

# **Flockning och förtjockning i High-Rate-förtjockare – en jämförelse med konventionell förtjockarteknik och lamellsedimentering.**

**Flocculation and thickening in High-Rate thickener – a comparison with conventional and lamella thickening technique.**

Per Östlind

2006

**EXAMENSARBETE**  
**Mineralteknik**  
**Nr: E 3439**



# EXAMENSARBETE, C-nivå

## Berg- och mineralteknik

Program Berg- & Anläggningsteknik, 120 p	Reg nr E 3439	Omfattning 10 p
Namn Per Östlind	Datum 2006-06-06	
Handledare Torsten Ericson	Examinator Torsten Ericson	
Företag/Institution Metso Minerals (Sala) AB	Kontaktperson vid företaget/institutionen Marie-Louise Wallin	
Titel Flockning och förtjockning i High-Rate-förtjockare – en jämförelse med konventionell förtjockarteknik och lamellsedimentering.		
Nyckelord Flockning, förtjockning, sedimentation, lamellförtjockning, konventionellförtjockning, High-Rate förtjockning, HRT, förtjockningstekniker.		

### Sammanfattning

I Metso minerals processlaboratorium i Sala, har kontinuerliga försök gjorts med High-Rate förtjockare i laboratorieskala. Försöken är gjorda för att kunna jämföra tre metoder för förtjockning av suspenderat material. De tre använda teknikerna är High-Rate, konventionell och lamellförtjockningsteknik. High-Rate och de konventionella försöken är baserade på en kontinuerlig metod, medan lamellförtjockningen är baserad på satsförsök.

På grund av att lamellförtjockningstekniken är baserad på satsförsök, samt optimeringsproblem med tillsatspunkt för flockningsmedel vid de kontinuerliga försöken, gick det inte att jämföra lamellförtjockaren med de andra två. Däremot, eftersom optimeringsproblemet var det samma för de andra två metoderna gick det alldeles utmärkt att jämföra dem.

Resultatet av jämförelsen mellan High-Rate förtjockaren och den konventionella förtjockaren, var att High-Rate förtjockaren klarar en betydligt högre ytbelastning vid en lägre konsumtion flockmedel än den konventionella förtjockaren. Ser man till den enhetsarea som behövs för respektive förtjockare ser man tydligt att den konventionella förtjockaren kräver en högre enhetsarea än High-Rate förtjockaren för att uppnå samma TS-halt i underloppet. Det har också framkommit att High-Rate förtjockaren kräver en mindre mängd flockningsmedel till samma TS-halt i inloppsflödet, än den konventionella förtjockaren.



# DEGREE PROJECT

## Mineral Engineering

Programme	Reg number	Extent
Mining- and Construction Engineering	E 3439	15 ECTS
Name of student	Year-Month-Day	
Per Östlind	2006-06-06	
Supervisor	Examiner	
Torsten Ericson	Torsten Ericson	
Company/Department	Supervisor at the Company/Department	
Metso Minerals (Sala) AB	Marie-Louise Wallin	
Title		
Flocculation and thickening in High-Rate thickener – a comparison with conventional and lamella thickening technique.		
Keywords		
Flocculation, thickening, High-Rate thickener, HRT, conventional thickening, lamella thickening, thickening techniques.		

### Summary

In the process laboratory of Metso minerals (Sala) AB, continuous tests have been made with a laboratory unit High-Rate thickener. The tests are made in order to compare three methods of thickening techniques of suspended solids. The three techniques are High-Rate thickening, conventional thickening and lamella thickening. The High-Rate and the conventional trials are based on a continuous method, while the lamella thickener is based on batch trials.

Because the lamella thickener is based on batch trials and there were some optimization problems with the adding point of the flocculant at the continuous trials, it was not feasible to compare the lamella thickener with the other two thickener types. On the other hand, since the optimization problems were the same for the other two methods there was no problem comparing them.

The result of the comparison between the High-Rate thickener and the conventional thickener, was, that the High-Rate thickener manages to work at a higher rise rate with a lower consumption of flocculant than the conventional thickener. Seeing to the unit area that is needed by each thickener it is apparent that the conventional thickener demands a higher unit area than the High-Rate thickener to achieve the same amount of solids in the underflow. It has also been showed that the High-Rate thickener demands a lesser quantity of flocculant at the same amount of suspended solids in the feed than the conventional thickener.

## Förord

Jag vill passa på att tacka min handledare på Metso Minerals (Sala) AB, Marie-Louise Wallin, för att hon på mycket kort tid tog fram ett mycket intressant och berikande examensarbete åt mig. Det har varit oerhört lärorikt och nyttigt att göra de laboratorieförsök som jag har haft privilegiet att göra. Du har varit ett mycket bra stöd och en utomordentlig vägvisare. Du har även gett mig friheten att söka mig fram genom försöken på egen hand.

Jag vill även tacka för Metso Minerals gästfrihet, vad gäller de praktiska detaljerna runt min vistelse i Sala, samt för den arbetsstation jag hade tillgång till i deras processlaboratorium. Jag skänker även en tanke till labbpersonalen, som hjälpt mig med en del prover och svarat på mina konstiga frågor, men som framför allt har fått mig att känna mig välkommen från dag ett.

Ett tack till Torsten Ericson, min handledare och tillika examinator på Bergsskolan är också på sin plats. Även om jag inte utnyttjat honom så mycket så har han funnits i bakgrunden hela tiden, aldrig längre bort än ett telefonsamtal eller ett mail.

Jag vill även rikta ett särskilt tack till Wanja Dunér på Bolidens anrikningsverk i Garpenberg, för hennes genomgång av anrikningsverket och anvisningar om var och hur jag skulle samla in mitt provmaterial.

Tillsist; återigen en stor eloge till Marie-Louise, utan henne hade det aldrig fungerat.

## Innehållsförteckning

1. Inledning.....	1
1.1. Problembeskrivning .....	1
1.2. Syfte.....	1
1.3. Begränsningar.....	1
1.4. Metsos historia .....	2
1.5. Beskrivning av förtjockartekniker.....	3
2. Metod beskrivningar.....	6
2.1. Flockningsförsök (sedimentering).....	6
2.2. Sedimentationsförsök; Hindrad sedimentering (satsförsök) .....	7
2.3. High-Rate Thickener (kontinuerligt test) .....	11
2.4. Konventionellförtjockare (kontinuerligt test).....	17
3. Provmaterial .....	18
4. Försöksupplägg .....	19
4.1. Försöksparametrar och resultat flockningsförsök (satsförsök).....	19
4.2. Försöksparametrar och resultat sedimentationsförsök (satsförsök) .....	20
4.3. Försöksparametrar och resultat High-Rate förtjockare (kontinuerligt test).....	21
4.4. Försöksparametrar och resultat konventionellförtjockare (kontinuerligt test) .....	22
4.5. Försöksparametrar och resultat lamellförtjockare (satsförsök) .....	23
5. Beräkning av förtjockare för 100 ton/h .....	24
5.1. HRT.....	25
5.2. Konventionell .....	26
5.3. Lamella.....	27
6. Diskussion och Slutsatser.....	28
7. Rekommendationer .....	29
8. Referenser.....	30

<b>Bilaga 1</b>	Flödesschema Garpenberg
<b>Bilaga 2</b>	Testresultat

# **1. Inledning**

## **1.1. Problembeskrivning**

Att vid Metso Minerals processlaboratorium i Sala genomföra en serie laborietester i en kontinuerligt arbetande förtjockarutrustning för att kunna göra en jämförelse mellan konventionell förtjockarteknik och High-Rate förtjockarteknik. För att kunna jämföra resultaten från dessa försök, görs även ett standard cylindertest (som satsförsök), för att ta fram en likvärdig förtjockare som använder sig av lamellförtjockarteknik.

## **1.2. Syfte**

Att jämföra High-Rate tekniken med konventionell förtjockare och lamellsedimentering.

## **1.3. Begränsningar**

För att arbetet inte ska skena iväg har endast ett material använts; avfallssanden från Bolidens anrikningsverk i Garpenberg. De variabler som använts har varit; flöde, utspädning av ingående material och dosering av flockmedel.

#### 1.4. Metsos historia

1889 startas företaget Sala Maskinfabrik, som bestod av ett gjuteri, en smedja, ett enkelt plåtslageri samt några bearbetningsmaskiner. Vid den här tiden levererar man merparten av sina produkter till ortens många tegelbruk, traktens bönder samt Sala Silvergruva.

Under andra världskriget påskyndades mineralutvecklingen i Sverige och en mängd gruvor, gamla som nya var i behov av maskiner, vilket ledde till att Sala Maskinfabrik i samarbete med några av de större gruvföretagen började engagera sig alltmer i tillverkningen för gruv- och mineralindustrin. Det produktprogram som byggdes upp kom dels från egen utveckling, men huvudsakligen licenser från framförallt Boliden och LKAB och blev allt mera omfattande. Under 60-talet förvärvades verkstadsföretaget Nyhammars Bruk AB, vilket gjorde att tillverkningskapaciteten ökades kraftigt.

Vid 60-talets slut hade Sala Maskinfabrik sin kanske bredaste och mest varierande produktion. Produktionen omfattade förutom utrustning för mineralindustrin även viss gruvutrustning, bandtransportörer, pumpar samt ett omfattande program för tappväxlar.

I början av 70-talet övergick företaget från privat ägo till Boliden-bolaget, vilket ledde till stora omställningar vad gällde produktprogrammet, gruvutrustningen försvann från programmet och kvar blev enbart utrustning inriktad mot mineralindustrin, några grenar inom företaget knoppades även av och såldes. Det var även under "Bolidenperioden" som Sala Maskinfabrik bytte namn till Sala International, och fick en ny mer internationell inriktning. För att underlätta den internationella expansionen startades ett stort antal dotterbolag och företaget expanderade kraftigt.

1978 tog det så slut på "Bolidenperioden" då Boliden sålde Sala International till det amerikanska företaget Allis Chalmers. Arbetet med att koncentrera produktprogrammet fortsatte och alla delar som inte hade direkt anslutning till mineralindustrin knoppades av. Bandtransportörsdelen såldes till Olle Jonssons Mekaniska i Saladamm och affärsprogrammet för reningsverk såldes till Stockholmsföretaget N A Eie.

Under mitten av 80-talet såldes även Nyhammars Bruk till en lokal företagargrupp. Under detta årtionde fick Sala Internationals ägare, Allis Chalmers, stora problem och försattes i konkurs 1988. Företaget övertogs 1989 av den svenska industrigruppen Trelleborg och härigenom blev Sala International efter tio år i amerikansk ägo åter ett svenskt företag.

Trelleborgs ägarskap varade inte länge, då man 1990 bildade företaget Svedala Industri AB, som börsnoterades samma år. 1992 köpte Svedala den amerikanska industrigruppen Denver Equipment och denna del av företaget slogs samman med Sala International under arbetsnamnet Denver Sala. I november 1995 byter Denver Sala identitet och blir Svedala Pump & Process AB.

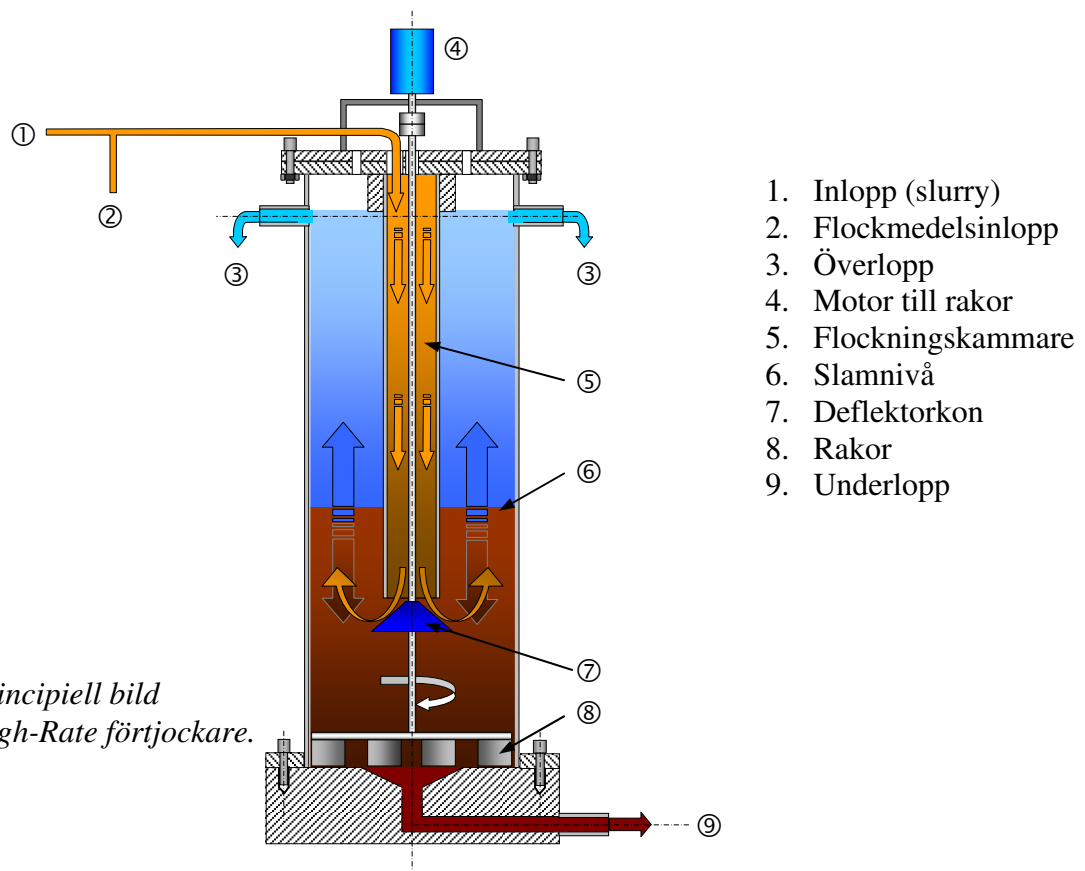
I juni 2000 lade finska Metso med huvudkontor i Helsingfors bud på Svedala koncernen och den 11 september 2001 köper Metso koncernen upp Svedala. Affären krävde konkurrensverkets godkännande i EU och USA, vilket var en långsam process som drog ut på tiden och mynnade ut i att Svedalas affärslinje Krossning & Sortering till slut såldes av till Sandvik, då Metso i Tampere (Finland) har motsvarande tillverkning. Den del av Svedala som blev kvar i Sala går nu under namnet Metso Minerals (Sala) AB. (Modigh S. 2006)

## 1.5. Beskrivning av förtjockartekniker

För att underlätta för läsaren följer en kort beskrivning av vardera av de tre förtjockarteknikerna.

### 1.5.1. High-Rate förtjockare

High-Rate tekniken bygger på att det ingående materialet dels skall blandas med flockmedel för att öka storleken på suspenderade fasta partiklar och dels skall materialet filtreras genom en slambädd. En viktig detalj är djupet som det ingående materialet kommer in i apparaten på, flockningskammarens mynning ligger ca  $\frac{1}{4}$  av apparatens höjd från botten. När förtjockaren startas upp, byggs slambädden upp från botten av förtjockaren, slamnivån tillåts stiga tillräckligt högt för att nå en bra bit över mynningen på flockningskammaren, dock inte så högt att det finns risk för att delar av slambädden kan frigöras och följa med överloppsvattnet ut. Innan slurryn når flockningskammaren blandas den med flockmedel, detta görs för att det ingående flödet skall få så lång tid som möjligt på sig att homogeniseras, dvs. bilda så mycket flockar som möjligt. När det ingående flödet väl når flockningskammaren börjar det sedimentera, det sedimenterar hela vägen ner genom flockningskammaren och träffar där deflektorkonen, som gör att det ingående flockade flödet riktas uppåt, genom slambädden och filtreras på så vis, innan det renade vattnet går ut ur apparaten via överloppet. Partiklarna som fastnar i slambädden sedimenteras långsamt ner till bottern av förtjockaren där rakorna förflyttar det förtjockade materialet mot botten mitt, mot underloppshålet. Det är flödes hastigheten på underloppet som styr slamnivån; om slamnivån är för låg minskas underloppsflödet, vilket gör att slamnivån stiger, likaså om slamnivån är för hög ökas underloppsflödet, vilket leder till att slamnivån sjunker. När slamnivån är stabil och över- och underloppsflödena under kontroll ökas inflödet i apparaturen sakta men säkert och nödvändiga justeringar på underloppet görs succesivt för att bibehålla slamnivån på konstant nivå.

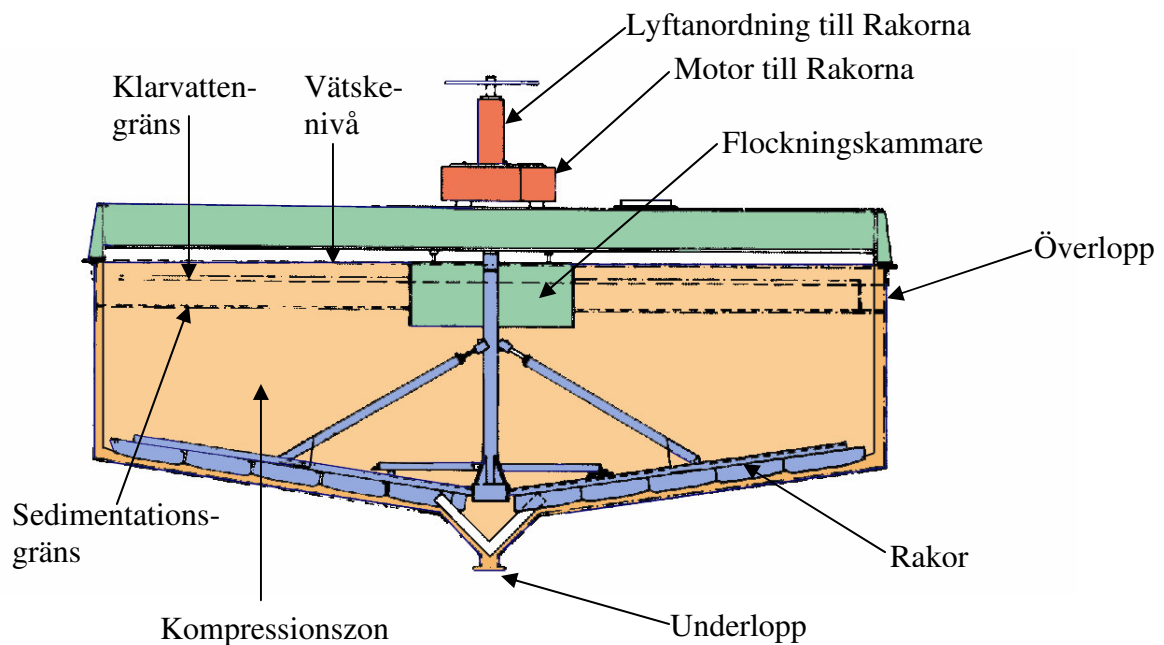


Figur 1. Principiell bild  
High-Rate förtjockare.



### 1.5.2. Konventionell förtjockare

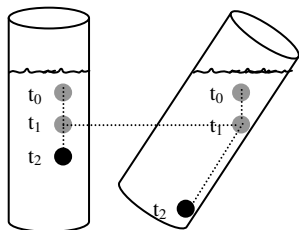
Den inkommande slurryn når flockningskammaren och blandas ev. där med flockmedel, inloppet till flockningskammaren sitter tangiellt för att undvika för mycket turbulens. Detta kan resultera i att ev. flockar bryts sönder, och en trasig flock går inte att reparera. När slurryn så kommit till flockningskammaren börjar sedimentationsprocessen av sig själv, då denna är gravimetrisk. Från flockningskammaren faller sedan de fasta partiklarna ner genom kompressionszonen till botten av den konventionella förtjockaren där rakorna förflyttar det förtjockade materialet mot utloppshålet i mitten. Samtidigt som partiklarna faller neråt tränger de undan vatten (Arkimedes princip) som i sin tur rör sig uppåt, mot överloppet för att rinna ut, eftersom de fasta partiklarna i den inkommande slurryn faller mot botten av förtjockaren blir överloppsvattnet renare än den ingående slurryn. Vid kontinuerliga processer är det frågan om hur väl man kan balansera förhållandet mellan slurrys volymetriska flödes hastighet och diametern på förtjockartanken, som bestämmer hur förtjockat det ingående materialet blir.



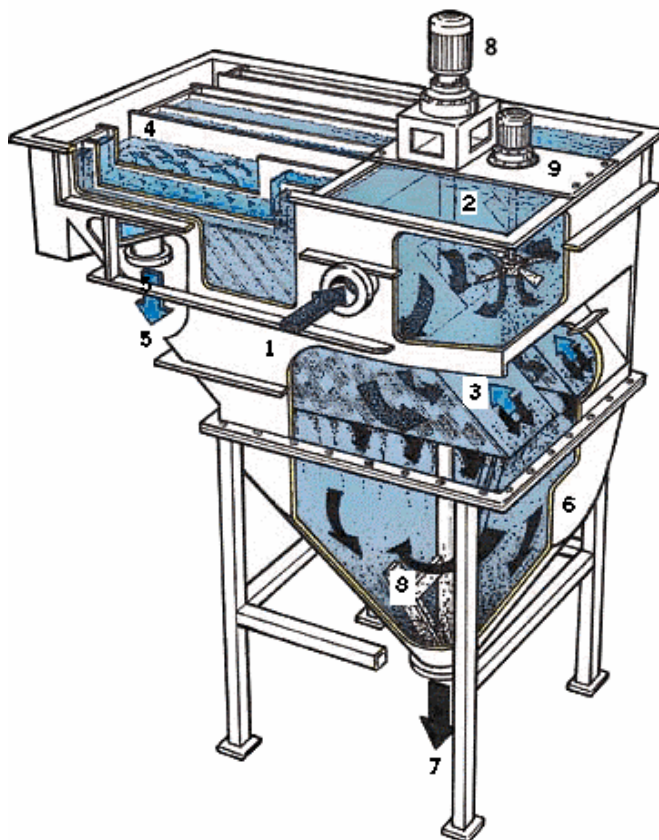
Figur 2. Principiell bild på konventionell förtjockare.

### 1.5.3. Lamellförtjockare

För att beskriva en lamellförtjockare kan man bildligt säga att den enklaste lamellförtjockaren är en konventionell förtjockare som man har lutat  $55^\circ$ , man får då ett nytt förhållande mellan de fasta partiklarna och vätskan de befinner sig i. Genom en kombination av att de fasta partiklarna har en kortare väg att falla genom vätskan och att de sedan glider på ett "friktionsfritt" underlag kan separationstiden förkortas avsevärt (Figur 3). I en lamellförtjockare finns det inte bara en lamellplatta, utan ganska många, ordnade i lamellpaket, som ger stor sammanlagd projicerad area. Den area på en lamellplatta som befinner sig ovanför inloppet räknas som "klarningsarea", det är där klarningen sker i en lamellförtjockare, denna yta kan vara ända upp till 80% av lamellplattans area. Den del av lamellplattan som ligger under inloppet räknas som plattans förtjockande del, denna kan vara upp till 50% av plattans totala area. Lamellförtjockaren kan grovt sagt sägas bestå av en konventionellförtjockare med ett lamellpaket. Fördelen med lamellförtjockaren är dels att den tar mindre plats i förhållande till den konventionella och dels att den optimeras för erforderligt förhållande mellan klarningsyta och förtjockningsyta från fall till fall.



Figur 3. Principen för hur en lamellplatta fungerar.



1. Inlopp
2. Flockningskammare
3. Lamellpaket
4. Överloppsrännor
5. Överloppsutsläpp
6. Förtjockningskammare
7. Underloppsutsläpp
8. Rakor och motor till rakor
9. Flockmedelsomrörare

Figur 4. Principiell bild på en lamellförtjockare.

## 2. Metod beskrivningar

### 2.1. Flockningsförsök (sedimentering)

Målsättningen med ett flockningsförsök är att ta fram en eller flera tillsatskemikalier och att ta fram en optimal dosering av dessa.

Flockning kan åstadkommas på två sätt:

- Reducering av zetapotentialen<sup>1</sup>, genom tillsättning av joner med motsatt laddning, så att attraktionskrafterna överväger i suspensionen (neutralisering av ytladdningar). Detta kallas koagulering.
- Tillsätta långkedjiga polymerer, så att partikelaggregat kan bildas (mekanisk överbrygning). Detta är egentlig flockning.

Dessutom kan en pH-justering upp eller ner påverka flockbildningen på olika sätt.

#### 2.1.1. Utrustning

Flockningsmedel utprovas enklast med hjälp av en laboratorieflockulator, där minst fyra prover kan köras parallellt. Varje bägare (200 ml) har individuell omrörare med variabelt varvtal.

#### 2.1.2. Utförande

Varje bägare fylls med ett representativt prov, omröraren startas på ett varvtal som är tillräckligt högt för att ge god blandning.

När tillsatsen görs, ska omrörningen i bägaren vara så kraftig att kemikalielösningen snabbt blandas in homogent i provet. Efter 5 till 10 sekunder sänks varvtalet på omröraren, så att inte flockar som bildats slås sönder.

Om dubbla kemikalier används tillsätts koagulanten först, den andra tillsätts när man ser att den första kemikalien har givit effekt. Detta kan vara 15 till 30 sek efter det att varvtalet på omröraren sänkts. Varvtalet ökas, kemikalie nummer två tillsätts och efter ytterligare 5 till 10 sekunders inblandning sänks varvtalet för att den slutliga flockbildningen ska kunna ske.

När flockar har bildats, vilket normalt tar mellan 0,5 och 2,0 min, stannas omröraren och partiklarna får sedimentera.

#### 2.1.3. Flockmedel

För att göra stamlösning (0,5%) hålls 1,25g polymerpulver i en torr och ren glaskolv. Polymerpulvret väts med några ml alkohol sedan tillsätts 250ml avjoniserat vatten. Blandningen omröres med magnetomrörare, tills det att den är homogen (minst en timme). Det kan hända att blandningen måste stå och mogna ytterligare ett par timmar efter magnetomrörningen. Stamlösningen är hållbar i några månader.

0,5% stamlösning spädes ut till 0,1% brukslösning med kranvatten och blandas väl. Ny brukslösning bereds vid varje testtillfälle; får inte sparas till nästa dag.

#### 2.1.4. Försöksparametrar

Olika typer av flockmedel, samt när bästa typ av kemikalie eller kombination av kemikalier provats fram skall doseringen optimeras.

---

<sup>1</sup> Zetapotential = den laddning en partikels yta har.

## **2.2. Sedimentationsförsök; Hindrad sedimentering (satsförsök)**

När en slurry innehåller tillräckligt mycket fast material (suspenderat material) för att kunna ge en tydlig gränslinje mellan vätskefas och sediment, används följande testmetod för att bestämma den linjära sättningshastigheten samt enhetsarea för förtjockning.

### **2.2.1. Utrustning**

1000 ml standard glas- eller plastcylinder graderad med mm-skala, klocka, omrörarstav, pipett (minst 50ml), analysvåg (noggrannhet 0,0001g), Imhoffkon.

### **2.2.2. Förberedelser**

Krav på ingående material

- Sedimentationstester får aldrig utföras på material som har torkats!
- Provet skall alltid karakteriseras genom analys av mängden fast material, pH, kornstorleksbestämning och specifik vikt på fast material.

### **2.2.3. Utförande**

#### **2.2.3.1. Sedimentation**

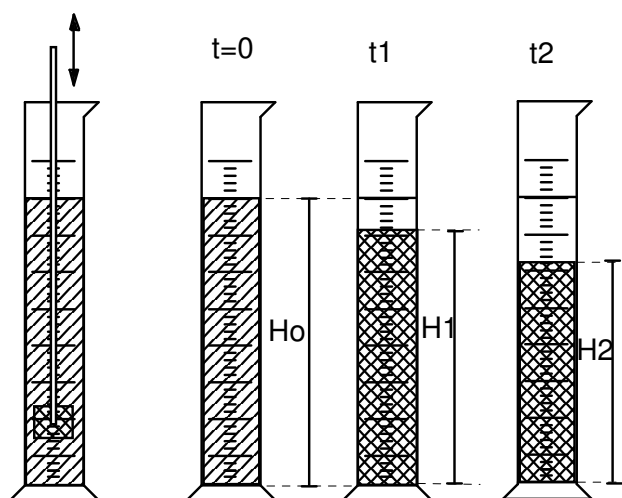
Ett representativt prov av slurryn hålls i cylindern, och höjden noteras ( $H_0$ ), provet blandas sedan noggrant med en omrörarstav. Om flockningsmedel skall användas, tillsätts detta under omrörning när provet är väl homogeniserat.

När provet är tillräckligt blandat lyfts omrörarstaven upp och tidtagningen startas.

Höjden för gränslinjen mellan klarvattenfas och slamfas (Figur 5) noteras tillsammans med tiden för avläsningen i ett protokoll. Om gränslinjen är otydlig kan det underlätta att lysa med en lampa från baksidan av cylindern. Mätningen skall pågå tills dess att sedimentationen i stort sätt har avstannat. Ett slutvärde  $H_t$  avläses efter minst 12h.

Det är framför allt viktigt med täta avläsningar då kurvan böjer av i kompressionszonen (Figur 6), medan den första räta delen av kurvan och den sista i stort sett räta delen inte behöver lika täta avläsningar.

För att bestämma kvaliteten på klarvattnet skall prov sugas upp från klarfasen för analys av mängden suspenderat material (SS). En viss volym (minst 50 ml) av klarfasen sugas upp med pipett, denna volym analyseras med avseende på mängden SS; filtreras genom filterpapper som sedan torkas och vägs. Provet skall tas ovanför slamfasen innan kompressionszonen nås. Tid och höjd för provet noteras i protokollet. Om det är risk för störning av slamfasen vid pipetteringen måste prov för SS-analys tas från separata försök.



Figur 5.

### 2.2.3.2. Imhoffkon

En Imhoffkon fylls med oflockad suspension. Konen vrids ett varv efter ca 1 timme. Efter minst 12 h avläses slamvolymen, och noteras i protokollet.

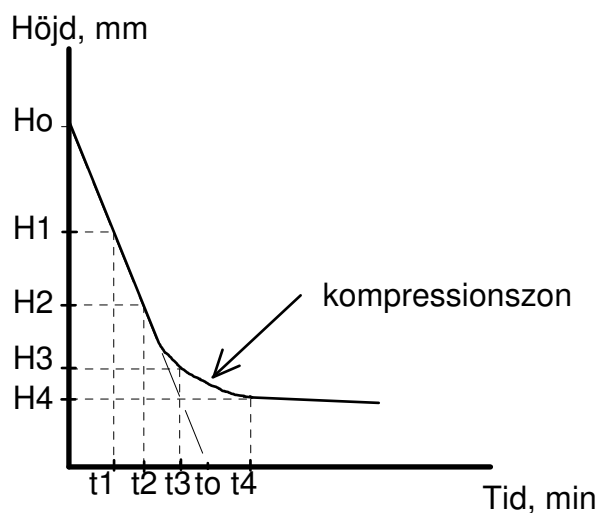
### 2.2.4. Försöksuppläggning

Eventuellt måste halten fast material justeras genom utspädning eller avdekantering. Eventuella kemikalietillsatser bestäms genom inledande flockningstest, om kemikalietillsats krävs för flockning bör minst tre olika doseringar testas.

### 2.2.5. Försöksparametrar

Förutom pH, temp, volym, flockmedel, mängd fast material, värde från Imhoff, pulpdensitet och nivån för pipetteringen, skall det noteras om det förekommer flytprodukter, om flockarna är stabila eller sköra, osv.

Resultatet presenteras som en sedimentationskurva (s.k. höjd-tid-kurva) med slamhöjden som funktion av sedimentationstiden (se Figur 6).



Figur 6.

### 2.2.6. Beräkningar

Lineär sättningshastighet,  $v$  (m/h), beräknas från lutningen på sedimentationskurvas inledning med hjälp av formeln:

$$v = \frac{H_0 * 60}{t_0},$$

där  $H_0$  = slurriprovets initiala höjd i mätcyldern (m) och  
 $t_0$  = där förlängningen av sedimentationskurvas inledning skär x-axeln (min), se Figur 6.

Enhetsarean för kompression beräknas från kurvans böj enligt t.ex. Oltmanns metod, se nedan.

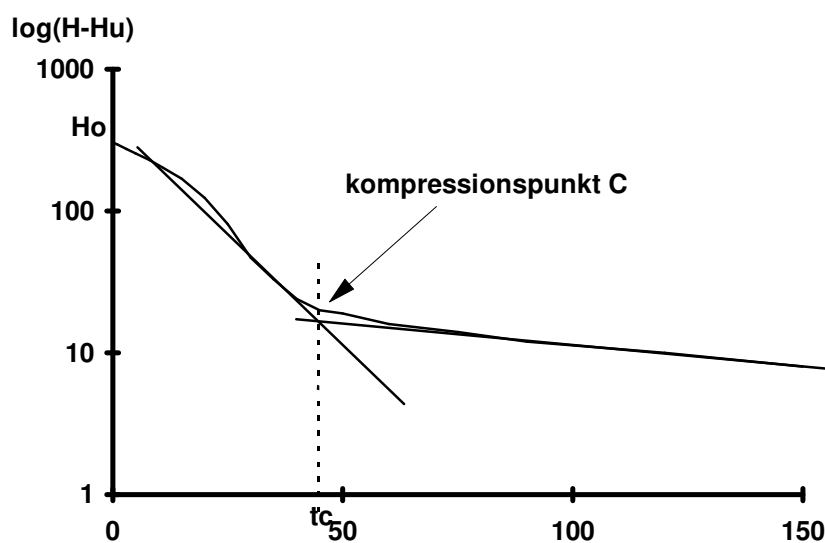
Den maximala koncentrationen av fast gods i förtjockat slam (underloppet),  $C_u$  (g/l), beräknas enligt sambandet:

$$C_u = C_0 * \frac{H_0}{H_u},$$

där  $C_0$  = mängd gods i ingående prov (g/l) och  
 $H_u$  = slamhöjden efter ett dygn (m).

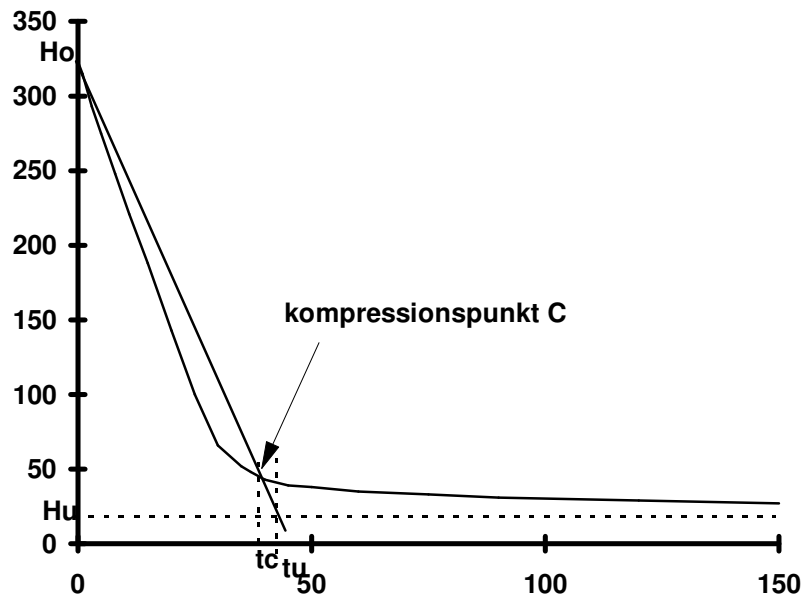
### 2.2.7. Oltmanns metod för bestämning av enhetsarea för kompression $A_u$ .

1. Bestäm kompressionspunktens läge  $C$  i höjd-tid-kurvan. Det kan underlätta om diagrammet ritas med  $\log(H-H_u)$  som funktion av  $t$  (s.k. "Roberts plot"), se Figur 7.



Figur 7.

2. Drag en linje genom  $H_u$  parallellt med tidsaxeln i höjd-tid diagrammet, Figur 8.



Figur 8.

3. Drag en linje från  $H_0$  genom C som korsar  $H_u$ -linjen. Läs av  $t_u$  i skärningspunkten, Figur 8.
4. Beräkna enhetsarean  $A_u$  ( $m^2/t/h$ ) enligt formeln:

$$A_u = \frac{\frac{t_u}{60}}{H_0 * C_0} * 1000,$$

- där  $H_0$  = slurryprovets initiala höjd i mätcyllindern (m),  
 $C_0$  = innehållet fast material i ingående pulp (g/l) och  
 $t_u$  = skärningspunkten med  $H_u$  (min)

## 2.3. High-Rate Thickener (kontinuerligt test)

Den kontinuerligt arbetande förtjockaren har en diameter på ca 150mm, den är ungefär 600mm hög och består av en plexiglas-cylinder och ett lock, kroppen och locket monteras ihop med bultar. I locket sitter även flockningskammaren och motorn till rakorna fast, se Figur 1 och Figur 9 för visualisering.

### 2.3.1. Utrustning

Slangpumpar (3st), laboriemodell av High-Rate förtjockare (HRT), slangar, omrörare, en hink (ca: 10L), två mindre tunnor (ca: 30 och 40L), klocka, flockmedel, mätcylindrar, analysvåg (noggrannhet 0,0001g).

### 2.3.2. Förberedelser

Förutom standardtesterna; pH, temperatur, siktanalys, pulpdensitet och TS-halt, görs även flocknings- och sedimentationsförsök för att kontrollera vilket flockmedel som skall användas och vilken uppströmshastighet (ytbelastning) som försöket skall startas vid.

Flockmedlet som används späds vanligen ut från 0,5%-ig stamlösning, till en brukslösning på 0,05% dvs. 1ml 0,5%-ig lösning späds med 9ml vatten. Utspädda flockmedel får inte sparas från en dag till annan.

Kontrollera slurryns densitet och om det behövs, späd ut/dekantera till rätt densitet erhålls, korriger vid behov pH och temperatur. Kontrollera pH-värdet under försöket och rätta till det om det behövs.

För att konvertera ytbelastningen ( $\text{m}^3/\text{m}^2, \text{h}$ ) till ett ingående flöde (ml/min) kan man använda följande formel:

$$\text{ml/min} = \frac{X * \pi r^2 * 1\,000\,000}{60} \quad (1)$$

där  $X$  = önskad ytbelastning i fullskala och  
 $r$  = radien på HRT:n mätt i meter.



Det ingående flödet kan även beräknas med hjälp av önskat fastmaterial i ingående slurry, enligt följande:

$$\text{ml/min} = \frac{Y * \pi r^2 * 1\,000\,000}{60 * \epsilon_{\text{Vikt}} * \rho_{\text{Slurry}}} \quad (2)$$

alternativt

$$\text{ml/min} = \frac{Y * \pi r^2 * 1\,000\,000}{60 * \epsilon_{\text{Vol}} * \rho_{\text{Fast}}} \quad (3)$$

där  $Y$  = önskad mängd fastmaterial i ingående flöde för en produktions förtjockare ( $\text{TPH}_{\text{fast}}/\text{m}^2/\text{h}$ )  
 $r$  = radien på laboratorie HRT:n mätt i meter  
 $\epsilon_{\text{Vikt}}$  = Vikt-% fastmaterial i ingående flöde (decimalform)  
 $\rho_{\text{Slurry}}$  = Slurryns densitet  
 $\epsilon_{\text{Vol}}$  = Volym-% fastmaterial i ingående flöde (decimalform)  
 $\rho_{\text{Fast}}$  = Det fasta materialets densitet.

Eftersom slangpumparnas hastighet är baserad på % av rpm, krävs att man kontrollerar hur många ml/min de kan pumpa vid en viss % av rpm, för att sedan kunna räkna ut vilken %-sats som skall användas vid testerna. Detta kan göras med ett enkelt samband:

$$\frac{K_{\text{ml/min}}}{K_{\% \text{ av rpm}}} = \frac{U_{\text{ml/min}}}{S_{\% \text{ av rpm}}} \quad (4)$$

där  $K$  står för Känd,  
 $U$  står för Uträknad och  
 $S$  står för Sökt.

Kännedom om de ”Kända” – värdena i sambandet ovan fås enklast genom att slå på pumpen i fråga och pumpa vätska från en hink el. dyl. till en mätcylinder. Efter en minut avläses volymen i mätcylindern. Observera att slangarna skall vara fyllda med vätska när tiden startas, så en god idé kan vara att köra pumpen en stund innan, dels för att fylla slangarna men också för att få bort ev. luftbubblor i dem. Det här förfarandet fungerar för inflödespumpen och underloppspumpen.

Underloppspumpens pumpningshastighet är i och för sig av ringa intresse eftersom den enbart skall pumpa ut förtjockat material ur testutrustningen i lagom takt för att slamnivån skall hållas konstant, så dess flödeshastighet ställs in efterhand.

Flockmedelslösningpumpen, kommer med största sannolikhet att pumpa väldigt låga flöden och då är det enklare att fylla upp 100ml vätska i en mätcylinder, stoppa ner pumpens inmatningsslang och notera volymen ( $V_1$ ) i mätcylindern. När volymen är noterad körs flockmedelspumpen i en minut därefter läses volymen ( $V_2$ ) av. Skillnaden mellan  $V_1$  och  $V_2$  blir då ml/min för given % av rpm för flockmedelspumpen.

För att konvertera flockmedelsdoseringen från g/ton till ml/min används följande formel:

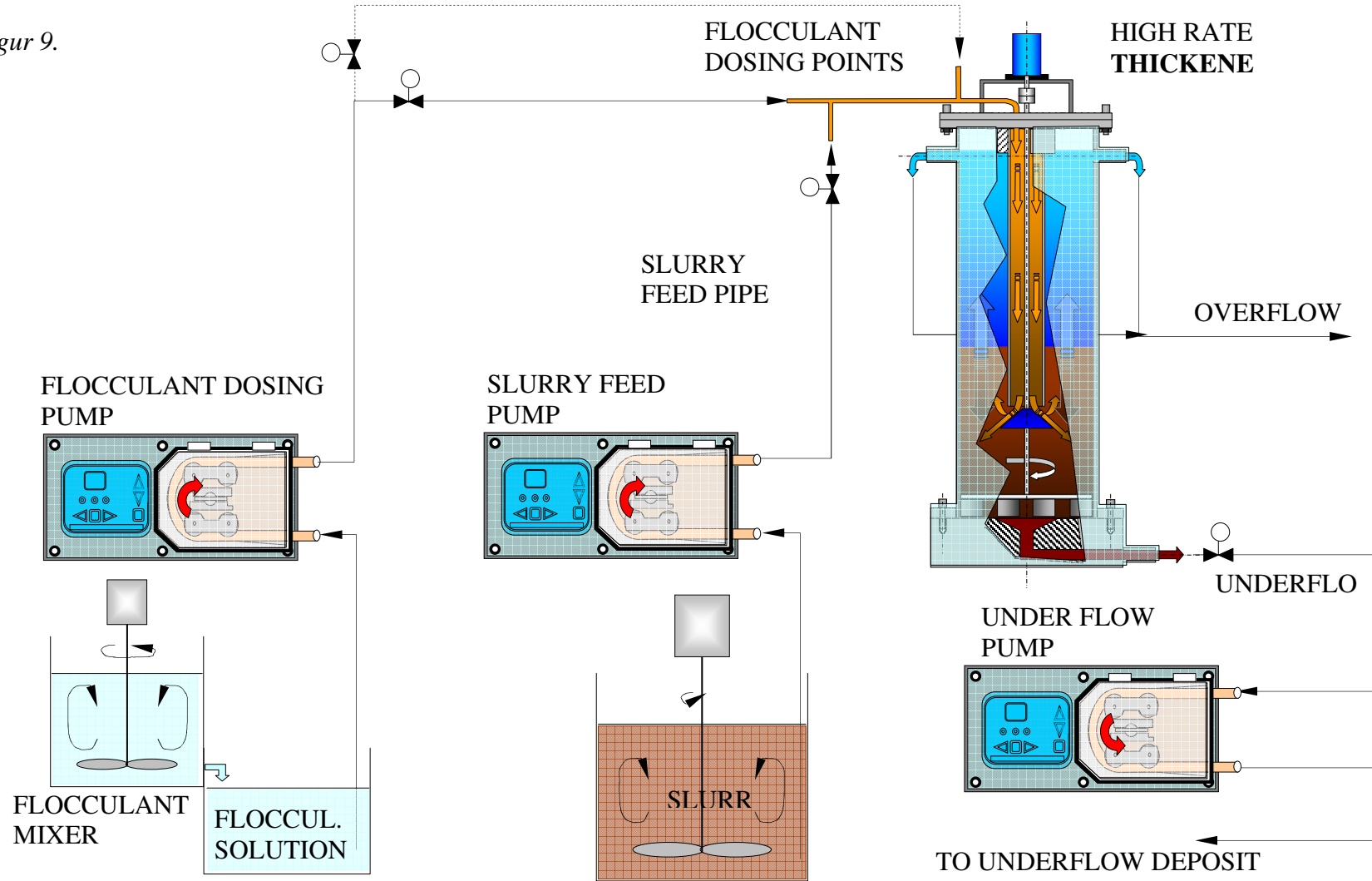
$$\text{ml/min} = \frac{Z * P * \epsilon_{\text{Vikt}} * \rho_{\text{Slurry}}}{F_{\%} * 1\,000\,000} \quad (5)$$

där  $Z$  = önskad mängd flockmedel (g/ton)  
 $P$  = mängd ingående slurry (ml/min)  
 $\epsilon_{\text{vikt}}$  = Vikt-% fastmaterial i slurryn (decimalform)  
 $\rho_{\text{Slurry}}$  = Slurryns densitet  
 $F_{\%}$  = Flockmedelslösningens koncentration (decimalform)

Flockmedelslösningen kan tillsättas i inflödet eller direkt i flockningskammaren. Det blir i regel en bättre inblandning av flockmedlet om det tillsätts direkt i inflödet. Man kan naturligtvis ha mer än en inmatningspunkt i inflödet om man vill det. För de flesta testutrustningar har man en inblandning i inflödet och samtidigt eventuellt en inblandning direkt i flockningskammaren. Använder man flera inflöden av flockmedelslösning ska de ha samma koncentration.

Kontrollera att alla slangar är rena invändigt. Sätt ihop slangarna med pumparna och koppla sedan ihop dem med HRT:n enligt Figur 9 på nästa sida.

Figur 9.



### 2.3.3. Utförande

Börja med att starta rakorna, starta sedan flockmedelpumpen och när dess slangar är fyllda med flockmedel startas inflödespumpen. För att undvika att underloppet täpps igen pga. överflockning körs även underloppspumpen en stund vid uppstartning, ungefär 30sek, tills man kan observera att ett homogent flockat material kommer ut ur HRT:n underlopp.

Stäng av underloppet och tag tid på hur lång tid det tar att fylla HRT:n upp till nivå 150mm ovan inloppet. Detta ger slambäddens ungefärliga homogeniseringstid. Överloppsprov kan tas från och med det att slambäddsnivån har passerat inloppet.

När slambädden nått till ungefär 150mm ovan inloppet startas underloppspumpen igen. Underloppspumpens flödes hastighet ställs in så att en konstant slamnivå i HRT:n hålls. Slamnivån skall hållas på en nivå som ligger ovanför inloppet, eftersom hela iden med HRT:n är att det ingående materialet skall filtreras genom den egna slambädden. När slamnivån är stabil ges slambädden tid att homogeniseras. När slambädden är homogen tas, med hjälp av mätcylindrar i lämpliga storlekar, tidsbestämda (30-60sek) prov på över- och underlopp, proven skall tas samtidigt. Vid varje provtillfälle noteras följande:

- Provnummer
- Provtid (min)
- Vikt-% fastmaterial i ingående flöde (%).
- Flockmedelslösningens dosering (ml/min)
- Flockmedelslösningens koncentration (%)
- Överloppsprovets volym (ml)
- Mängd suspenderat material i överloppet (mg/l)
- Underloppsprovets volym (ml)
- Underloppsprovets vikt (g)
- Underloppets TS-halt (%), analyserad

Med hjälp av dessa parametrar och formlerna som står under stycket ”förberedelser” räknas värden ut på följande parametrar (II – VI representerar fullskala):

- Ingående flöde (ml/min)
- Ytbelastningen ( $m^3/m^2, h$ )
- Vikt-% fastmaterial i underloppet (%)
- Mängd fastmaterial i ingående flöde ( $ton/h/m^2$ )
- Enhetsarea ( $m^2 (ton/h)$ )
- Flockmedelskoncentration (g/ton)

För att ta fram suspenderat material i överloppet används filterpapper med 1,2 $\mu$ m porer. Väg ett torrt filterpapper, notera vikten, filtrera sedan en känd volym av överloppsvattnet genom filterpappret, ju större volym desto bättre, inom rimliga proportioner. Är överloppsvattnet väldigt grumligt, ta en liten volym att filtrera, börja med 10ml och arbeta uppåt. Efter filtreringen ska filterpappret med material torkas i 100°C i minst 30min. Väg det torkade provet och subtrahera vikten av filterpappret för att få vikten på det torkade materialet (analysvåg krävs). Räkna ut mängden suspenderat material i mg/l.

### **2.3.4. Tips vid körning av HRT:n**

Om flockarna inte bildas som de ska beror det oftast på en av tre saker, nämligen; flockmedel och slurry hinner inte blandas ihop ordentligt, det är för mycket turbulens i slangar/flockningskammaren, så flockarna slås sönder eller att fel flockningsmedel används.

Sammanblandningen av flockmedel och slurry kan ökas genom att tillsätta mindre mängd flockmedel på fler ställen i ingångflödesslangen. Om flockmedlet verkar blanda sig dåligt på grund av att det är för trögflytande, späda ut det till en lägre koncentration och öka dess inflöde; total mängd flockmedel före och efter utspädning skall förbli den samma. Vid låga hastigheter på flockmedelpumpen, kan man minska på slangdiametern vilket leder till att samma flockmedels mängd kan pumpas med högre hastighet, vilket ger bättre inblandning.

Vid låga mängder fastmaterial i slurryn kan flockningen hjälpas av att man återför en del av underloppet till slamtanken, för att hjälpa till att bygga upp en slambädd.

Om det av någon anledning skulle vara så att mynningen på flockningskammaren täpps till, kan man täppa till hålen ovanpå kammaren så att ett tryck byggs upp i densamma, vilket kan få blockeringen att släppa.

Om rakorna snurrar för fort kan de slå sönder flockarna och om de snurrar för långsamt finns risken att flockarna klumpar ihop sig på botten, vilket kan resultera i orealistiska värden på underloppet. Lagom är bäst och i det här fallet är lagom ungefär fyra varv per minut.

Om mängden fast material överstigen 20 vikt-%, bör en sk. ”optimal densitets test” göras dvs. slurryn späds ut, till mellan 5-15 vikt-% fast gods, för att se om en lägre TS-halt ger en effektivare flockning samt hur det påverkar mängden flockmedel som åtgår.

Om det ingående flödet innehåller maximalt 1 vikt-% fastmaterial, kan underflödet recirkuleras med hjälp av T-koppling för att öka mängden fastmaterial i systemet. Det återkopplade underflödet sätts med fördel in innan flockmedlet tillsätts, så att de nya flockarna har ett frö att börja på, vilket leder till större flockar.

### **2.3.5. Försöksupplägg**

Eventuellt måste halten fast material i slurryn justeras genom utspädning eller avdekantering. Eventuella kemikalietillsatser bestäms genom inledande flockningstest, minst tre olika doseringar bör alltid testas, om kemikalietillsats krävs för flockning.

Det här är ett kontinuerligt försök, vilket betyder att när provtagning på över- och underlopp är avklarade ändras den parameter man är intresserad av och nödvändiga inställningar görs för att hålla slamnivån stabil, efter det ges slambädden tid att homogeniseras och därefter tas nya prov på över- och underlopp osv.

### **2.3.6. Försöksparametrar**

Förutom uppgifter listade under ”2.3.3 utförande” skall slamnivån, rakornas hastighet, förekomst av flytprodukter, om flockarna är stabila eller sköra osv. noteras.

Resultaten från försöken redovisas i form av diagram som beskriver ett eller flera av följande samband:

- Flockmedelskoncentration (g/ton) som funktion av ytbelastningen ( $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ )
- Enhetsarean ( $\text{m}^2$  (ton/h)) som funktion av vikt-% fastmaterial i underloppet
- Mängd fastmaterial i ingående flöde ( $\text{ton}/\text{h}/\text{m}^2$ ) som funktion av ytbelastningen ( $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ )

## **2.4. Konventionellförtjockare (kontinuerligt test)**

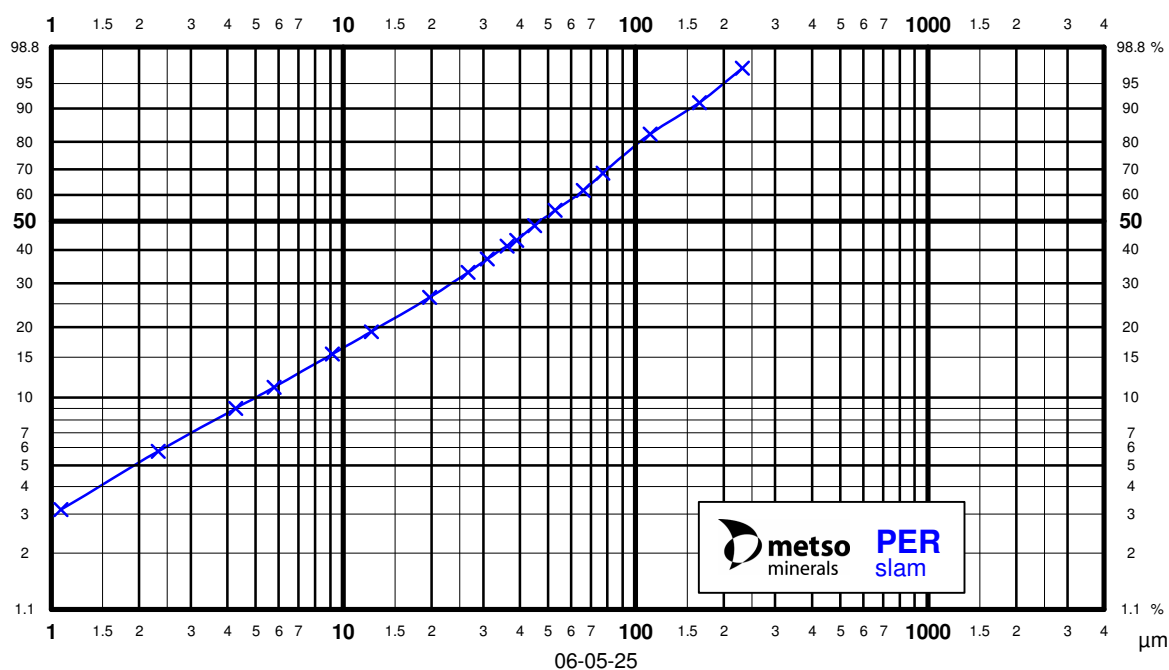
Eftersom testet för att simulera en konventionellförtjockare kördes i HRT utrustningen är försöksmetoderna och utförandet likadana för dessa båda förtjockartyper, så när som på en mycket viktig punkt, när HRT utrustningen körs som konventionellförtjockare måste slamnivån hållas under inmatningsnivån, annars fungerar den inte som en konventionellförtjockare.

### 3. Provmaterial

Det råmaterial, slurryn, som använts till laboratorieförsöken kommer från avfallsflödet vid Bolidens anläggning i Garpenberg. En liten del av avfallsflödet i Garpenberg går via en pulpröntgen, som kontinuerligt avläser avfallets innehåll. Pulpröntgenanalysen av provmaterialet visas i Tabell 1. Slurryprovet är inhämtat på plats och då efter själva pulpröntgen (se Bilaga 1), detta för att få ett representativt prov på hela avfallsflödet och ett mer lätt hanterligt flöde att hinka upp provmaterial från. Slurryn innehöll 33,9 vikt-% fast material och godsdensiteten var  $2,89\text{g/cm}^3$ , uppmätt med gaspyknometer. Partikelstorleksfördelningen av det fasta materialet bestämdes med hjälp av mekanisk siktning (ned till  $38\mu\text{m}$ ) och med laserdiffraktion (för fraktioner  $< 63\mu\text{m}$ ). Dessa två storleksfördelningar slogs sedan samman till en kurva, där laserdiffraktionskurvan anpassats till siktkurvan med hjälp av en formfaktor. Den sammanslagna siktkurvan visas i Figur 10. 95% passerade  $199\mu\text{m}$ , 80% passerade  $104\mu\text{m}$ , 50% passerade  $47,2\mu\text{m}$ , 48,8% passerade  $45\mu\text{m}$ , 22% var finare än  $15\mu\text{m}$  och de största partiklarna var mindre än  $495\mu\text{m}$ .

Tabell 1. Elementinnehåll förutom gråberg<sup>1</sup>

Ag (g/t)	Cu (%)	Zn (%)	Pb (%)	Fe (%)	Mn (%)
16,53	0,01	0,27	0,22	5,44	0,80



Figur 10. Partikelstorleksfördelning; provmaterial

<sup>1</sup> Medelvärde av de avläsningar pulpröntgen gjorde under den tid då provmaterialet insamlades (Dunér W. (2006)).

## 4. Försöksupplägg

Inledande försök gjordes för att ta fram ett lämpligt flockmedel och för att bestämma sedimentationshastigheten för provmaterialet. Resultaten från de försöken användes som underlag i HRT försöken. Ett försök gjordes där HRT apparaturen användes som konventionellförtjockare, dvs. slamnivån hölls under inloppsnivån. Slutligen gjordes ett sats-sedimentationsförsök, för att ta fram underlagsdata till dimensionering av en lamellförtjockare.

### 4.1. Försöksparametrar och resultat flockningsförsök (satsförsök)

Försöket utfördes enligt metodbeskrivning 3.1. Provmaterialets TS-halt var 33,9% och godsdensiteten 2,89g/cm<sup>3</sup>. Tre flockningsmedel provades, MagnaFloc 155, MagnaFloc 156 och MagnaFloc 338. Vid försöket tillsattes under omrörning 5g/t (motsvarande 5ml/l) av flockmedlen i varsin provbägare, utan synbart resultat, dvs. det var ingen skillnad i de olika provbägarnas klarvattenfas, så ytterligare 5g/t flockmedel tillsattes i varje provbägare, resultatet redovisas i Tabell 2.

*Tabell 2.*

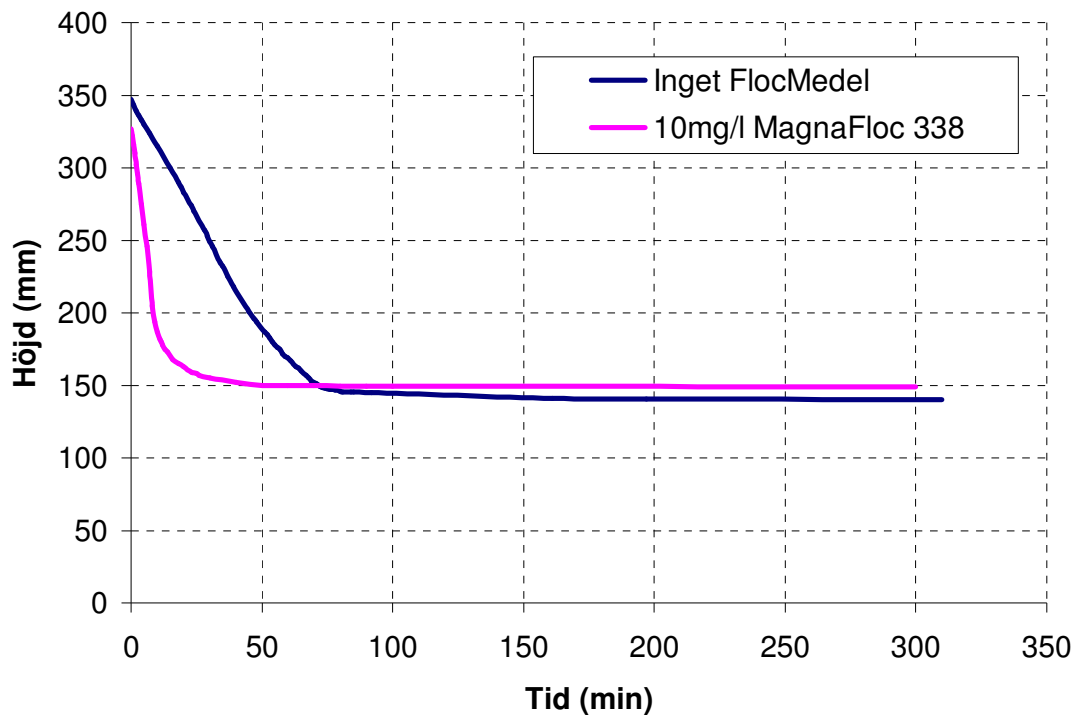
Flockmedel	Siktbarhet i klarvattenfas (1 = bäst, 4 = sämst)
Inget	4
MagnaFloc 155	3
MagnaFloc 156	2
MagnaFloc 338	1

MagnaFloc 338 var således det flockmedel som passade bäst för provmaterialet, och tillika det som kommer att användas vid fortsatta försök. För att kontrollera varför detta utfall inte visade sig vid den första tillsatsen av flockmedel spädde ett rent prov ut till halva TS-halten (17%) och 5ml/l MagnaFloc 338, dvs. 10g/t, tillsattes under omrörning, resultatet blev detsamma som för 10g/t vid TS-halten 33,9%. I båda fallen doserades samma mängd flockningsmedlet i g/t, och mängden flockningsmedel som skall tillsättas bestäms alltså i detta fall av hur stor den sammanlagda ytan är hos de fasta partiklarna i slurryn. Vid 17vikt-% fast krävs 5ml/l, dubblar man mängden fast material, krävs således också dubbelt så mycket flockningsmedel (volymmässigt sett).



## 4.2. Försöksparametrar och resultat sedimentationsförsök (satsförsök)

För att ta bestämma sjunkhastighet för provmaterialet utfördes ett standardsedimentationstest (se metodbeskrivning 3.2). Materialet hade vid försöket TS-halten 33,9% och godsdensiteten  $2,89\text{g/cm}^3$ . Försöket genomfördes dels med ett rent material och dels med tillsättning av  $10\text{g/t}$  (motsvarande  $10\text{ml/l}$ ) MagnaFloc 338 se höjd-tid kurva nedan (Figur 11). Försöket resulterade i sjunkhastigheten  $0,17\text{m/h}$  för det rena materialet och  $0,89\text{m/h}$  för materialet med tillsatt floccningsmedel.  $H_u$  värdena efter 24h var  $140\text{mm}$  för det rena materialet respektive  $149\text{mm}$  för det flockade materialet. Flockarna binder en del vatten till sig, det är därför det flockade provet tar upp en större volym än det oflockade.



Figur 11.

### 4.3. Försöksparametrar och resultat High-Rate förtjockare (kontinuerligt test)

Eftersom HRT tekniken kräver att flockmedel tillsätts, användes sjunkhastigheten 0,89m/h som utgångsvärde vid dessa försök. För att kunna räkna fram ingående flöde och flockmedelskonsumtion användes ovanstående sjunkhastighet som grund värde för ytbelastningen. Konverteringen från ytbelastning ( $m^3/m^2, h$ ) till ingående flöde (ml/min) gjordes enligt formel (1) och flockmedelskonsumtionen enligt formel (5) i metodbeskrivningen (2.3.2).

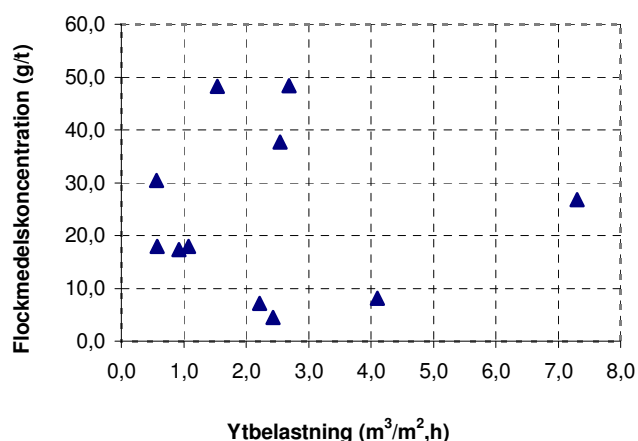
Slamnivån hölls konstant på en nivå 150mm ovan mynningen på flockningskammaren. Flödet till förtjockaren varierades mellan 100-1870ml/min, flockmedelskoncentrationen låg mellan 4,5-68,5g/ton. Utspädningen, variationen i ingående flöde, låg mellan 10-24vikt-% fast material, flest försök kördes vid 18-22vikt-% fast material. Ytbelastningen kunde i det bästa fallet ökas från 0,89 till  $4,1m^3/m^2, h$  vid en flockmedelsdosering under 10g/t. Den maximala TS-halten som uppmättes i underloppet innehöll 75,1vikt-% fast material. I Tabell 3 redovisas en del av resultaten, För fullständiga försöksdata se Bilaga2.

I Figur 12 visas sambanden mellan flockmedelsåtgång som funktion av ytbelastningen och i Figur 13 visas enhetsarean som funktion av underloppets TS-halt. Dessa diagram skall senare användas för att ta reda på vilket av HRT försöken som skall användas vid jämförelsen mellan de olika metoderna.

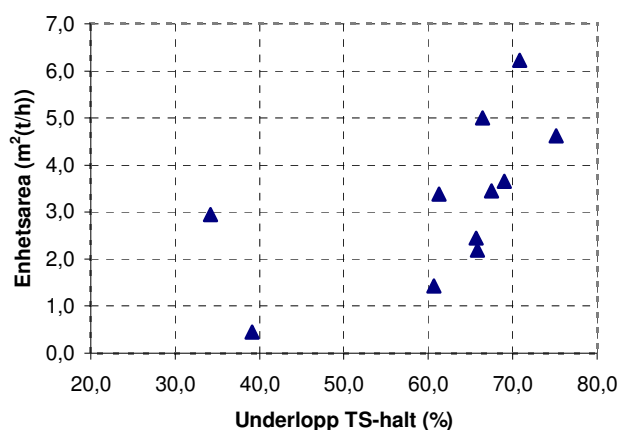
Tabell 3. Provresultat med ingående TS-halt 18-24% i ingående flöde.

Provnr	XJ05:1	XJ06:1	XJ06:2	XJ07:1	XJ07:2	XJ07:3	XJ07:4	XJ08:1	XJ10:1	XJ10:2	XJ10:3
Ingående flöde (ml/min)	570	623	1052	143	395	690	651	147	276	235	1873
Flockmedelskoncentration (g/t)	7,1	4,5	8,1	30,4	48,2	48,4	37,7	17,9	18	17,3	26,8
Vikt-% fast i ingående (%)	18,2	21,7	21,7	23,6	23,7	23,3	23,3	18,17	21	21	21
Ytbelastning ( $m^3/m^2, h$ )	2,22	2,43	4,1	0,56	1,54	2,69	2,54	0,57	1,08	0,92	7,3
Vikt-% fast i underlopp (%)	61,3	66,44	34,21	75,12	68,97	65,68	60,64	67,49	70,81	65,83	39,11

Av de provresultat som redovisas i Tabell 3 har som synes XJ 6:2 och XJ 10:3 de lägsta halterna fast material i underloppet, det beror på att det även är de två som har högst genomströmning av material i laboratorieutrustningen. I verkligheten bör även dessa klara en betydligt högre förtjockning då slamtrycket i en fullskaligutrustning är betydligt högre än i labbskala.



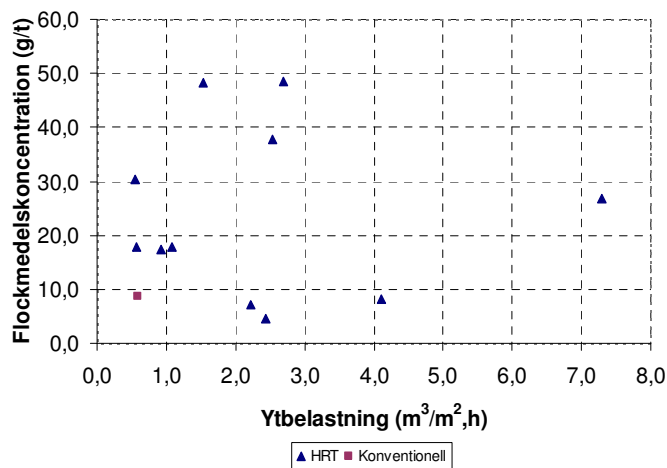
Figur 12.



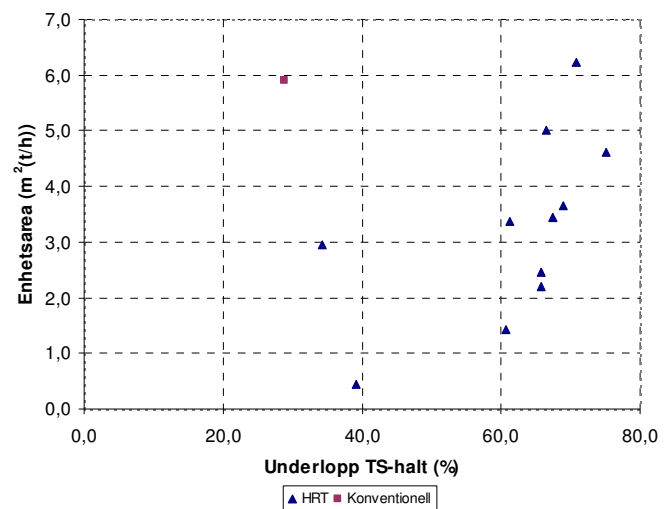
Figur 13.

#### 4.4. Försöksparametrar och resultat konventionellförtjockare (kontinuerligt test)

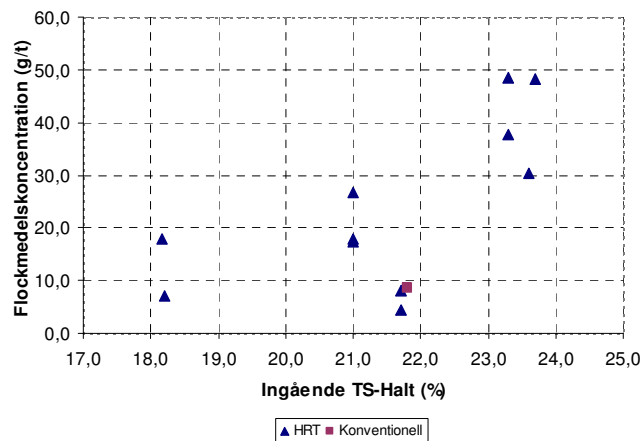
För att simulera en konventionell förtjockare användes HRT apparaturen, men slamnivån hölls under inlopps-nivån. Det gjordes bara ett försök, provnummer XJ11:1 i Bilaga2, det ingående materialet bestod till 21,8vikt-% av fast material. Eftersom slamnivån skulle hållas under inloppet, blev inflödet i testutrustningen inte högre än 152ml/min. Flockmedelsåtgången uppgick i försöket till 8,6 g/t. Hela 77,6% av inflödet i testutrustningen passerade ut genom underloppet för att slambädden inte skulle kunna nå över mynningen på flockningskammaren utan hållas på en konstant nivå under denna. Detta resulterade i en väldigt låg grad av förtjockning, det var endast 28,9vikt-% fast material i underflödet. I en fullskalig konventionell förtjockare kan underflödet förtjockas upp till 60-65vikt-% fast material, då den har ett flera meter tjockt slamlager i botten, men detta gick tyvärr inte att simulera i HRT utrustningen. I Figur 14,15 och 16 är den konventionella förtjockaren plottad tillsammans med High-Rate förtjockaren.



Figur 14.



Figur 15.

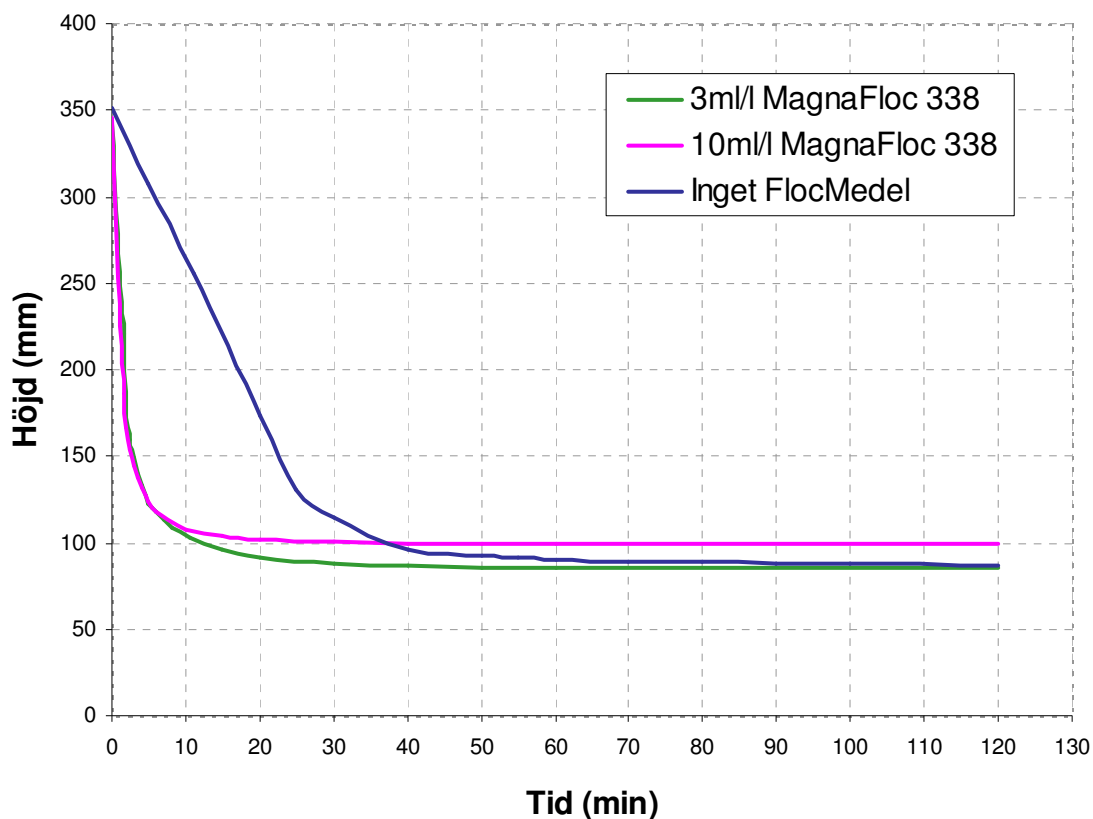


Figur 16.

Som synes i Figur 14 klarar HRT:n en betydligt högre ytbelastning vid en lägre konsumtion flockmedel än den konventionella förtjockaren. Ser man till den enhetsarea som behövs för respektive förtjockare (Figur 15), ser man tydligt att den konventionella förtjockaren kräver en betydligt högre enhetsarea än HRT:n för att uppnå samma TS-halt i underloppet. För att kunna jämföra de olika metoderna krävs det att de i något avseende hamnar tillräckligt nära varandra för att vara jämförbara. Så för att lyckas med detta tas ytterligare en diagram plottad med i beaktande; förhållandet mellan konsumerat flockmedel som funktion av mängden (vikt-%) fast material i det ingående flödet (se Figur 16). Som synes ligger ett av HRT försöken mycket nära försöket för den konventionella förtjockaren, det är alltså XJ 6:1 (HRT) och XJ 11:1 (konventionell) som står för de jämförbara värdena.

#### 4.5. Försöksparametrar och resultat lamellförtjockare (satsförsök)

När nu HRT och konventionell förtjockare teknik är jämförbara gäller det att ta fram parametrar för den tredje metoden, lamellförtjockaren. För att kunna göra en rättvis jämförelse mellan de tre förtjockningsmetoderna, görs ett standard cylindertest (metodbeskrivning 3.2). Detta görs för att ta fram det underlag som behövs för att kunna dimensionera en lamellförtjockare, där det ingående materialet har ungefär samma vikt-% fast material som ett av HRT försöken (XJ6:2) och den konventionella förtjockaren (XJ11:1). Det material som används vid "lamella" försöket består till 22,3vikt-% av fast material. Mängden flockmedel bestämdes till att vara 10g/t, vilket i det här fallet motsvarar 3ml 0,1%-ig brukslösning per liter slurry. 3ml verkade väldigt lite, så totalt tre tester utfördes, ett test utan tillsatt flockningsmedel, ett test med 3ml flockningsmedel per liter slurry och slutligen ett test med 10ml flockningsmedel per liter slurry. Resultatet av testerna visas i Figur 17.

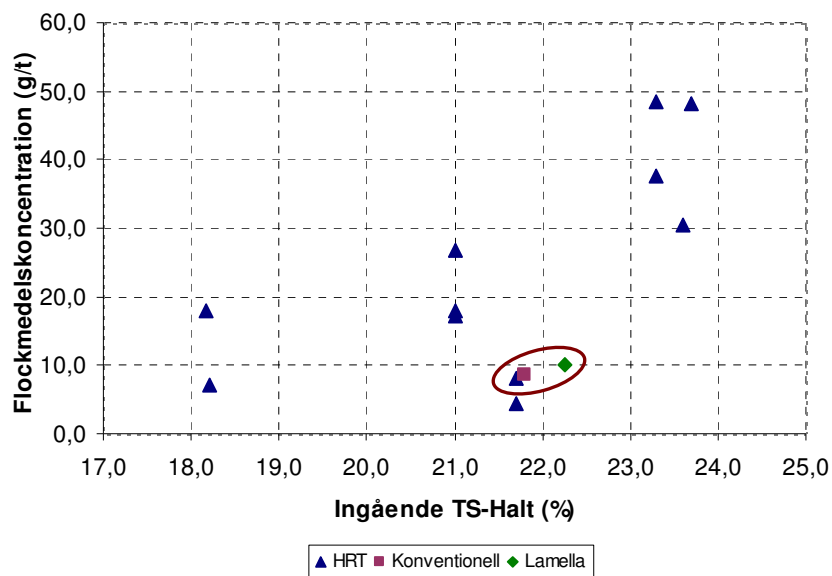


Figur 17.

Som synes i Figur 17 är det ingen större skillnad i sjunkhastighet vid de två olika mängderna tillsatt flockningsmedel, det som skiljer dem lite åt är kompressionszonen, vilket i förlängningen gör att 3mg/l kräver en lite större enhetsarea. För att hålla de tre förtjockningsmetodernas variabler så lika som möjligt, kommer lamellförtjockaren att dimensioneras efter 10g flockmedel per ton (3mg/l). Den linjära sjunkhastigheten blir då 5,4m/h och enhetsarean blir enligt Oltmanns metod  $0,87\text{m}^2/\text{t/h}$ . Av praktiska skäl används inte en högre sjunkhastighet än 2,5m/h för lamellförtjockare, ty högre ybelastning riskerar att ge ett turbulent flöde i lamellpaketen, vilket leder till att de inte fungerar som de skall.

## 5. Beräkning av förtjockare för 100 ton/h

För att göra den yttersta jämförelsen mellan de tre förtjockningsmetoderna dimensioneras tre förtjockare, en för varje metod, som skall ha ett inflöde på 100 ton per timme, med 22vikt-% fast material (vilket motsvarar ett inflöde på 390m<sup>3</sup> slurry per timme). De ingående parametrarna (Tabell 4) skiljer sig lite från varandra beroende på vilken testmetod de härrör ifrån, men framförallt vilken mängd fast material det har varit i det ingående provmaterialet vid testerna. För att bestämma vilka tre tester som skall jämföras plottas flockmedelskonsumtionen som funktion av vikt-% fast material i ingående slurry, se Figur 18. Den röda ringen markerar de tre testerna som har de mest likartade inflödena och det är alltså de som beräkningarna är baserade på.



Figur 18 Flockmedelsbehov som funktion av ingående TS-Halt

Tabell 4. Värden för inringade försök i Figur 18.

Provnummer	XJ 6:2	XJ 11:1	XJ 12:1
Vikt-% fast i ingående flöde	21,7	21,8	21,8
Suspenderat material i överlopp (g/l)	0,208	0,076	4,012
Vikt-% fast i underlopp <sup>1</sup>	34,21	28,9	65,83
Linjär sjunkhastighet (m/h)	4,1	0,59	2,5
Enhetsarea(m <sup>2</sup> /(t/h))	2,95	5,91	0,87
Flockmedelsdosering (g/t)	8,1	8,6	10

I ett ”skarpt” läge används en uppskalningsfaktor för att säkerställa att förtjockaren blir tillräckligt stor, beräkningarna i nedanstående fall är gjorda utan uppskalningsfaktor, då de endast är teoretiska beräkningar.

<sup>1</sup> I driftsskala förväntas Vikt-% fast i underlopp för XJ 6:2 och XJ 11:1 bli högre på grund av det högre slamtrycket. För närmare beskrivning se avsnitt 4.3 för XJ 6:2 respektive 4.4 för XJ 11:1.

## 5.1. HRT

Förutsättningar: 100ton fast material i timmen i inflöde, 22vikt-% fast material vilket motsvarar 390m<sup>3</sup> slurry per timme. Underloppet förtjockas till 34,1vikt-% fast material, överloppet får maximalt innehålla 0,02vikt-% fast. Enhetsarean, mängd fast material i ingående flöde bestäms med hjälp av laborieförsök. För att ta fram prisuppgift på förtjockaren används laborieförsöksresultat från försök XJ 6:2 (se Tabell 4)

Det man eftersträvar vid dimensioneringen är att räkna fram en diameter på förtjockaren eftersom det är diametern som avgör prissättningen. Diameterberäkningen görs med hjälp av följande formel:

$$\text{Diameter} = \sqrt{\frac{X * 4}{\pi}}$$

där X = den av förtjockningsytan eller klarningsytan som är störst för förtjockaren.

Klarningsytan räknas ut genom det enkla sambandet:

$$\text{Klarningsyta} = \frac{\text{Volym ingående slurry per timme (m}^3/\text{h)}}{\text{Linjär sjunkhastighet (m/h)}}$$

Förtjockningsytan räknas ut genom det enkla sambandet:

$$\text{Förtjockningsytan} = \text{Ingående fast material (t/h)} * \text{Enhetsarean (m}^2/\text{(t/h))}$$

Med siffror blir det:

$$\text{Klarningsytan} = 390 / 4,1 \sim 95\text{m}^2$$

$$\text{Förtjockningsytan} = 100 * 2,95 = 295\text{m}^2$$

Eftersom Förtjockningsytan är störst blir den erforderliga diametern:

$$\text{Diameter} = \sqrt{\frac{\text{Förtjockningsytan} * 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{295 * 4}{\pi}} \approx 20\text{m}$$

HRT:n skall alltså, för givna förutsättningar (XJ 6:1) ha en diameter på 20m och kommer enligt uppgift att kosta ungefär 6,5 miljoner kronor att tillverka. Detta fördelat på förtjockartank, drivmaskineri, rakor, axel till rakorna, överloppsränna, brygga för maskineriet, el, styrsystem (för momentmätning av rakorna) etc. De två största posterna är förtjockartanken och drivsystemet som går lös på ungefär 3,0 respektive 1,2 miljoner kronor.

## 5.2. Konventionell

Förutsättningar: 100ton fast material i timmen i inflöde, 22vikt-% fast material vilket motsvarar 390m<sup>3</sup> slurry per timme. Underloppet förtjockas till 28,8vikt-% fast material, överloppet får maximalt innehålla 0,01vikt-% fast. Enhetsarean, mängd fast material i ingående flöde bestäms med hjälp av laboratorieförsök. För att ta fram prisuppgift på förtjockaren används laboratorieförsöksresultat från försök XJ 11:1 (se Tabell 4)

Samma metod används för den konventionella förtjockaren som för HRT:n för att ta fram dess diameter, den av förtjocknings- eller klarningsytan som är störst stoppas in i formeln:

$$\text{Diametern} = \sqrt{\frac{X * 4}{\pi}},$$

där X = den av förtjockningsytan eller klarningsytan som är störst för förtjockaren.

$$\text{Klarningsytan} = 390 / 0,59 \sim 661\text{m}^2$$

$$\text{Förtjockningsytan} = 100 * 5,91 = 591\text{m}^2$$

Eftersom Klarningsytan är störst blir den erforderliga diametern:

$$\text{Diametern} = \sqrt{\frac{\text{Klarningsytan} * 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{661 * 4}{\pi}} \approx 30\text{m}$$

Förtjockaren skall alltså, för givna förutsättningar (XJ 11:1), ha en diameter på 30m och kommer enligt uppgift att kosta ungefär 7,5 miljoner kronor att tillverka. Detta fördelat på förtjockartank, drivmaskineri, rakor, axel till rakorna, överloppsränna, brygga för maskineriet, el, styrsystem (för momentmätning av rakorna) etc. de två största posterna är förtjockartanken och drivsystemet, som går lös på ungefär 3,5 respektive 1,8 miljoner kronor.

### 5.3. Lamella

Förutsättningar: 100ton fast material i timmen i inflöde, 22vikt-% fast material vilket motsvarar 390m<sup>3</sup> slurry per timme. Underloppet förtjockas till 65,8vikt-% fast material, överloppet får maximalt innehålla 0,40vikt-% fast. Enhetsarean, mängd fast material i ingående flöde bestäms med hjälp av laboratorieförsök. För att ta fram prisuppgift på förtjockaren används laboratorieförsöksresultat från försök XJ 12:1 (se Tabell 4)

Tillskillnad från HRT:n och den konventionella förtjockaren dimensioneras lamellförtjockaren inte efter diametern utan efter summan av Klarningsytan och Förtjockningsytan.

$$\text{Klarningsytan} = 390 / 2,5 = 156\text{m}^2$$

$$\text{Förtjockningsytan} = 100 * 0,87 = 87\text{m}^2$$

Den dimensionerande faktorn blir således

$$\text{Total lamellyta} = 156 + 87 = 242\text{m}^2$$

Eftersom höjd-tid kurvan baserad på satsförsöket för dimensionering av lamellförtjockaren gav högre sjunkhastighet och lägre enhetsyta än testerna med HRT:n, vilket de inte borde ha gjort, gör detta att lamellförtjockar-alternativet blir betydligt mer fördelaktigt än det borde vara i sammanhanget. På grund av detta görs ingen prissättning på lamellförtjockaren.



## 6. Diskussion och Slutsatser

Som framkommit klarar HRT:n en betydligt högre ytbelastning vid en lägre konsumtion flockmedel än den konventionella förtjockaren.

Ser man till den enhetsarea som behövs för respektive förtjockare ser man tydligt att den konventionella förtjockaren kräver en betydligt högre enhetsarea än HRT:n för att uppnå samma TS-halt i underloppet.

Det har också framkommit att HRT:n kräver en mindre mängd flockningsmedel till samma TS-halt i inloppsflödet, än en konventionell förtjockare.

Eftersom tidsbrist förhindrade att olika tillsatspunkter för flockningsmedel kunde provas blev flockningen i den kontinuerligt arbetande förtjockaren inte optimal. Vid satsförsöken var flockningen däremot optimal. Därför var det inte möjligt att jämföra lamellförtjockar dimensioneringen (som baseras på satsförsök) med dimensioneringen av HRT och konventionell förtjockare (som baseras på kontinuerliga laboratorieförsök).

På grund av att lamellförtjockar alternativet blir förmånligare än vad det borde vara på grund av optimeringsproblemen med flockningsmedelstillsatspunkten i HRT:n, följer endast en kostnadsjämförelse för den fiktiva dimensioneringen av HRT och konventionell förtjockare.

Tillverkningskostnaden för en HRT med en diameter på 20m uppgår till ungefär 6,5 miljoner kronor, vilket inkluderar allt som behövs för att tillverka förtjockaren. De två tyngsta tillverkningskostnaderna är för tanken och drivmaskineriet, vilka kommer att kosta ca 3,0 respektive 1,2 miljoner kronor.

En konventionell förtjockare med diametern 30m har en tillverkningskostad på ungefär 7,5 miljoner kronor. 3,5 miljoner av dessa går till förtjockartanken och 1,8 miljoner kronor går till drivmaskineriet, resten av pengarna fördelas på bland annat överloppsränna, brygga för maskineriet, rakor, el, axel till rakorna och styrsystem för mätning av det momentet rakorna utsätts för.

## 7. Rekommendationer

För att kunna jämföra HRT:n och lamellförtjockaren måste flockningstillsatspunkten optimeras för HRT:n. Detta görs enklast genom att ”låsa” alla variabler; vikt-% fast i slurry, inflödes hastighet, flockmedelsdosering etc. och köra ett antal försök där det enbart är avståndet mellan tillsatspunkten för flockmedel och flockningskammaren på HRT:n som varierar. Alternativt använda mer än en tillsatspunkt för flockmedlet och variera avståndet mellan dem.

För att få mer information att jämföra med bör det även, vid fortsatta försök, göras fler försök då HRT utrustningen används som en konventionell förtjockare. Detta för att kunna variera de få variabler som går att ändra på i de fallen, t.ex. flockmedelsdosering och mängden fast material i ingående slurry. Inflödes hastigheten går det inte att göra så mycket med, då denna måste hållas så låg att det inte finns någon risk att slamnivån kommer över flockningskammarens mynning.

## 8. Referenser

### Litteratur

Metso Minerals (Sala) AB, Interna dokument.

Metso Minerals. (2003) "*Basics in Mineral Processing*" 3 uppl. minerals.info@metso.com

Modigh, S. (2006) "*Vår historia*" publicerad 12 jan 2006 Metso minerals (Sala) AB intranät.

Muralidhara, H.S. (1986) "*Advances in solid-liquid separation*" 1 uppl. Battelle Press, Columbus, Ohio, USA. ISBN: 0-85186-363-9.

Wills, B.A. (2003) "*Mineral Processing Technology*" 6 uppl. Antony Rowe Ltd, Eastbourne, England. ISBN: 0-7506-2838-3.

### Internet

Halberthal, Josh "*Engineering Aspects in Solid-Liquid Separation*"  
<<http://www.solidliquid-separation.com>> 2006-04-07

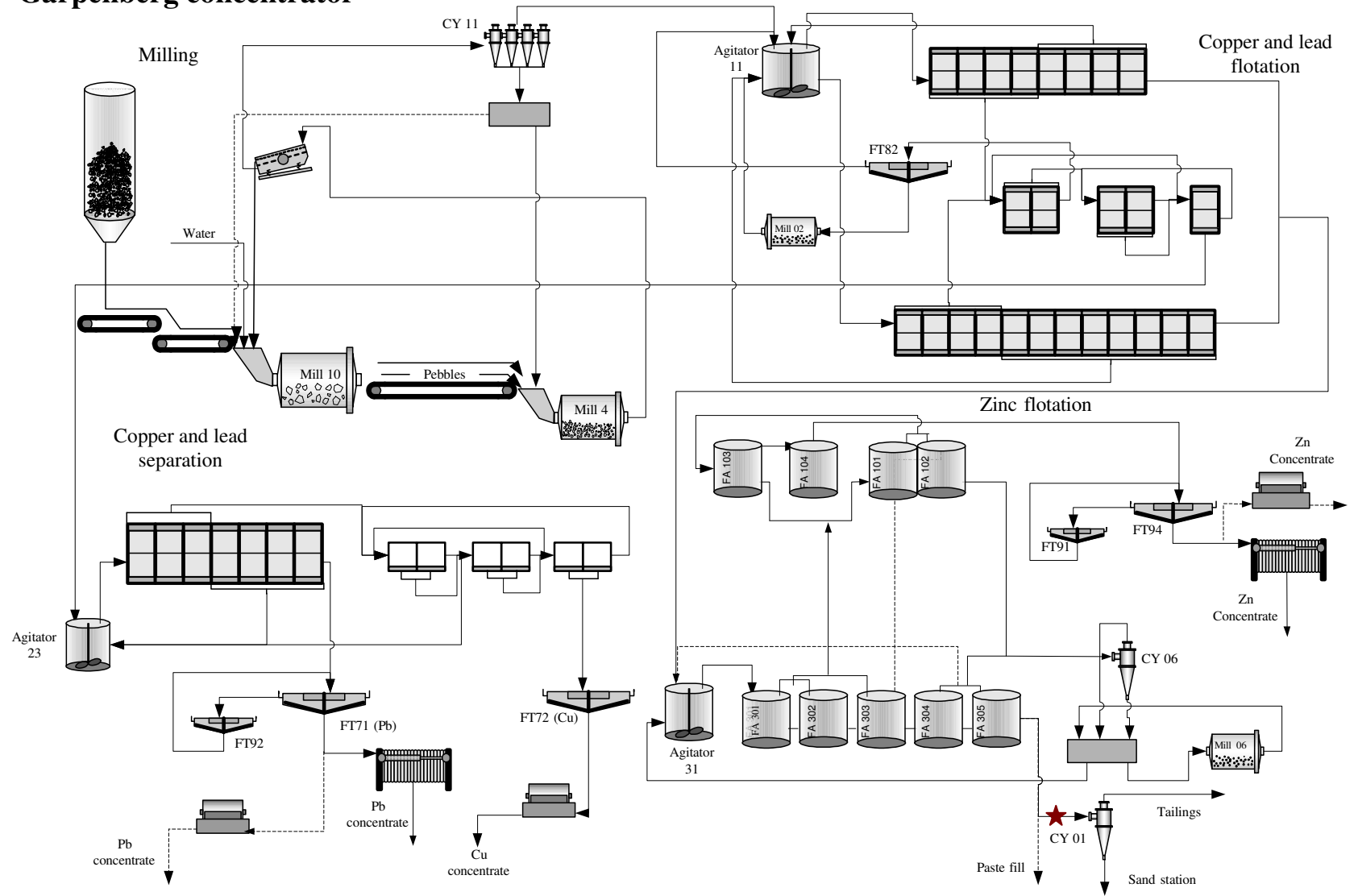
### Personlig

Dunér, Wanja (2006) Processingenjör, New Boliden AB, Garpenberg.

**Bilaga 1**

# **Flödesschema Garpenberg**

### Total circuit of Garpenberg concentrator



★ Stjärnan markerar vart provmaterialet är inhämtat

**Bilaga 2**

**Testresultat**

## Bilaga 2 - Testresultat

XJ01 – XJ03 tas inte med, då dessa endast är till för att ge startvärden till HRT försöken, vars testresultat kan läsas för XJ04 – XJ10.

### Anmärkningar:

- XJ11:1; Testutrustningen användes som konventionell förtjockare (sid 3).
- XJ12:1; Cylindertest för dimensionering av Lamellförtjockare (sid 3).

Test nummer	XJ04:1	XJ05:1	XJ06:1	XJ06:2	XJ07:1	XJ07:2
Solids content (CO), g/l	196,35	206,60	252,90	252,90	279,09	280,49
pH	~11	~11	~11	~11	~11	~11
Temp. °C	20	20	23	23	23	23
Test area, m <sup>2</sup>	0,0154	0,0154	0,0154	0,0154	0,0154	0,0154
Solids SG, g/cm <sup>3</sup>	2,8915	2,8915	2,8915	2,8915	2,8915	2,8915
Liquid SG, g/cm <sup>3</sup>	1	1	1	1	1	1
Flocculant type	MF 338	MF 338	MF 338	MF 338	MF 338	MF 338
Floc Solution Conc. %	0,05	0,05	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125
Feed % solids w/w	17,4	18,2	21,7	21,7	23,6	23,7
Feed ml/min	153	570	623	1052	143	395
Floc Solution ml/min	0,54	1,08	1,86	5,67	13,5	27
Sample Time, sec	60	60	60	30	60	60
O/F volume, ml	130	490	576	425	95	330
U/F volume, ml	23	80	47	101	48	65
U/F weight, g	36	129,64	80,55	129,45	84,34	110,83
Rise rate, m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ,h	0,6	2,22	2,43	4,1	0,56	1,54
U/F solids % w/w	55,2	58,53	63,67	33,6	65,87	63,21
U/F solids % w/w (analysed)	57,64	61,3	66,44	34,21	75,12	68,97
Solids load, t/h/m <sup>2</sup>	0,08	0,3	0,2	0,34	0,22	0,27
Unit area, m <sup>2</sup> (t/h)	12,92	3,38	5	2,95	4,62	3,66
Floc cons., g/t	13,6	7,1	4,5	8,1	30,4	48,2
O/F solids, mg/l	19	491	199	208	123	209
Slamnivå (mm ovan inlopp)	150	150	150	150	150	150
Rakornas hastighet (rpm)	8	8	8	8	8	8

## Bilaga 2 - Testresultat

Test nummer	XJ07:3	XJ07:4	XJ08:1	XJ08:2	XJ09:1	XJ09:2
Solids content (CO), g/l	274,90	274,90	206,21	167,55	104,26	184,46
pH	~11	~11	~11	~11	~11	~11
Temp. °C	23	23	24	24	24	24
Test area, m <sup>2</sup>	0,0154	0,0154	0,0154	0,0154	0,0154	0,0154
Solids SG, g/cm <sup>3</sup>	2,8915	2,8915	2,8915	2,8915	2,8915	2,8915
Liquid SG, g/cm <sup>3</sup>	1	1	1	1	1	1
Flocculant type	MF 338	MF 338	MF 338	MF 338	MF 338	MF 338
Floc Solution Conc. %	0,0125	0,0125	0,00625	0,00625	0,00625	0,00625
Feed % solids w/w	23,3	23,3	18,17	15,1	9,76	16,46
Feed ml/min	690	651	147	535	105	100
Floc Solution ml/min	40,5	54	21,33	76,14	8,91	15,39
Sample Time, sec	60	60	60	60	60	60
O/F volume, ml	595	465	84	470	10	50
U/F volume, ml	95	186	63	65	95	50
U/F weight, g	163,48	303,04	111,69	115,99	100,32	70,97
Rise rate, m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ,h	2,69	2,54	0,57	2,08	0,41	0,39
U/F solids % w/w	64,03	59,04	66,64	67,2	8,11	45,17
U/F solids % w/w (analysed)	65,68	60,64	67,49	67,39	8,3	42,99
Solids load, t/h/m <sup>2</sup>	0,41	0,7	0,29	0,3	0,03	0,12
Unit area, m <sup>2</sup> (t/h)	2,45	1,43	3,45	3,29	31,55	8
Floc cons., g/t	48,4	37,7	17,9	61,1	68,5	30
O/F solids, mg/l	273	394	105	378	40	58
Slamnivå (mm ovan inlopp)	150	150	150	150	150	150
Rakornas hastighet (rpm)	8	8	8	8	8	4



## Bilaga 2 - Testresultat

Test nummer	XJ10:1	XJ10:2	XJ10:3	XJ11:1	XJ12:1
Solids content (CO), g/l	243,44	243,44	243,44	254,26	260,4
pH	~11	~11	~11	~11	~11
Temp. °C	24	24	24	23	22
Test area, m <sup>2</sup>	0,0154	0,0154	0,0154	0,0154	
Solids SG, g/cm <sup>3</sup>	2,8915	2,8915	2,8915	2,8915	2,8915
Liquid SG, g/cm <sup>3</sup>	1	1	1	1	1
Flocculant type	MF 338	MF 338	MF 338	MF 338	MF 338
Floc Solution Conc. %	0,00625	0,00625	0,00625	0,00625	
Feed % solids w/w	21	21	21	21,8	22,25
Feed ml/min	276	235	1873	152	
Floc Solution ml/min	11,88	32,4	242,46	5,94	
Sample Time, sec	60	60	35	60	
O/F volume, ml	242	13	665	34	100
U/F volume, ml	34	102	247,5	118	
U/F weight, g	60,94	178,68	643,13	146,38	
Rise rate, m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ,h	1,08	0,92	7,3	0,59	2,5
U/F solids % w/w	67,58	65,6	51,25	29,64	
U/F solids % w/w (analysed)	70,81	65,83	39,11	28,9	
Solids load, t/h/m <sup>2</sup>	0,16	0,46	2,2	0,17	
Unit area, m <sup>2</sup> (t/h)	6,23	2,19	0,45	5,91	0,87
Floc cons., g/t	18	17,3	26,8	8,6	10
O/F solids, mg/l	222	138	350	76	4012
Slamnivå (mm ovan inlopp)	150	150	150	0	
Rakornas hastighet (rpm)	4	4	4	4	