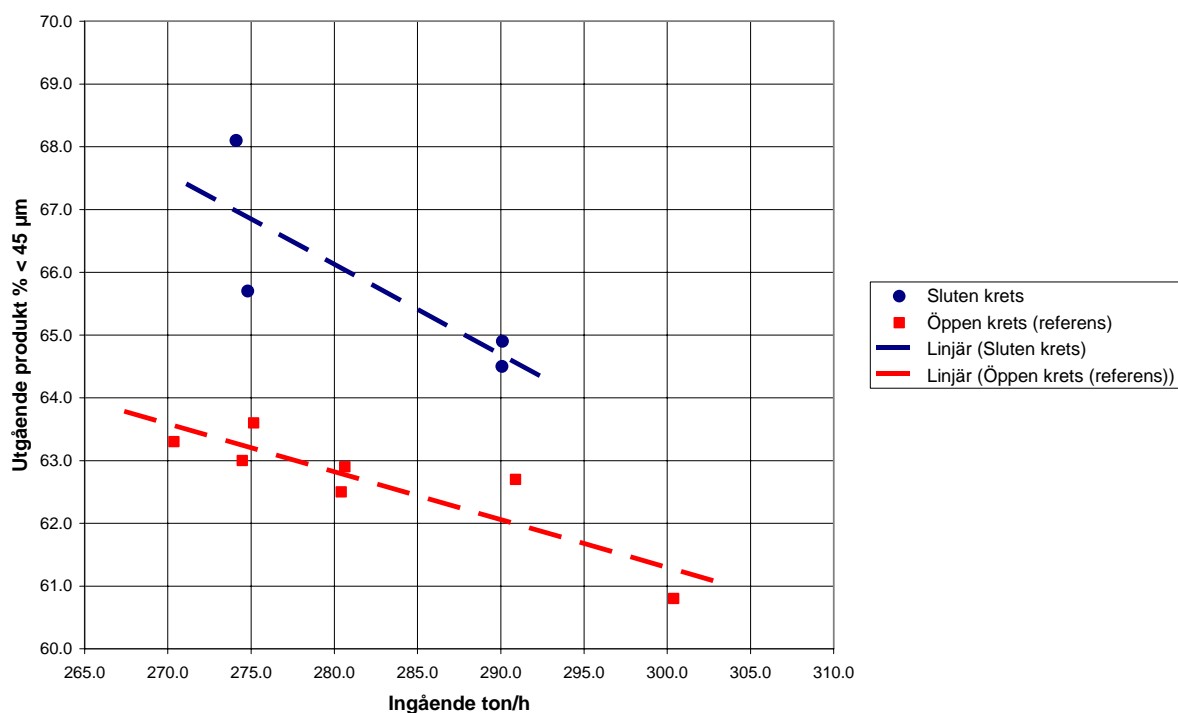
I september 2005 gjordes fyra försök med halvöppen-sluten krets i sekundärsteget. Två 500 mm cykloner av märket Krebs har installerats i kretsen med möjlighet att köra helt sluten krets eller halvöppen-sluten krets. På grund av begränsningar i sekundärkvarn samt kringutrustning har endast försök med halvöppen-sluten krets kunnat genomföras, men ombyggnation pågår för att ta bort de existerande flaskhalsarna och ytterligare försök beräknas kunna ske under våren. Material från försöken med bästa resultat kommer att undersökas med avseende på pelletiseringsegenskaper.

I försöken låg ingående tonnage till sektionen på två olika nivåer, 275 samt 290 ton/h. Två olika storlekar på underlopp, 3.25" samt 3.5" testades tillsammans med ett överlopp på 7.5". Det gjordes även tre större referensförsök samt provtagning av färdig produkt varje morgon innan omkoppling. Försöken var upplagda som kortare tester, sektionen kopplades om till halvöppen-sluten krets, när kretsen var i balans startades provtagningen och efter provtagning var färdig kopplades sektionen om till öppen krets igen. Följande försök skedde nästföljande vardag. Resultaten av dessa försök finns i tabellen nedan tillsammans med tre av referensprovtagningarna i öppen krets.

Tabell 8. Data från experimentella försök

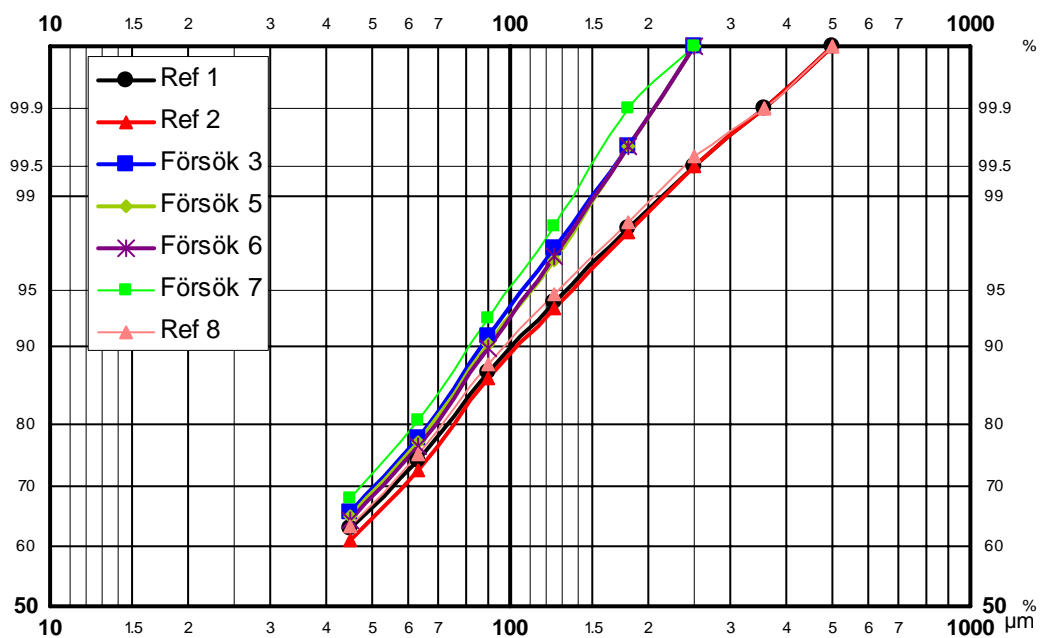
		Referens 1	Referens 2	Försök 3	Försök 5	Försök 6	Försök 7	Referens 8
Ingående tonnage	(ton/h)	275	300	275	290	291	274	270
$d_{80}$	( $\mu\text{m}$ )	73.7	76.4	66.7	68.2	69.1	62.3	71.8
Andel < 45 $\mu\text{m}$	(%)	63.0	60.8	65.7	64.9	64.5	68.1	63.3
Underlopp	(tum)	-	-	3.25	3.25	3.5	3.5	-
Cyklontryck	(kPa)	-	-	70	79	89	103	-
Cirklast	(%)	-	-	127	131	158	176	-

I figur 9 nedan visas procentandelen mindre än 45  $\mu\text{m}$  i färdig anrikningsprodukt, MPC, från alla försök, slutenkrets samt referensprovtagning, som funktion av ingående tonnage. Det är tydligt att cykloneringsförsöken gett en finare slutprodukt.



Figur 9. Andelen <45 μm som funktion av ingående tonnage

Sikt kurvorna av färdig produkt från de olika försöken visas i figur 10. Här syns att det inte bara är fördelningens finsvans som flyttats upp, utan mer väsentligt att cyklonering ger en minskning av grova partiklar – helt enligt simuleringarna.

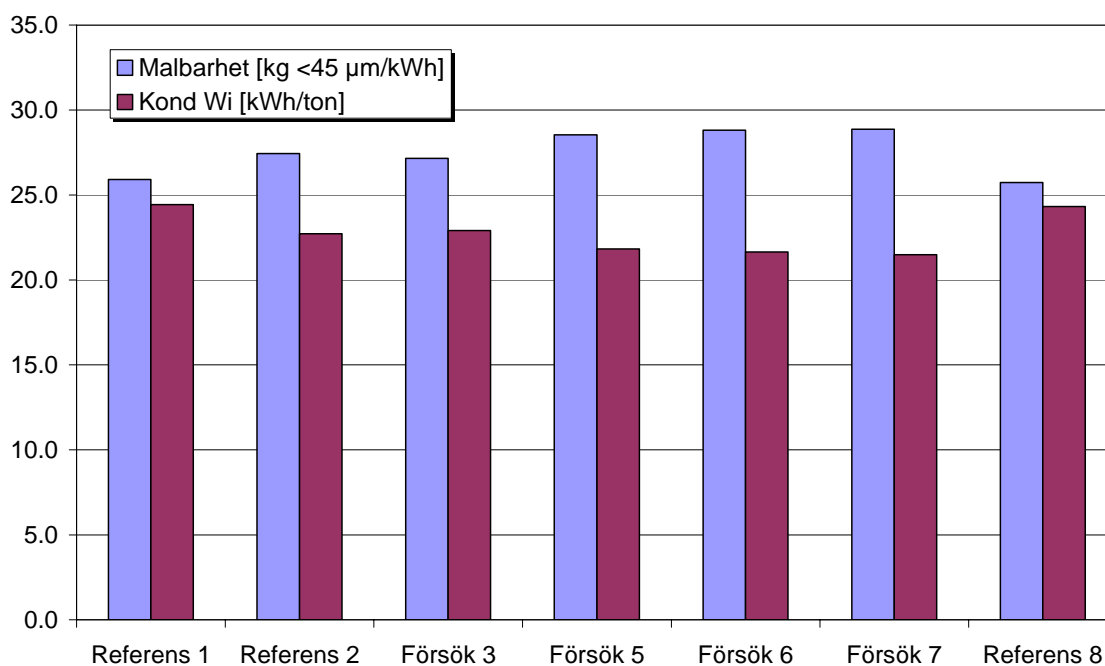


Figur 10. Partikelstorleksfördelning för de experimentella testerna

Vi kan genom att beräkna malbarheten för de olika fallen, visa att malbarheten för cykloneringsförsöken är högre jämfört med referensfallen, se tabell 9 och figur 11. Detta visar sig även i konditionellt arbetsindex.

Tabell 9. Malindex för hela kretsen

Medelvärde	Malbarhet (kg < 45 $\mu$ m/kWh)	Kond $W_i$ (kWh/ton)
Referens	26.4	23.8
Försök	28.3	22.0



Figur 11. Malindex, för hela kretsen, vid respektive test

### Slutsatser

Simuleringarna har gett oss möjlighet att teoretiskt testa ett antal möjliga alternativ. Vi har på ett billigt sätt kunnat ”screena” fram de alternativ, där det är sannolikt att vi får den bästa effekten av en klassering. Dessa verifieras sedan i en testtrigg, som sitter i en producerande kvarnsektion. Den stora vinsten med det här förfaringssättet är att vi slipper problem med uppskalning från pilot till fullstor skala.

Experimentellt visar testerna att de från simuleringarna predikerade ändringarna stämmer. Testerna indikerar att malbarheten förbättras med 7-8 %, vilket kan utnyttjas för att ge ett finare ingående till pelletverket eller till en kapacitetsökning.

De praktiska försöken har visat att vi får problem med genomströmningen i kvarnarna för de stora flöden, som den cirkulerande lasten ger upphov till. Även om vi i simuleringarna såg att vi skulle få uppehållstider kring 3 minuter, så insåg vi inte vilka strömningsmekaniska effekter det innebar. Detta är givetvis en svaghet med simuleringarna, men kanske också lika mycket i tolkningen av simuleringsresultaten.

I det fortsatta simulerings- och verifieringsarbetet kommer vi att testa vad det innebär att enbart ha halvöppen klassering i sekundärsteget. Dessutom kommer det att göras försök med att minska kulstorleken i tertiärsteget till 20 mm. Simuleringar indikerar att dessa åtgärder i kombination skulle ge en kapacitetsökning på ca 15 % vid i stort sett samma nedmalning.

### Referenser

- Anttila, A. och Henriksson, S., 1979. *Energibesparing vid slutenkretsmalning av kulsinterslig*. Intern LKAB-rapport 79-795.
- Berg, M., 1981. *Reducering av alkali i KBF: Skrädningsförsök – mineralogi*. Intern LKAB-rapport 81-804.
- Jirestig, J. och Mickelsson, K-O., 2003. *Uppdragsbeskrivning MPC studie – MODSIM*. Internt LKAB-dokument.
- Tano, K., Pålsson, B., Alatalo, J. och Lindqvist, L., 2006. *The Use of Process Simulation Methodology in Process Design Where Time and Performance is Critical*. In: Proc. 135<sup>th</sup> SME Annual Meeting, March 26-29, St. Louis, MO, USA. Soc. for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., Littleton, Colorado, USA ([www.smenet.org](http://www.smenet.org)).