

# Optimerad industriavloppsrening

## Polymerflockning och massbalans



Anna Nilsson

---

Vattenförsörjnings- och Avloppsteknik  
Institutionen för kemiteknik, LTH  
Examensarbete 2020



# Optimerad industriavloppsrening

## Polymerflockning och massbalans

av

**Anna Nilsson**

Examensarbete nr: 2020-06

Vattenförsörjnings- och Avloppsteknik  
Institutionen för kemiteknik  
Lunds universitet

Juni 2020

Handledare: **Docent Karin Jönsson**

Biträdande handledare: **Processingenjör Per Håkansson, Södra Cell Mörrum**

Examinator: **Docent Michael Cimbritz**

Bild på framsidan: Polymerflockar i flockningsbassängen på Södra Cell Mörrum.

---

**Postadress**

Box 124  
221 00 Lund

**Hemsida**

[www.vateknik.lth.se](http://www.vateknik.lth.se)

**Besöksadress**

Naturvetarvägen 14

**Telefon**

046-222 82 85

046-222 00 00



# Förord

Detta examensarbete har genomförts vid institutionen för VA-teknik på Lunds Tekniska Högskola, på uppdrag av pappers- och dissolvingmassabruket Södra Cell Mörrum. Arbetet utgör det slutliga momentet av min civilingenjörsutbildning i Ekosystemteknik med inriktning vattenresurshantering.

Majoriteten av examensarbetetiden har spenderats på bruket i Mörrum. Under arbetets gång har jag blivit inkluderad och välkommen i alla möjliga sammanhang och fått hjälp med kunskaper och resurser, och för det har jag utvecklingsavdelningen, labbet och alla inblandade i industriavloppsprojektet att tacka.

Ett speciellt tack går till handledare Per Håkansson, processingenjör på Södra Cell Mörrum, för ständig uppmuntran, bra idéer och ett stort engagemang för mitt arbete hela vägen in i mål.

Tack till min handledare från LTH, Karin Jönsson, för värdefullt stöd på distans. Våra veckovisa telefonsamtal har hjälpt mig att kontinuerligt arbeta i rätt riktning. Jag vill även tacka min examinator, Michael Cimbritz, samt Gertrud Persson på Kemicentrum i Lund för all hjälp med mina laboratorieförsök.

Min förhoppning är att det utförda examensarbetet ska komma till nytta för Södra Cell Mörrums framtida avloppsrening, och därmed bidra till minskade utsläpp till Pukaviksbukten.

*Anna Nilsson*

Mörrum, Juni 2020



# Sammanfattning

Industriavloppsreningen på pappers- och dissolvingmassabruket Södra Cell Mörrum (SCM) har nyligen uppgraderats med ny utrustning för att minska utsläppen till vatten, och därmed möta rådande och framtida utsläppsvillkor samt krav på tillämpning av BAT (bästa tillgängliga teknik). Tillbyggnaden av reningsverket innefattar bland annat ett polymerflockningssteg, tre nya skivfilter, ett system för automatisk pH-justering och en bandförtjockare för avvattning av slam.

Detta examensarbete har syftat till att optimera driften av denna nya industriavloppsrening genom att upprätta en massbalans för slam samt utreda hur en effektiv polymerflockningsprocess bäst kan uppnås. Detta för att bidra till uppfyllandet av SCMs projektmål: <10 mg/l suspenderade ämnen i effluenten från industriavloppet.

Massbalansen konstruerades i Excel, med indata från onlinemätare för flöde och susphalt. Resultatet blev ett verktyg som ger en översikt av belastningen på industriavloppsreningens olika komponenter samt fungerar som en enkel modell, med möjlighet att teoretiskt rikta om vissa rejektvatten- och slamflöden och se effekterna. Utförda massbalansberäkningar tyder på att både slam från de nya skivfiltren och rejektvatten från det gamla slamskivfiltret bör ledas till den nya bandförtjockaren för att uppnå maximalt slamuttag från industriavloppsreningen. För att massbalansen ska gå ihop krävs vidare justeringar av vissa onlinemätare och insamling av mer data under normala driftsförhållanden.

Optimeringen av polymerflockningen innefattade en litteraturstudie, en utredning av den automatiska beredningen och doseringen av polymerlösning samt laborieflockningstester ("jar tests"). Slutsatsen blev att katjonisk polyakrylamid med medelhög molekylvikt och laddningsdensitet är ett lämpligt flockningsmedel för industriavloppsreningen på SCM, med en optimal dos på ca 9-12 kg torrt polymergranulat per ton suspenderade ämnen i avloppsvattnet. Det finns även goda möjligheter till återflockning av det slam som avskilts på skivfiltren genom tillsats av ytterligare 2-3 kg polymer per ton susp, för att på så vis förbättra slamavvattningen i bandförtjockaren.

Med onlinemätare korrekt justerade utifrån jämförande analyser, en fungerande flockningsprocess, lämpliga filterdukar på skivfiltren och välplanerad styrning av de interna flödena av slam och rejektvatten finns goda möjligheter att uppnå projektmålet på <10 mg/l suspenderade ämnen i effluenten från industriavloppet.

**Nyckelord:** avloppsvattenrening, massaindustri, industriavlopp, polymerflockning, suspenderade ämnen, massbalans, slam





# Summary

The industrial wastewater treatment at the Södra Cell Mörrum (SCM) paper and dissolving pulp mill was recently upgraded with new equipment to reduce emissions to water, aiming to meet current and future effluent requirements and comply with BAT (Best Available Techniques). The new extension of the water treatment facility mainly consists of a polymer flocculation step, three rotating disc filters, a system for automatic pH adjustment and a belt thickener for sludge dewatering.

The aim of this master thesis has been to optimize the operation of the new wastewater treatment by creating a mass balance for sludge and investigating how to make the flocculation process work efficiently, thereby contributing to the fulfillment of SCM's project goal: <10 mg/l suspended solids in the industrial wastewater effluent.

The mass balance was created in Excel, using input data from online meters measuring flows and concentrations of suspended solids. The result was a tool that provides an overview of the mass load on the components of the industrial wastewater treatment, while also functioning as a simple model that can predict the effect of redirecting certain flows of reject water and sludge. Performed mass balance calculations indicate that sludge from the new disc filters as well as reject water from the old disc filter thickener should be led to the new belt thickener to achieve maximum sludge outtake from the wastewater treatment. Further adjustments of certain online meters are required for the mass balance to add up, as well as collection of more data during stable process conditions.

The optimization of the polymer flocculation included a literature review, an investigation of the automatic preparation and dosage of the polymer solution as well as laboratory jar tests. It was concluded that a cationic polyacrylamide with an intermediate molecular weight and charge density is suitable for use as flocculating agent in the industrial wastewater treatment at SCM, with an ideal polymer dose of 9-12 kg per tonne of suspended solids in the wastewater. It is also possible to re-flocculate the sludge from the disc filters by further polymer addition of 2-3 kg per tonne of suspended solids, thereby improving the belt thickener dewatering.

With the online meters well-adjusted based on comparative lab analyses, a functioning flocculation process, suitable filter media in the disc filters and proper control of the internal sludge and reject water flows, there is great potential to reach the project goal of <10 mg/l suspended solids in the industrial wastewater effluent.

**Keywords:** wastewater treatment, pulp industry, industrial wastewater, polymer flocculation, suspended solids, mass balance, sludge



# Ordlista

<b>AOX</b>	Adsorberbara organiskt bundna halogener
<b>ADt</b>	Air Dry Tonne / ton lufttorr massa
<b>BAT</b>	Best Available Techniques / bästa tillgängliga teknik
<b>BAT-AEL</b>	BAT Associated Emission Level
<b>BAT-AEPL</b>	BAT Associated Environmental Performance Level
<b>COD</b>	Chemical Oxygen Demand / kemisk syreförbrukning
<b>IED</b>	Industriutsläppsdirektivet (2010/75/EU)
<b>LOIS</b>	Södra Cell Mörrums lab- och informationssystem
<b>SCM</b>	Södra Cell Mörrum
<b>SÄ/Susp (GFA)</b>	Suspenderade ämnen; halt analyserad genom filtrering på glasfiberfilter
<b>TOC</b>	Total Organic Carbon / totalt organiskt kol
<b>TS</b>	Total Solids / torrsbstanshalt
<b>TSS</b>	Total Suspended Solids / totalt suspenderat material
<b>VKA</b>	Kallt, avhärdat vatten
<b>VKD</b>	Kallt dricksvatten
<b>VKK</b>	Kallt, kemiskt renat vatten
<b>VKM</b>	Kallt, mekaniskt renat vatten
<b>VKT</b>	Kallt, totalavsaltat vatten



# Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Bakgrund</b>	<b>1</b>
1.1	Södra Cell Mörrum	1
1.2	Industriutsläppskrav	2
1.3	Industriavloppsprojektet	4
<b>2</b>	<b>Syfte</b>	<b>7</b>
2.1	Frågeställningar	7
2.2	Avgränsningar	7
<b>3</b>	<b>Beskrivning av industriavloppsanläggningen</b>	<b>9</b>
3.1	Inkommande avloppsvatten	9
3.1.1	Alkaliskt avlopp	9
3.1.2	Surt avlopp	10
3.2	Blandningskammare	10
3.3	pH-justering	10
3.4	Lamellsedimentering	10
3.5	Fibersedimentering	11
3.6	Polymerflockning	12
3.6.1	Flockningsbassäng	12
3.6.2	Polymerberedning	13
3.7	Skivfilter	13
3.8	Pumpstation och avloppstub	14
3.9	Rejekthantering	14
3.9.1	Blandningskärl	15
3.9.2	Slamskivfilter	15
3.9.3	Polymermixer och mognadstank	15
3.9.4	Bandförtjockare	15
3.9.5	Skruvpress	15
<b>4</b>	<b>Litteratursammanställning</b>	<b>17</b>
4.1	Polymerflockning	17
4.1.1	Flockningsmekanismer	17
4.1.2	Flockningsmedel	18
4.2	Filtrering av polymerflockat avloppsvatten	21
<b>5</b>	<b>Metod</b>	<b>23</b>
5.1	Massbalans för slam	23
5.1.1	Format och enheter	23
5.1.2	Data från onlinemätningar	23
5.1.3	Beräkning av massflöden från onlinemätningar	24
5.1.4	Beräkning av okända massflöden	24
5.1.5	Rejektslam – vägning och torrhalt	27
5.1.6	Alternativa flöden	28
5.1.7	Massbalansverktyget	29
5.2	Optimering av polymerflockning	31
5.2.1	Polymerberedning och dosering	31

5.2.2	Torrhalt polymergranulat .....	31
5.2.3	Flockningstest (jar test) .....	32
<b>6</b>	<b>Försök i samarbete med extern part .....</b>	<b>37</b>
6.1	Kemira – Försök med olika flockningskemikalier .....	37
6.2	Nordic Water – Försök med olika filterdukar .....	38
<b>7</b>	<b>Resultat och diskussion.....</b>	<b>39</b>
7.1	Massbalans för slam.....	39
7.1.1	Rejektslam – vägning och torrhalt .....	39
7.1.2	Beräknade massflöden .....	40
7.1.3	Alternativa flöden .....	44
7.2	Optimering av polymerflockning.....	46
7.2.1	Polymerberedning och dosering.....	46
7.2.2	Torrhalt polymergranulat .....	49
7.2.3	Flockningstest (jar test).....	50
<b>8</b>	<b>Slutsatser.....</b>	<b>55</b>
<b>9</b>	<b>Framtida studier .....</b>	<b>57</b>
<b>10</b>	<b>Referenser .....</b>	<b>59</b>
	<b>Bilaga 1 – Instrumentlista .....</b>	<b>61</b>
	<b>Bilaga 2 – Massbalans i Excel .....</b>	<b>63</b>

# 1 Bakgrund

Detta examensarbete har genomförts i samband med ett pågående projekt på Södra Cell Mörrum, där man nyligen investerat i omfattande uppgraderingar av det interna industriavloppsreningsverket. För kontext inleds denna rapport med en kort beskrivning av följande:

- Södra Cell Mörrums verksamhet
- Gällande industriutsläppskrav
- Industriavloppsprojektets bakgrund, mål och status vid examensarbetets start

Ovanstående mynnar ut i en motivering till genomförandet av examensarbetet. Arbetets syfte, frågeställningar och avgränsningar presenteras sedan separat i efterföljande avsnitt.

## 1.1 Södra Cell Mörrum

Södra Cell Mörrum (SCM) är ett sulfatmassabruk beläget i västra Blekinge i södra Sverige. Bruket är en del av den medlemsägda skogsägarföreningen Södra, en internationell skogsindustrikoncern vars verksamhet innefattar skogsbruk, massaproduktion samt tillverkning av byggträprodukter.

På SCM framställs pappers- och dissolvingmassa av barrved respektive lövved på två separata produktionslinjer. Råvaran barkas och flisas i flisfabriken, flisen lagras i stackar och transporteras sedan till kokeriet där den batchkokas med vitlut (en kemikalieblandning innehållande natriumsulfid och natriumhydroxid) vilket löser ut lignin och en del hemicellulosa. På Linje 1 blir resultatet en dissolvingmassa som innehåller ren cellulosa. På Linje 2 produceras fyra olika typer av pappersmassa, bestående av cellulosa och en del kvarvarande hemicellulosa. Efterföljande steg i massaproduktionen är tvätt, blekning, torkning och emballering.

Inga färdiga produkter tillverkas på SCM – all producerad massa levereras till kund. Dissolvingmassan produceras i två olika kvalitéter och säljs för tillverkning av textilt fibrer som viskos och lyocell. Pappersmassorna går till tillverkning av diverse pappersprodukter.

Parallellt med produktionen drivs en återvinningsprocess av kokkemikalier. I det första steget omvandlas tunn svartlut till tjocklut genom indunstning. Tjockluten förbränns därefter i sodapannan och blir till grönlut, som sedan passerar ett filter och blandas med bränd kalk. Grönlut och kalk omvandlas till vitlut och mesa i en reaktion som kallas *kausticering*, varpå de bildade ämnena separeras i ett filter. Avskild mesa bränns i mesaugnar vilket ger ny bränd kalk som kan användas för kausticering, och den filtrerade vitluten är redo att användas i nya massakok.

På bruket finns även ett eget vattenverk. Råvatten tas in från Mörrumsån och filtreras genom skivfilter, därefter går en del ut i fabriken som VKM (Vatten, Kallt, Mekaniskt renat). Kvarvarande vatten renas vidare genom kemisk flockning och sedimentering vilket resulterar i kvalitén VKK (Vatten, Kallt, Kemiskt renat). VKK leds ut till fabriken och

används även för att producera VKA (Vatten, Kallt, Avjonat) med hjälp av jonbytarfilter. Man producerar även eget dricksvatten, benämnt VKD.

SCM hanterar allt genererat avloppsvatten i sitt eget reningsverk, huvudsakligen uppdelat på två separata anläggningar:

- En *biologisk rening* med aktivt slam följt av biosedimentering och filtrering. Hit går blekeriavlopp, vedtvätt- och barkpressvatten, lakvatten från deponi samt sanitärt avlopp. Avskilt slam från bioreningen förbränns i sodapannan.
- Ett mekaniskt/kemiskt reningssystem benämnt *industriavloppet*, som tar hand om övrigt avloppsvatten från fabriken avdelningar och även dagvatten.

Utöver detta finns även en separat fibersedimenteringsbassäng för avloppsvatten från massafabrik och torkmaskiner, samt ett kylvattenavlopp som inte kräver rening utan leds direkt till recipienten via en bräddningsbassäng.

## 1.2 Industriutsläppskrav

I Sverige bidrar diffusa källor som jordbruks- och skogsmark till de största utsläppen av näringsämnen till hav, sjöar och vattendrag. Punktkällor som exempelvis industrier och avloppsreningsverk står dock för ca 14 % av fosforutsläppen och 13 % av kväveutsläppen (Naturvårdsverket, 2017).

Statistik från SCB visar att pappers- och massaindustrin står för majoriteten av Sveriges industriella utsläpp av fosfor, kväve och organiska substanser till vatten. Branschens totala utsläppsmängder följer dock en nedåtgående trend (Hyttborn & Dimberg, 2018). Sedan 70-talet har utsläppen av organiskt material till vatten från pappers- och massaindustri minskat med över 90 %, detta trots en produktionsökning på ca 50 % (Skogsindustrierna, 2018). Förbättrad kemikalieåtervinning på sulfatmassabruk har generellt lett till minskade utsläpp av svartlut med utlösta vedkomponenter (Norrström & Karlsson, 2015).

Södra Cell Mörrums verksamhet bedrivs utifrån ett antal gällande tillstånd för produktion och utsläpp till luft och vatten, med tillhörande utsläppsvillkor vars *gränsvärden* aldrig får överstigas och vars *riktvärden* kräver åtgärder om de inte efterföljs. Det ursprungliga tillståndet för att hämta råvatten från Mörrumsån samt släppa ut avloppsvatten i Pukaviksbukten utfärdades redan år 1968 av Söderbygdens vattendomstol i Växjö. I dagsläget är detta tillstånd villkorat med utsläppsgränser (se Tabell 1) enligt beslut från mark- och miljödomstolen. Tillsynsmyndighet för villkorsefterlevnad är Länsstyrelsen Blekinge, och SCM redovisar sina utsläpp löpande på månadsbasis samt i den årliga miljörapporten.



Tabell 1. Gällande utsläppskrav för Södra Cell Mörrums utsläpp till vatten, baserat på en årsproduktion på 460 000 ton massa. Riktvärden kräver åtgärder om de inte efterföljs; gränsvärden får ej överskridas.

Parameter	Riktvärde (månadsmedelvärde)	Gränsvärde (årsvärde)
Totalt organiskt kol (TOC)	7,8 kg per ton blekt massa <i>Får ej överstigas mer än 2ggr/kalenderår</i>	3100 ton
Totalkväve	0,26 kg per ton blekt massa <i>Får ej överstigas mer än 2ggr/kalenderår</i>	11 ton
Totalfosfor	0,028 kg per ton blekt massa <i>Får ej överstigas mer än 2ggr/kalenderår</i>	105 ton
Adsorberbara organiskt bundna halogener (AOX)	0,15 kg per ton klordioxid-blekt massa	70 ton
Klorat	0,3 mg/l	-
Suspenderade ämnen	30 mg/l	-

Sedan januari 2013 tillämpas Industriutsläppsdirektivet (2010/75/EU), förkortat IED, som ram för industriutsläppskrav i samtliga EU-länder. I Sverige har IED genomförts i form av generella föreskrifter i industriutsläppsförordningen (2013:250) och även medfört vissa förändringar i miljöbalken. Direktivet innebär en allmän uppstramning av regler, samt ett ökat fokus på BAT (Best Available Techniques/Bästa tillgängliga teknik) och krav på förnyad bedömning av industrianläggningar i samband med att nya BAT-slutsatser offentliggörs.

BAT-slutsatser tas fram av EU och förekommer i tre olika varianter:

- Med utsläppsvärden (BAT-AEL = BAT Associated Emission Level)
- Med tillhörande miljöprestandanivåer som exempelvis förbrukningsnivåer (BAT-AEPL = BAT Associated Environmental Performance Level)
- Med beskrivning av teknisk utrustning eller metod

När nya BAT-slutsatser offentliggörs ska berörda industrier anpassa sin verksamhet för att uppfylla kraven vid normal drift inom 4 år. Efterlevnad av BAT-slutsatser (samt planerade åtgärder i de fall kraven inte uppfylls) ska redogöras för i den årliga miljörapporten (Naturvårdsverket, 2016).

Den 30 september 2014 offentliggjordes nya BAT-slutsatser för produktion av massa, papper och kartong. Ingående BAT-AEL för avloppsvatten från tillverkning av blekt sulfatmassa presenteras nedan.

*Tabell 2. Utsläppsvärden (BAT-AEL) för avloppsvatten som släpps till recipient från bruk som tillverkar blekt sulfatmassa, enligt EU-kommissionens beslut om fastställande av BAT-slutsatser för produktion av massa, papper och kartong. Årsmedelvärden relaterade till produktion, ADt = ton lufttorr massa.*

<b>Parameter</b>	<b>Årsmedelvärde (kg/ADt)</b>
Kemisk syreförbrukning (COD)	7-20
Totalt suspenderat material (TSS)	0,3-1,5
Totalkväve	0,05-0,25
Totalfosfor	0,01-0,03
Adsorberbara organiskt bundna halogener (AOX)	0-0,2

För ett genomsnittligt utgående renat avloppsvattenflöde på ca 850 l/s och en årsproduktion på 460 000 ton massa kan BAT-kravet för TSS på 0,3-1,5 kg/ADt översättas till en koncentration på ca 5-27 mg/l.

Sammantaget behöver SCM bedriva en avloppsreningsprocess som oavsett driftförhållanden är tillräckligt effektiv för att uppfylla de utsläppsvillkor som listas i Tabell 1, och samtidigt redovisa ett aktivt arbete med att möta de teknikkrav som ingår i de senaste BAT-slutsatserna för produktion av massa, papper och kartong. En reningsprocess som motsvarar BAT eller bättre bör vid normal drift resultera i ett renat avloppsvatten vars parametrar faller inom de intervall för BAT-AEL som listas i Tabell 2.

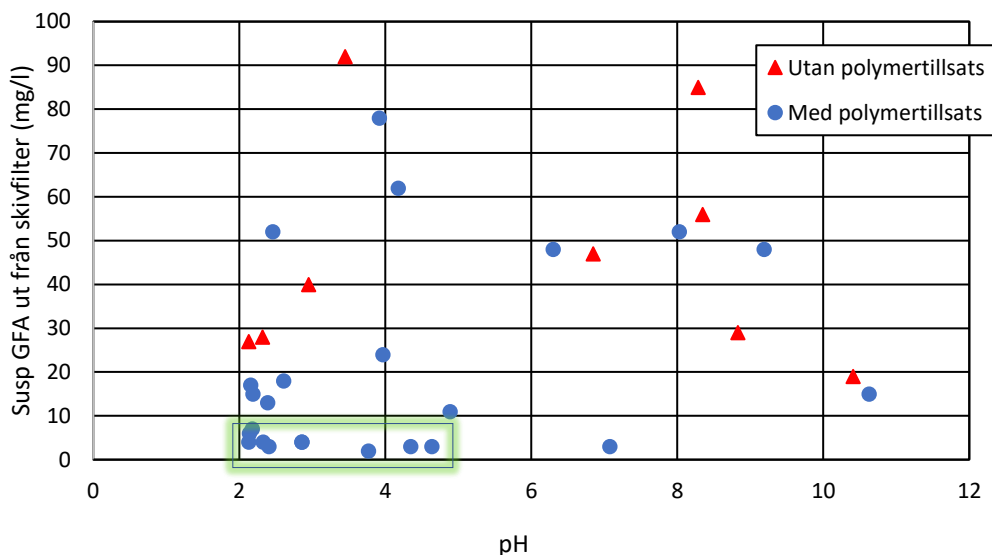
### 1.3 Industriavloppsprojektet

Industriavloppsanläggningen på SCM har under de senaste två åren genomgått en omfattande uppgradering, med projekt målet att konstruera en reningsprocess som hållbart uppfyller villkoret <10 mg/l suspenderade ämnen i effluenten från industriavloppet.

Målet är betydligt lägre än det gällande riktvärdet på 30 mg/l (se Tabell 1) och ligger i den nedre delen av BAT-intervallet på 5-27 mg/l. Dels så finns det en ambition om att bli ”bättre än BAT” och säkra att avloppsreningen håller måttet även vid eventuella striktare krav i framtiden; dels så ger en låg normalnivå utrymme för vissa toppar i susphalt (vid stopp och annan onormal drift) utan att månadsmedelvärdet blir för högt.

Projektet inleddes med en rad pilotförsök under perioden december 2017-februari 2018, med syftet att avgöra vilken ny utrustning som skulle implementeras. Man testade olika kombinationer av fettfång, flotation, lamelledimentering, polymertillsats och skivfilter. Slutsatsen blev att projekt målet var genomförbart om befintlig lamelledimentering

kompletterades med efterföljande polymerflockning och skivfilter. Resulterande halt av suspenderade ämnen i effluenten efter pilotförsök med denna processuppställning visas i Figur 1.



Figur 1. Resultat av pilotförsök med lamellsedimentering och skivfilter, med och utan polymertillsats. Grön rektangulär markering visar optimalt körfönster för reningsprocessen. Diagram baserat på data från pilotförsöksrapport (Wirtanen & Manselin, 2018). Susp GFA = halten suspenderade ämnen, analyserad genom filtrering på glasfiberfilter.

Pilotförsöken visade att ovan nämnda processlösning var den mest gynnsamma, och även att pH-värdet hade en stor inverkan på processen. Därav designade man ett system för automatisk pH-justering med syra och lut.

För att möjliggöra en förhöjd avskiljning av suspenderade ämnen i industriavloppet krävdes även en ökning av slamhanteringskapaciteten. Lösningen blev att utöka rejektslamhanteringen med en bandförtjockare som komplement till det befintliga slamskivfiltret.

Examensarbetet som beskrivs i denna rapport påbörjades i samband med slutfasen av industriavloppsprojektet på SCM. Polymerflockning och skivfilter var då i drift men fungerade inte optimalt, medan bandförtjockaren driftsattes under arbetets gång. Eftersom många parametrar skulle justeras in var det ett bra läge för ett examensarbete fokuserat på optimering. Det fanns ett behov av att ta fram en massbalans för slam i industriavloppsreningen, detta för att få en översikt av belastningen på de olika komponenterna och avskiljningsgraden i olika reningssteg. Denna massbalans är tänkt att användas som verktyg för att fatta beslut om hur olika interna strömmar ska ledas, och för att ge en översikt av belastningen på reningsverkets olika komponenter.



## 2 Syfte

Huvudsyftet med det här examensarbetet är att optimera driften av industriavloppsanläggningen på Södra Cell Mörrum genom att upprätta en massbalans för slam, utreda hur en effektiv polymerflockningsprocess bäst kan uppnås samt ta fram en utförlig beskrivning av anläggningens samtliga funktioner. Detta för att bidra till uppfyllelse av företagets projektmål: <10 mg/l suspenderade ämnen i effluenten från industriavloppet.

### 2.1 Frågeställningar

- Hur stora är massflödena mellan industriavloppsanläggningens komponenter?
- Hur bör slam- och avloppsvattenströmmar ledas mellan anläggningens olika komponenter för att uppnå stabil och effektiv drift?
- Vilka mekanismer ligger bakom polymerflockningens funktion, och vilka yttre faktorer påverkar den?
- Hur bör polymerlösning beredas och doseras för att uppnå en stabil flockningsprocess?

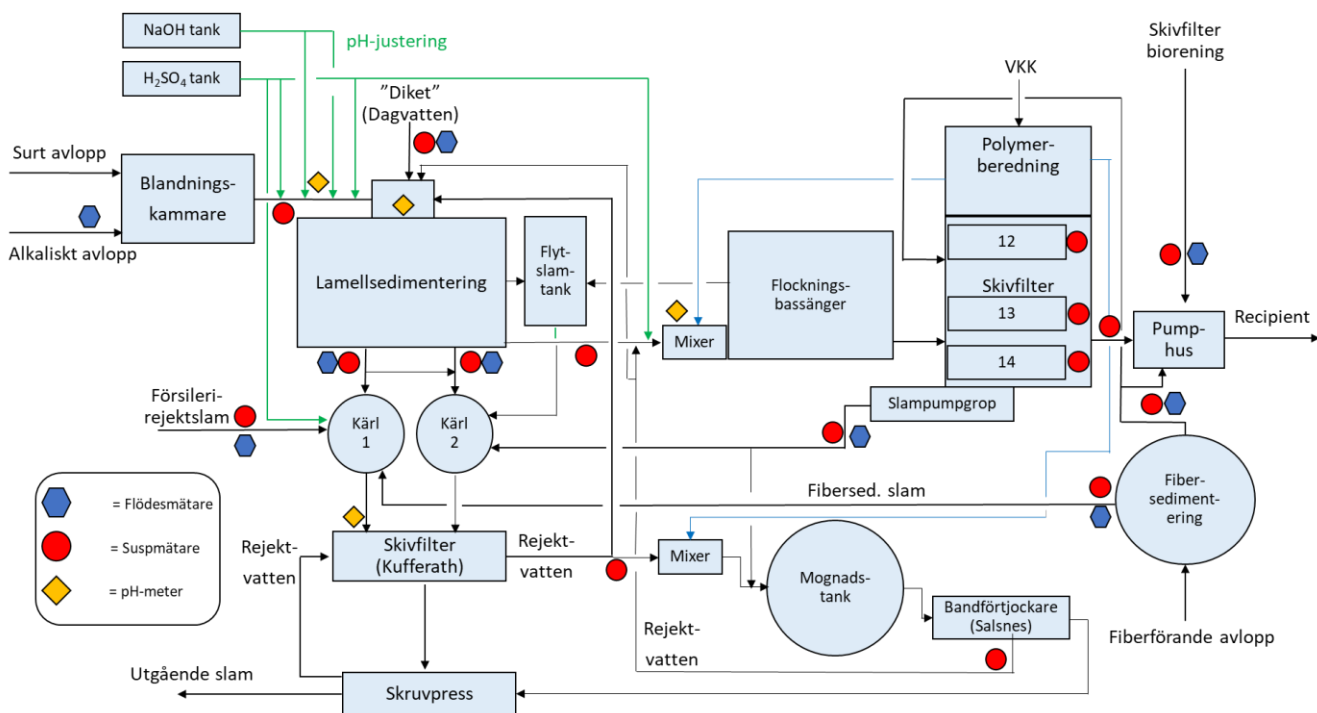
### 2.2 Avgränsningar

- Som tidigare nämnt är avloppsvattenhanteringen på Södra Cell Mörrum uppdelad i två olika reningsprocesser; ett bioreningsverk och ett separat system för rening av industriavlopp. Detta examensarbete involverar inte bioreningen, istället ligger fokus enbart på industriavloppsanläggningen.
- Examensarbetet strävar efter att förstå och optimera den befintliga reningsprocessen och kommer därmed inte att innefatta några alternativa lösningar gällande val av utrustning.



## 3 Beskrivning av industriavloppsanläggningen

Industriavloppsanläggningen i sin helhet visas i Figur 2 nedan. Därefter följer en beskrivning av de olika komponenterna.



Figur 2. Schematisk översiktsbild av industriavloppsanläggningen på Södra Cell Mörrum. Svarta linjer representerar avloppsvatten- och slamflöden, gröna linjer visar flöden av syra och lut för pH-justering och blå linjer är polymerflöden.

### 3.1 Inkommande avloppsvatten

Avloppsvatten från alla brukets avdelningar leds via det sura respektive alkaliska avloppet till industriavloppsanläggningen. Toxiska ämnen som skulle kunna orsaka allvarlig skada i bioreningsprocessen hanteras istället här. Stora svängningar i pH och variationer i avloppsvattnets komposition förekommer. Även dagvatten från hela fabriksområdet leds till industriavloppet för rening, vilket bidrar till ytterligare variationer i flöde och sammansättning.

#### 3.1.1 Alkaliskt avlopp

Det alkaliska avloppet innefattar en mängd olika, relativt små och ofta oregelbundna flöden från olika delar av bruket – härifrån kommer bland annat kylvatten, tätningvatten och spillvatten via golvbrunnar och pumpgropar. En stor del av dessa flöden kommer ifrån mixeriet, där kokkemikalier för massatillverkningen återvinns. Även flisfabriken, massafabriken, indunstningen och vattenverket bidrar till det sammanlagda flödet som mäts

kontinuerligt av en permanent flödesmätare, med dygnsmedelvärden som varierar mellan 100 och 300 l/s.

### 3.1.2 Surt avlopp

I det sura avloppet transporteras restsyra från brukets klordioxidproduktion, samt syra från regenereringen av de jonbytarfilter som används för att producera VKA (avjonat vatten), VKT (totalavsaltat vatten) och matarvatten. Det finns även ett antal mindre spillflöden (golvkanaler och bräddöverslop) kopplade till detta avlopp. Det genomsnittliga flödet uppskattas till ca 10 l/s.

## 3.2 Blandningskammare

I blandningskammaren, som utgörs av en övertäckt betongbassäng, blandas flödet från det alkaliska avloppet med flödet från det sura avloppet. Detta medför en viss pH-utjämning som är fördelaktig för efterföljande reningssteg. Vid blandningen bildas svavelväte ( $H_2S$ ), vilket ställer höga krav på ventilation i hela industriavloppsanläggningen. I anslutning till blandningskammaren finns därför en fläkt och en 20 meter hög skorsten, för att på ett säkert sätt avlägsna giftiga gaser.

## 3.3 pH-justering

Blandningskammarens utlopp är den första av totalt fyra positioner för pH-justering i industriavloppet. Natriumhydroxid (10 % NaOH) och svavelsyra (12 %  $H_2SO_4$ ) doseras automatiskt baserat på differensen mellan inställt börvärdesintervall och uppmätt pH-värde vid onlinemätning. Samtliga positioner för pH-justering listas i Tabell 3.

Tabell 3. Lista över positioner och kapacitet för pH-justering.

Position	Maximal syradosering (ml/s $H_2SO_4$ )	Maximal lutdosering (ml/s NaOH)
Utlopp blandningskammare	500	500
Inlopp lamellsedimentering	500	500
Inlopp flockningsbassäng	100	-
Utlopp Blandningskärl 1	500	-

## 3.4 Lamellsedimentering

Avloppsvattnet från blandningskammaren flödar in till lamellsedimenteringens inlopps-bassäng, där pH justeras (se Tabell 3). Hit leds även det samlade dagvattnet från fabriksområdet via en ledning som kallas ”diket”.



Lamellsedimenteringen består av två bassänger med 6 lamellpaket i varje. Uppdelningen ger en viss redundans – vid normal drift används båda bassängerna parallellt, men det finns även möjlighet att stänga en bassäng och leda hela avloppsvattenflödet genom den andra. På så vis kan rengöring och reparation av lameller genomföras utan att sedimenteringssteget går förlorat.

Avloppsvattnet leds in till botten av de snedställda lamellerna och stiger upp mellan dem. De partiklar som är tunga nog för att sedimentera glider längs lamellytan ner till bassängens botten. Slammet som bildas i botten samlas ihop av en skrapa och pumpas till rejekthanteringen (se avsnitt 3.9).



*Figur 3. Lamellsedimentering.*

### **3.5 Fibersedimentering**

Det fiberförande avloppet är en separat del av industriavloppsreningen, bestående av en sedimenteringsbassäng med en yta på ca 450 m<sup>2</sup>. Till fibersedimenteringsbassängen flödar avloppsvatten från massafabrik och torkmaskiner. Hit kommer även elfilterstoft från sodapannan.

Avloppsvattnet leds in i centrum av den cirkulära bassängen, varpå fiberslam sjunker till botten och koncentreras med hjälp av en roterande skrapa. Det avskilda fiberrejektslammet sugas från bassängbottens konformade centrum till en slampump och förs till rejekthanteringen.

Efter sedimentering är vattnet från det fiberförande avloppet rent nog att ledas direkt till pumpstationen och vidare till recipienten, men det finns även möjlighet att pumpa det till skivfiltreringen. Flödesmätare och suspmätare finns på både accept- och rejektström ut från fibersedimenteringsbassängen.

Fibersedimenteringen är inte inkluderad i projekt målet (<10 mg/l susp ut från industriavloppet) utan har ett eget målvärde på <30 mg/l.

## 3.6 Polymerflockning

Polymerflockningens syfte är att aggregera ämnen som inte kunnat separeras via lamelledimenteringen till kompakta flockar som effektivt kan avskiljas på anläggningens skivfilter.

### 3.6.1 Flockningsbassäng

Vid flockningsbassängens inlopp tillsätts polymerlösning för att gynna flockbildning av partiklar i avloppsvattnet. Polymeren blandas in med en dynamisk mixer, och tillsätts i samband med vattennivåhöjning via en tryckstegringspump vilket ger ett turbulent flöde och därmed god inblandning. Dosering av polymerlösning sker automatiskt baserat på uppmätt susp halt i det inkommande flödet, med *polymerkvot* (mängden torrt polymergranulat [kg] som tillsätts per ton susp) som inställbar parameter.

Avloppsvattnet rör sig sedan genom flockningsbassängen under långsam omrörning (se Figur 4), därmed kan bildade flockar växa utan att slås sönder. Uppehållstiden i bassängen är ungefär 10 minuter. Flytslam samlas in med jämna mellanrum via en vridbar ränna som korsar bassängens vattenyta.



*Figur 4. Flockningsbassäng.*

### 3.6.2 Polymerberedning

Den polymer som används i flockningsbassängen är en katjonisk polyakrylamid från Kemira (Fennopol K8805). Polymeren levereras som torrt granulat i enkubik-säckar och bereds automatiskt i batcher om ca 3 m<sup>3</sup>. En bestämd mängd polymergranulat förs till beredningstanken via en transportskruv. Samtidigt fylls tanken med vatten upp till en viss nivå. Polymerlösningen förs sedan över från beredningstanken till doseringstanken.



Figur 5. Polymerberedningen på SCM. Till vänster: säck med torrt polymergranulat. Upppe till höger: beredningstank. Nere till höger: doseringstank.

### 3.7 Skivfilter

Det sista steget i industriavloppsreningen utgörs av tre skivfilter av modellen DynaDisc som tillverkas av Nordic Water (se Figur 6). I varje filter sitter 300 filterkassetter. Inkommande flockat avloppsvatten leds in i centrum av det roterande filtret, passerar genom filterkassetterna och flödar vidare till pumpstationen via en utloppskanal.

Backspolning av filterkassetterna startar automatiskt när en viss vattennivå uppnås inuti skivfiltret, alternativt tidsinställt. Det slam som samlats på filterdukens insida spolas loss av dysor och landar i en ränna längs skivfiltrets centrumaxel, varifrån slammet rinner ut och pumpas till rejekthanteringen.



Figur 6. DynaDisc-skivfilter från Nordic Water.

### 3.8 Pumpstation och avloppstub

Vid pumpstationen möts de renade vattenflödena från industriavloppet, fibersedimenteringen och bioreningsanläggningen (biorening ej inkluderad i denna beskrivning). Det renade vattnet från anläggningen pumpas ut via en avloppstub som sträcker sig 5,6 km ut i havet, varav de yttersta 1,8 km är försedda med dysor som sprider ut effluenten över ett stort område.

### 3.9 Rejekthantering

*Rejekt* definieras i detta sammanhang som den oönskade substans som avlägsnas i en separationsprocess. För industriavloppet som helhet avlägsnas partiklar från avloppsvattnet i flera steg och bildar rejektslam. När det gäller slamförtjockare så är syftet att öka slammets torrhalt, därav består rejektet i dessa specifika processteg istället av en rejektvattenström.

I rejekthanteringen (på SCM även kallat ”rejekthuset”) samlas slam från olika delar av industriavloppet – sedimenterat bottenlam från lamellerna, flytslam som fångats i flockningsbassängerna och rejektslam från skivfiltren. Här tillkommer även slam från den separata fibersedimenteringen och en rejektslamström från försileriet i massproduktionen.

### **3.9.1 Blandningskärl**

I rejekthuset sitter Blandningskärl 1 och 2 som sammanför de inkommande slamflödena. Syftet med blandningen är att uppnå en jämn belastning på det efterföljande slamskivfiltret. Uppehållstiden i kärlen är kort eftersom båda är små i relation till det inkommande flödet.

Slam från lamellsedimenteringen går till båda kärnen. Blandningskärl 1 tar även emot slam från fibersedimenteringen samt försilerirejektslam med lutinnehall. Dessa flöden kommer direkt från fabriken utan att passera lamell och flockingsbassäng, och har därmed inte genomgått någon pH-justering. Därför tillsätts svavelsyra i Blandningskärl 1 för att kompensera för eventuella pH-toppar. Även här sker doseringen automatiskt (se Tabell 3), baserat på en pH-mätning strax efter kärlets utlopp.

Till Blandningskärl 2 leds slam från pumpgropen i skivfilterhuset, samt flytslam från flockningsbassängerna. Ingen pH-justering krävs.

Utloppsrören från de två blandningskärlen möts i en y-formad förgrening och leder sedan in i slamskivfiltret.

### **3.9.2 Slamskivfilter**

I slamskivfiltret (tillverkat av Bellmer-Kufferath) sker avvattning av slammet från de två blandningskärlen. Rejektvattnet från filtret leds tillbaka till inloppet av lamellsedimenteringen. Slammet går vidare till en skruvpress för ytterligare avvattning. Skivfiltret spolats kontinuerligt med spritsvatten (åtgång ca 5 l/s) för att hålla dukarna rena.

### **3.9.3 Polymermixer och mognadstank**

I anslutning till rejekthuset finns möjligheten att dosera polymer på inkommande slam, för att därefter låta flockbildning ske i en mognadstank med omrörning. Det flockade slammet går sedan vidare till bandförtjockaren.

### **3.9.4 Bandförtjockare**

Bandförtjockaren från Salsnes är det senaste tillskottet bland utrustningen i rejekthuset. Inkommande slamflöde hamnar på en rullande filterduk, där det avvattnas genom gravitation. Det avskilda vattnet rinner igenom filterduken ner till botten av förtjockaren. Detta rejecktatten förs sedan tillbaka till ett tidigare steg i industriavloppsreningsprocessen. Slammet rullar vidare till bandförtjockarens kant, där det blåses av med luft vilket även bidrar till att hålla filterduken ren. Det avblåsta slammet transporteras sedan till skruvpressen.

Det finns olika alternativ för vilka flöden som kan ledas till bandförtjockaren. Möjligheterna diskuteras i senare avsnitt (5.1.6 och 7.1.3).

### **3.9.5 Skruvpress**

Skruvpressen är det sista avvattningssteget innan det samlade fiber- och industriavloppsslammet faller ut på slamplattan och fraktas bort för lagring eller försäljning. Slammets torrhalt ligger då på ca 35 %.



## 4 Litteratursammanställning

Nedan följer en sammanställning av den kunskap om polymerflockning som finns att hämta från böcker och vetenskapliga artiklar inom ämnet. Fokus ligger på den typ av flockningsprocess som tillämpas på Södra Cell Mörrum – flockning med katjonisk polyakrylamid följt av filtrering på skivfilter.

Avsnittet behandlar de mekanismer som ligger bakom flockningsprocessen, flockningsmedel och deras egenskaper samt filtrering av flockat avloppsvatten.

### 4.1 Polymerflockning

*Flockning* innebär att små suspenderade partiklar i en lösning aggregeras till sammanhängande flockar. Fenomenet utnyttjas i olika typer av separationsprocesser och är ett vanligt förekommande processteg i reningsanläggningar för avloppsvatten. Någon typ av flockningsmedel behöver tillsättas under kraftig omrörning för att aggregeringen ska kunna ske effektivt. Flockarna avlägsnas sedan via ett efterföljande mekaniskt separationssteg som exempelvis sedimentering, flotation eller filtrering.

Begreppet flockning är inte helt entydigt definierat i litteraturen. En vanlig uppdelning är att den laddningsneutralisering som krävs för att minska repulsionen mellan partiklar benämns som *koagulering*, och att efterföljande aggregering av dessa partiklar med hjälp av polymerer kallas för flockning. En annan variant är att samla hela processen under begreppet flockning (Gillberg *et al.*, 2003). Denna rapport utgår ifrån den sistnämnda definitionen, eftersom både laddningsneutralisering och aggregering sker med tillsats av en och samma kemikalie i industriavloppsreningen på Södra Cell Mörrum.

#### 4.1.1 Flockningsmekanismer

Nedan beskrivs de huvudsakliga mekanismer som är aktiva under flockningsprocessen.

##### *Laddningsneutralisering*

Suspenderade partiklar i avloppsvatten har vanligtvis en negativ ytladdning (Davis, 2010). I de flesta vattenlösningar omges negativt laddade partiklar av positiva joner. Sammantaget bildas ett så kallat *dubbellager*, som leder till elektrostatisk repulsion mellan partiklar och därmed förhindrar bildning av Van der Waals-bindningar. Med tillsats av högladdade joner som höjer jonstyrkan i lösningen kan dubbellagret komprimeras tillräckligt för att möjliggöra bindningar mellan partiklar (Heitner, 2004).

##### *Fläckvis adsorption*

När högladdade polymerer används som flockningsmedel sker laddningsneutralisering främst genom en mekanism som kallas *fläckvis adsorption* (eng. *charge patch/electrostatic patch*). Starkt katjoniska polymerer tenderar att binda till flera punkter på en negativt laddad partikel och därmed adsorbera till den i en platt konformation, som kan liknas vid en fläck. Detta fenomen har två flockningsfrämjande effekter (Heitner, 2004):

- Partikelns totala negativa laddning minskar, vilket leder till den typ av laddningsneutralisering som beskrivs i föregående stycke.
- De positivt laddade områden där polymer adsorberats fläckvis attraheras till negativa områden på andra partiklar.

Flockar som skapats genom fläckvis adsorption är något starkare än flockar skapade av enbart laddningsneutralisering, och har större tendens att återflockas om de skulle sönderdelas (Bolto & Gregory, 2007).

### ***Bryggbildning***

Bryggbildning sker när en eller flera delar av en polymerkedja adsorberar till ytan på en partikel. Övriga delar av polymeren sträcker sig ut i lösningen och kan adsorbera till en ny partikel, vilket skapar en ”brygga” mellan partiklarna. Upprepad bryggbildning aggregerar partiklarna i lösningen till flockar (Davis, 2010).

Bryggbildning är en mekanism som leder till hållfasta flockar, vilket innebär en viss resistens mot skjuvkrafter från turbulenta flödesförhållanden. Flockstyrkan beror på att det ofta bildas multipla bryggor mellan partiklar. Kraften som krävs för att bryta upp flocken är därför större än den kraft som krävs för att bryta en enskild polymerkedja. En annan bidragande faktor till den höga hållfastheten är att kedjorna är flexibla och kan böjas och sträckas till viss grad utan att brytas av (Bolto & Gregory, 2007).

### ***Svepkoagulering***

Svepkoagulering är en process som enbart sker vid specifika pH- och temperaturförhållanden, genom att tillsatt flockningsmedel hydrolyserar (klyvs av en vattenmolekyl) och bildar olösliga fällningar. Fällningarna adsorberar till suspenderade partiklar och löst organiskt material som ”sveps” med aggregatet. Svepkoagulering sker främst med oorganiska flockningsmedel som aluminium- och järnsalter och är generellt inte en central mekanism vid polymerflockning (Heitner, 2004).

#### **4.1.2 Flockningsmedel**

Flockningsmedel kan delas in i två huvudkategorier – *organiska* respektive *oorganiska* kemiska tillsatser. Till de oorganiska hör vattenlösliga metallsalter, vanligtvis innehållande aluminium eller järn. De organiska flockningsmedlen utgörs av naturliga eller syntetiska vattenlösliga polymerer (Heitner, 2004).

Organiska polymerer har länge använts som komplement till kemisk fällning och flockning. En sådan process börjar med tillsats av ett metallsalt som exempelvis aluminiumsulfat eller järnklorid, varpå mindre flockar bildas. Därefter kan polymer tillsättas för att binda samman små flockar till större aggregat (Jekel & Gimbel, 2016).

En alternativ metod är att dosera enbart organisk polymer som primärt flockningsmedel. Denna metod har bedömts lämplig för rening av avloppsvatten från pappers- och massaindustri (Wong *et al.*, 2005) och exempel på fördelar är att kemikalieåtgången minskar markant, flockningsprocessen går snabbare och den producerade slammängden blir mindre (Bolto *et al.*, 1996). Processen är också mindre pH-känslig än den traditionella metoden (d.v.s. kemisk fällning och flockning med både metallsalt och polymer) – det bildas inga



rester i form av metalljoner, och lösningens alkalinitet påverkas inte (Wong *et al.*, 2005). En nackdel är att systemet blir något känsligare mot felaktig dosering (Bolto & Gregory, 2007).

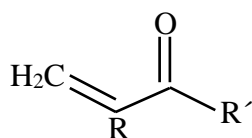
Organiska polymerer kan kategoriseras som anjoniska (negativt laddade), katjoniska (positivt laddade) eller nonjoniska (neutrala). För avloppsvattenrening och slamavvattning används främst laddade polymerer (Huang *et al.*, 2001). Anjoniska och katjoniska polymerer går även under samlingsnamnet *polyelektrolyter* (Gillberg *et al.*, 2003).

De mest avgörande egenskaperna för polymerens funktion som flockningsmedel är dess molekylvikt och dess laddningsdensitet. Generellt brukar dessa två parametrar klassas som låg, medel eller hög för en given polymer (Bolto & Gregory, 2007). En av de stora fördelarna med syntetiska polymerer är att flockningsmedel med specificerade molekylvikter och laddningsdensiteter kan framställas, så att flockningsprocessen därmed kan skraddarsys för olika vattenkvaliteter och förhållanden. Exempelvis så är det fördelaktigt att välja en polymer med hög molekylvikt för att främja en hög grad av bryggbildning vid tillämpningar som kräver hög flockhållfasthet (Gillberg *et al.*, 2003). I praktiken sker valet ofta genom att man testar olika färdiga polymerprodukter med varierande egenskaper och väljer ut den mest effektiva (Bratby, 2016).

### ***Katjonisk polyakrylamid***

Det flockningsmedel som används i industriavloppsreningen på Södra Cell Mörrum är en syntetisk, katjonisk polyakrylamid (Fennopol K8805 från Kemira) med medelhög molekylvikt och medelhög laddningsdensitet.

Polyakrylamider framställs genom radikalpolymerisation av monomerer. Varje monomer har grundstrukturen av en akrylgrupp (se Figur 7), och resultatet av polymerisationen blir en kemiskt stabil kolkedja vars egenskaper beror på vilka laddade funktionella grupper som ingår i den eller de monomerer som bygger upp den. Molekylvikt, laddningsdensitet och kolkedjans grad av förgrening kan därmed kontrolleras vid framställningen (Heitner, 2004).



*Figur 7. Monomerstruktur. R kan vara H eller CH<sub>3</sub>. R' kan utgöras av NH<sub>2</sub> eller någon mer komplex funktionell grupp som exempelvis en amid eller en alkoxigrupp (Heitner, 2004).*

Vid akrylamid-polymerisation är förhållandet mellan propagering (påbyggnad av nya monomerer) och terminering (krock mellan två radikaler som avslutar polymerkedjan) ovanligt hög. Vid framställning i vatten sker dessutom ingen kedjeöverföring, vilket betyder att polymerkedjans tillväxt inte kan stoppas genom att den fria radikalen vid tillväxtpunkten reagerar med ett fritt väte istället för en ny monomer. Detta innebär att polyakrylamid kan framställas med högre molekylvikt än många andra polymerer (Huang *et al.*, 2001). Den maximala molekylvikten som går att åstadkomma minskar dock med ökande laddningstäthet (Gillberg *et al.*, 2003).

### ***Dosering av flockningsmedel***

Vid flockningstest med olika katjoniska polyakrylamider har man visat att halten kvarvarande suspenderat material efter flockning och sedimentering minskar stadigt med dosen fram till en viss optimal dos, där kurvan sedan planar ut (Wong *et al.*, 2005) eller vänder svagt uppåt (Zhang *et al.*, 2016). Även studier där flockningsprestandan bedömts genom bildanalys (Solberg & Wågberg, 2003) och spektrofotometri (Qian *et al.*, 2004) har gett resultat som tyder på att det finns en viss optimal polymerdos.

Det är viktigt att påpeka att absoluta värden varierar mycket från en studie till en annan. Den optimala dosen är systemspecifik – vattnets innehåll och egenskaper spelar en avgörande roll för den mängd polymer som krävs (Rawlings *et al.*, 2006). Dosen bör anpassas efter mängden suspenderat material i det inkommande avloppsvattnet (Väänänen *et al.*, 2016).

Tillsats av en lämplig dos polymer främjar bindningar mellan partiklar via de olika flockningsmekanismer som nämnts i tidigare avsnitt. En allt för låg polymerdos ger otillräcklig bryggbildning och därmed svaga flockar som sönderdelas lätt (Ray & Hogg, 1987) samt otillräcklig laddningsneutralisering och därmed en stor andel partiklar som stannar i suspension.

Överdoserering av polymer leder till *återstabilisering* av partiklar i lösningen, vilket innebär att de precis som utan flockningsmedel tenderar att repellera varandra snarare än att aggregeras. Återstabilisering kan bero på att partiklarnas laddning omvänds så att den laddningsneutraliserande effekten går förlorad, och/eller att bryggbildning förhindras (Yeh & Ghosh, 1981). Bryggbildning förutsätter att det finns tillräckligt med ledig yta på partiklarna för att polymerbryggor ska kunna adsorbera till dem, vilket inte är fallet om polymerdosen är för hög i förhållande till mängden partiklar så att partikelytan blir mättad (Bolto & Gregory, 2007). Överdoserering av polymer medför även en risk för igensättning av filter och annan utrustning (Rawlings *et al.*, 2006).

### ***pH-värdets inverkan***

Studier i laboratorieskala har visat att katjonisk polyakrylamid fungerar effektivt som flockningsmedel över ett brett pH-intervall (pH 3-9), med bäst funktion vid lågt pH (Ma *et al.*, 2017). pH-värden som är högre eller lägre än ovan nämnda intervall kan leda till återstabilisering av partiklar, vilket motverkar flockbildning och ger en högre halt av suspenderade ämnen i effluenten (Zhang *et al.*, 2016).

Högt pH kan även leda till att vissa katjoniska polymerer tappar sin laddning genom hydrolysis (Heitner, 2004). Hydrolysis orsakar också förändringar i polymerkedjans struktur – den blir mindre utsträckt, vilket har en negativ inverkan på polymerens funktion som flockningsmedel (Bolto & Gregory, 2007). Hydrolysis av flockningsmedlet kan undvikas genom att hålla pH 2-5 vid inblandning (Huang *et al.*, 2001).

pH-värdet har även en inverkan på vilka flockningsmekanismer som dominerar. Under sura förhållanden är det främst laddningsneutralisering som driver flockningsprocessen, medan bryggbildning är den mekanism som huvudsakligen orsakar aggregering i en basisk miljö (Ma *et al.*, 2017).

## 4.2 Filtrering av polymerflockat avloppsvatten

Polymerflockning följt av mikrosilning på skiv- eller trumfilter har visat sig vara en effektiv metod för att avlägsna suspenderade partiklar från avloppsvatten och därmed nå låga susphalter i effluenten (20-40 mg/l), detta baserat på resultat från pilotförsök på ett antal olika reningsverk i Europa. I samband med nämnda pilotförsök drog man slutsatsen att mikrosilningsfilter klarar en högre belastning av fasta partiklar om de föregås av en kemisk flockningsprocess, förutsatt att polymer doseras i rätt mängd (Väänänen *et al.*, 2016). Flockning som försteg till filtrering leder till minskad igensättning och mindre genomsläpp eftersom flockarna binder små partiklar som annars skulle fastna i filtrets porer eller passera igenom dem (Heitner, 2004).

För god avskiljning på skivfilter krävs flockar med hög hållfasthet, som inte sönderdelas av de skjuvkrafter som uppstår när avloppsvattenflödet flödar genom filtret. Det är alltså av hög vikt att den föregående flockningsprocessen fungerar effektivt. För att undvika igensättningar av skivfilter krävs regelbunden rengöring med natriumhypoklorit och saltsyra. Utöver det är processen relativt underhållsfri, yteffektiv och flexibel (Sweco Environment AB , 2013).



## 5 Metod

Metodbeskrivningen för detta examensarbete har delats upp i två huvudsakliga områden – *massbalans för slam* respektive *optimering av polymerflockning*. Arbetet med de två områdena utfördes parallellt.

### 5.1 Massbalans för slam

I detta avsnitt beskrivs tillvägagångssättet för att konstruera ett verktyg som beräknar industriavloppets massbalans för slam. Syftet med massbalansverktyget är att undersöka massflödena mellan anläggningens komponenter, detta för att få en översikt av belastningen och för att kunna fatta beslut om hur slam- och avloppsvattenströmmar ska ledas mellan de olika komponenterna.

#### 5.1.1 Format och enheter

Som grund för massbalansen ritades ett flödesschema över industriavloppsanläggningen upp i Excel (se bild i Bilaga 2 – Massbalans i Excel). Designen baserades på strukturen i Figur 2 men förenklades till att endast innehålla vatten- och slamströmmar, eftersom tillflödena från pH-justering och polymertillsats kan anses försumbara i förhållande till avloppsvattenflödet genom anläggningen.

Massbalansens grundenhet sattes till kg/dygn. Detta eftersom det ger en lämplig storleksordning på de värden som presenteras, och under ett dygn bör tillfälliga svängningar i massflöde hinna jämnas ut. Värden angivna i kg/dygn kan enkelt räknas om till kg per ton massa (vanligt förekommande enhet inom massaindustrin) vid behov.

#### 5.1.2 Data från onlinemätningar

Ett första steg i datainsamlingen var att sammanställa en lista över alla permanenta susp- och flödesmätare som kontinuerligt samlar mätdata i industriavloppet (se Bilaga 1 – Instrumentlista). Mätningarna går att följa i realtid i styrsystemet, som i sin tur skickar vidare data till SCM's lab- och infosystem (LOIS) där statistik som exempelvis dygnsmedelvärden finns att hämta.

För indata till massbalansen skapades ett kalkylblad med listan över onlinemätare i den vänstra kolumnen och datum på översta raden (se exempel i Figur 8). Kalkylbladet kan enkelt fyllas på med dygnsmedelvärden från LOIS för önskade datum.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Datum			2020-02-24	2020-02-25	2020-02-26	
2	Susp (mg/l)						
3	Ut från blandningskammare	QI750434		41,2	44,1	51,3	
4	Diket (dagvatten)	QI750672		53	80,9	70,7	
5	Lamell → flockningsbassäng	QI750624		143,4	153	154,2	
6	Lamell slam → blandningskärl 1	QI750415		973	1015	3236	
7	Lamell slam → blandningskärl 2	QI750439					
8	Försilerirejekt → blandningskärl 1 (%)	QI750393		0,6	0,6	0,6	

Figur 8. Skärmlapp från Excel-kalkylblad för inmatning av data till massbalans.

### Jämförande analys

I anslutning till varje suspmätare i industriavloppet finns ett provuttag. Jämförande analyser av susphalt genomförs regelbundet på SCM's laboratorium för att kontrollera mätriktigheten och skapa ett dataunderlag för justering av mätarna vid behov. Laboratorievärden från jämförande analys användes senare för felsökning då massbalansen inte gick ihop efter inmatning av data.

#### 5.1.3 Beräkning av massflöden från onlinemätningar

Massflödet av suspenderade partiklar beräknas enkelt i de positioner där både susp- och flödesmätning finns – så är fallet för ”diket” (dagvatten), slam från lamellsedimentering och skivfilter, försilerirejektslam samt både vatten- och slamström från fibersedimentering (se Figur 2). Beräkningen sker enligt ekvation (1) i de positioner där susp mäts i mg/l, justerat med en faktor 1000 för mätningar i g/l och enligt ekvation (2) för mätare som visar susphalten i procent.

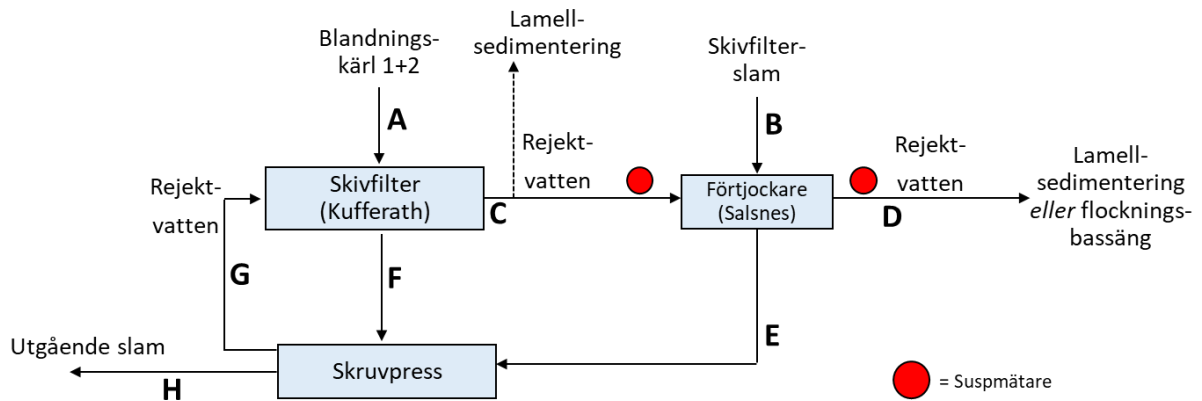
$$\text{massflöde} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{dygn}} \right] = \text{susp} [\text{mg/l}] \cdot \text{flöde} [\text{l/s}] \cdot 60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 10^{-6} \quad (1)$$

$$\text{massflöde} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{dygn}} \right] = \text{susp} [\%] \cdot \text{flöde} [\text{l/s}] \cdot 60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 10^{-2} \quad (2)$$

Massbalansverktyget i Excel utformades så att dessa beräkningar utförs i ett eget kalkylblad, som automatiskt hämtar värden från kalkylbladet för inmatning av data. Beräknade genomsnittliga massflöden dyker sedan upp i flödesschemat för massbalansen (se Bilaga 2 – Massbalans i Excel).

#### 5.1.4 Beräkning av okända massflöden

I rejekthuset saknas permanent flödes- och/eller suspmätning i de flesta positioner – här finns enbart suspmätning före och efter bandförtjockaren. I denna del av reningsverket är det därför inte möjligt att direkt beräkna samtliga massflöden genom ekvationerna (1)-(2).



Figur 9. Flödesschema för rejekthanteringen.

För att underlätta analys av situationen har massflödena i rejekthuset separerats från det övriga reningsverket och benämnts A-H enligt markering i Figur 9.

För att avgöra hur mycket information som krävs för att beräkna samtliga flöden i ett system kan dess *frihetsgrad* beräknas. Frihetsgraden  $df$  definieras genom (3) nedan (Frisk, 2019).

$$df = \text{antal oberoende observationer} - \text{antal estimerade parametrar} \quad (3)$$

I detta fallet utgörs de estimerade parametrarna av massflöden för slam, vilket är totalt 8 st i rejekthanteringen. Med oberoende observationer menas givna värden och samband som kan användas för beräkning av systemets massflöden.

Inkommande massflöden A och B är kända, eftersom susp- och flödesmätningar möjliggör beräkning med ekvationerna (1)-(2).

Tre interna massbalanser kan ställas upp – en för slamskivfiltret (4), en för bandförtjockaren (5) och en för skruvpressen (6):

$$A + G = C + F \quad (4)$$

$$B + C = D + E \quad (5)$$

$$E + F = G + H \quad (6)$$

Det är *inte* möjligt att utnyttja en fjärde massbalans för systemet som helhet ( $A+B=D+H$ ) eftersom denna kan tas fram genom kombination av (4)-(6) ovan; därmed uppfylls inte kravet på att alla observationer måste vara linjärt oberoende.

För att kunna utnyttja de fasta susp-mätare som finns på plats (se Figur 9) så behöver flödet i dessa positioner uppskattas. Det genomsnittliga totala inflödet till rejekthanteringen är ungefär 35 l/s baserat på månadsmedelvärden hämtade från LOIS, vilket motsvarar ungefär 3 000 ton per dygn (antaget en densitet på 1000 kg/m<sup>3</sup>). Mängden utgående slam är i storleksordningen 10 ton per dygn. Det innebär att majoriteten av det inkommande flödet

går tillbaka som rejektvatten, och endast några få hundradelar tas ut ur systemet i form av slam. Baserat på ovanstående görs följande antaganden:

- Rejektvattenströmmen ut från Kufferath-slamskivfiltret har ungefär samma volymflöde som inkommande ström från Blandningskärl 1 och 2, och massflöde C kan beräknas genom att multiplicera detta flöde med positionens uppmätta susphalt. Detta förutsätter att rejektvattnet leds till Salsnes-bandförtjockaren, eftersom det är på denna ledning suspmätaren är placerad (se Figur 9).
- Flödet i rejektvattenströmmen från Salsnes-bandförtjockaren kan beräknas genom att addera skivfilterslamflödet (från de tre DynaDisc-skivfilter som utgör det sista reningssteget för avloppsvattnet) till ovan nämnda flöde. Massflöde D kan beräknas genom att multiplicera det summerade flödet med positionens uppmätta susphalt.

Alla oberoende observationer som finns tillgängliga eller kan tas fram genom antaganden sammanställs för beräkning av systemets frihetsgrad i Tabell 4.

*Tabell 4. Beräkning av antalet frihetsgrader i systemet för rejekthantering.*

Massflöden	8
Kända massflöden	-2
Massbalanser	-3
Suspmätningar	-2
<b>Frihetsgrad <math>df</math></b>	<b>1</b>

$df = 1$  innebär att det saknas ett mätvärde för att entydigt bestämma samtliga massflöden i systemet med den information som finns att tillgå.

Det går dock att komma en bit på vägen. Givet tidigare nämnda antaganden gällande rejektvattenströmmarna är massflöde B, C och D kända och därmed kan flöde E beräknas utifrån ekvation (5). Genom kombination av ekvation (4) och (6) ges följande samband:

$$F - G = A - C = H - E \quad (7)$$

Då även massflöde A är känt är det möjligt att beräkna H samt differensen mellan F och G utifrån ekvation (7). Eftersom endast differensen är bestämd finns oändligt många lösningar för massflödena F och G (slam från Kufferath-skivfiltret till skruvpressen respektive rejektvatten från skruvpressen som återförs till samma skivfilter). Nedan följer två förslag på hur detta problem kan hanteras:

- Antag att massflödet F (återföring av rejektvatten från skruvpress) är försumbar, dvs. sätt  $F=0$ . Massflöde G kan då beräknas utifrån ekvation (7).



- Räkna med en förväntad avskiljningsgrad för slamskivfiltret. Med avskiljningsgrad  $X$  ges sambandet

$$X(A + G) = F \quad (8)$$

Ekvation (4) kan arrangeras om till ett uttryck för  $F$ :

$$F = A + G - C \quad (9)$$

Kombination av (8) och (9) ger ett uttryck för  $G$ :

$$G = \frac{C - (1 - X)A}{X} \quad (10)$$

När massflöde  $G$  är beräknat går det att ta fram  $F$  utifrån ekvation (8), och därmed är hela rejekthandlingssystemet entydigt bestämt.

Ytterligare problem uppstår om rejektvattnet från slamskivfiltret leds tillbaka till lamellsedimenteringen istället för till bandförtjockaren (se streckad linje i Figur 9). En suspemätning försvinner då och systemets frihetsgrad ökar till 2. I sådant fall är det nödvändigt att ta till två förenklingar av systemet – sätta  $F=0$  och räkna med en förväntad avskiljningsgrad för slamskivfiltret.

Beräkningarna som beskrivits i detta avsnitt implementerades i massbalansverktyget i Excel, främst genom att sätta olika villkor på de celler som representerar massflöden i flödesschemat. Här inkluderades även två rutor för inmatning av förväntad avskiljningsgrad i Kufferath-slamskivfiltret och Salsnes-bandförtjockaren, som då automatiskt används för beräkning av massflöden i de fall det är nödvändigt.

### 5.1.5 Rejektslam – vägning och torrhalt

Den totala mängden utgående slam från industriavloppet och dess torrhalt är parametrar som inte mäts vid normal drift, men informationen är användbar för att utvärdera massbalansberäkningarna. I indataformuläret för massbalansen skapades därför utrymme för att mata in dygnsvikt och torrhalt för utgående slam.

Vägning av utgående slam genomfördes sedan på dygnsbasis, detta under en period före driftsättning av bandförtjockaren. Vägningen utfördes av skiftgående personal som hanterar bortforsling av slam från slamplattan och resultatet gavs i ton per dygn.

Test av slamtorrhalt genomfördes vid två olika tillfällen under invägningsperioden, enligt nedanstående metod:

Tre provburkar fylldes med slam från spridda delar av den rejekthög som bildats under aktuellt dygn. En aluminiumform för varje prov märktes upp och vägdes tom. Botten på formen täcktes sedan med slamprov, varpå formen vägdes igen. Proverna ställdes in i

värmeskåp med en temperatur på 105°C. Efter 20 timmar togs proverna ut och ställdes för att svalna i exsickator i 30 min. Därefter vägdes formarna med torkat slamprov, och torrhalten beräknades enligt följande formel:

$$\text{torrhalt (\%)} = \frac{\text{total vikt efter torkning (g)} - \text{formens vikt (g)}}{\text{total vikt före torkning (g)} - \text{formens vikt (g)}} \times 100 \quad (11)$$

Massflödet av utgående slam beräknades sedan genom multiplikation av dygnsvikt och torrhalt:

$$\text{massflöde} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{dygn}} \right] = \text{dygnsvikt} \left[ \frac{\text{ton}}{\text{dygn}} \right] \cdot \text{torrhalt (\%)} \cdot 10 \quad (12)$$

Massflödet som ges av (12) redovisas i massbalansens flödesschema, intill motsvarande värde som beräknats enligt den metod som beskrivs avsnitt 5.1.4. På så vis kan den faktiska uppmätta mängden utgående slam jämföras massbalansverktygets beräkning.

### 5.1.6 Alternativa flöden

När den nya industriavloppsanläggningen designades byggde man in en del olika valmöjligheter för interna flöden. En del av optimeringsarbetet bestod i att fatta beslut om dessa. Alternativen redovisas nedan och kan även ses i Figur 2. Schematisk översiktssbild av industriavloppsanläggningen på Södra Cell Mörrum.

#### *Skivfilterslam*

Via slampumpgruppen i skivfilterbyggnaden pumpas avskilt slam från de tre DynaDisc-skivfiltren till rejekthuset med jämna mellanrum. För detta slam finns två alternativ – det kan ledas antingen till Kufferath-slamskivfiltret (via Blandningskärl 2) eller till Salsnes-bandförtjockaren. Vilket som blir mest fördelaktigt beror på belastningen på de olika komponenterna, och kommer därför att kunna diskuteras med hjälp av massbalansen.

#### *Rejektvatten från slamskivfilter*

Som tidigare nämnt i avsnitt 5.1.4 så kan rejecktvattnet från avvattning i slamskivfiltret ledas vidare till bandförtjockaren, alternativt tillbaka till lamellsedimenteringens inlopp.

#### *Rejektvatten från bandförtjockare*

Rejektvattnet från avvattning i bandförtjockaren leds tillbaka till reningsprocessen, antingen via lamellsedimenteringens inlopp eller flockningsbassängens inlopp.

#### *Alternativa flöden i massbalans*

I massbalansen hanteras ovanstående alternativa flöden med hjälp av alternativknappar för formulärkontroll, placerade på samma kalkylblad som flödesschemat (se Bilaga 2 – Massbalans i Excel). Alternativknapparnas design visas i Figur 10 nedan. Beräknade massflöden placeras automatiskt i de rutor i flödesschemat som motsvarar ifyllda alternativknappar, och de icke ifyllda alternativen sätts till 0.

IA-slam	<input checked="" type="radio"/> Till Bl.k.2	<input type="radio"/> Till Salsnes
Rejektvatten Kufferath	<input checked="" type="radio"/> Till lamell	<input type="radio"/> Till Salsnes
Rejektvatten Salsnes	<input checked="" type="radio"/> Till lamell	<input type="radio"/> Till flockning

Figur 10. Alternativknappar för hantering av alternativa flöden i massbalans (Excel).

### 5.1.7 Massbalansverktyget

Sammanfattningsvis består det färdiga massbalansverktyget av en Excel-arbetsbok med tre kalkylblad:

- Ett kalkylblad för inmatning av data från LOIS och från eventuell vägning/torrhaltsmätning av utgående slam
- Ett kalkylblad för automatisk beräkning av massflöden enligt avsnitt 5.1.3 och 5.1.4 (behöver inte öppnas vid användning)

*Ett kalkylblad med ett flödesschema (se*

- Figur 11) som presenterar genomsnittliga massflöden under den valda perioden, med möjlighet att växla vissa flöden (enligt Figur 10) för att representera de aktuella driftförhållandena samt ge möjlighet att testa alternativa driftsätt.



## 5.2 Optimering av polymerflockning

Vid examensarbetets start var polymerflockningens funktion ostabil, med hastiga variationer i flockkvalitet utan någon uppenbar förklaring. Problemen leder till frågeställningen: *Hur bör polymer doseras för att uppnå en stabil flockningsprocess?*

Nedan beskrivs de metoder som använts för att besvara denna fråga – en utredning av berednings- och doseringsförfarandet, kontroll av polymerprodukten samt laboratorieförsök med syftet att ta fram den optimala polymerdosen för det aktuella avloppsvattnet.

### 5.2.1 Polymerberedning och dosering

Polymerberedning och dosering sker helt automatiserat på SCM's industriavloppsanläggning. För att komma till rätta med flockningsproblemen gjordes en grundlig genomgång av de beräkningar som ligger bakom denna automatiska styrning. Till hjälp fanns viss dokumentation från när flockningsprocessen först designades. Utredningen innefattade även diskussioner med systemtekniker som utvecklar och underhåller styrsystemet. Resultatet redovisas i avsnitt 7.2.1.

### 5.2.2 Torrhalt polymergranulat

Torrhalten testades för att utesluta risken att fukt i det torra polymergranulatet (se Figur 12) påverkar polymerlösningens koncentration efter beredning. Metoden var densamma som för slamtorrhalt – invägning, torkning i ugn, utvägning och beräkning av torrhalt så som beskrivs i avsnitt 5.1.5.



Figur 12. Torrt polymergranulat vägs in i aluminiumform.

### 5.2.3 Flockningstest (jar test)

Ett antal flockningstester utfördes för att undersöka flockningsförmågan vid tillsats av olika polymerdoser. Försök 1-3 gjordes på avloppsvatten hämtat från inloppet till flockningsbassängen, d.v.s. precis innan polymeren doseras i den verkliga reningsprocessen på SCM. Försök 4 gjordes på slam från industriavloppets DynaDisc-skivfilter, för att undersöka möjligheten att återflocka detta slam innan det förs vidare till bandförtjockaren.

#### Utrustning

Nedan listas den utrustning som användes för flockningstesterna.

- Flockulator (modell Flocculator 90 från Kemira Kemwater) bestående av:
  - 6 st flockningsbägare (1000 ml) med tillhörande omrörare (se Figur 18-Figur 20 i avsnitt 7.2.3)
  - Styrenhet för inställning av varvtal och omrörningstider (se Figur 13). En omrörningssekvens i tre stadier kontrolleras av styrenheten, med möjlighet till separata inställningar för varje enskild omrörare som kopplas in.
    1. Hastig inblandning av flockningsmedel (200-500 rpm, 0-60 sekunder)
    2. Flockning under långsam omrörning (10-50 rpm, 0-60 minuter)
    3. Sedimentering (stillastående, 0-60 minuter)



Figur 13. Styrenhet till flockulator. Foto: Karin Jönsson

- Doseringspipett 0,5–5 ml
- Doseringspipett 100–1000  $\mu$ l
- Turbiditetsmätare (modell Hach Ratio Turbidimeter)

### ***Beredning av polymerlösning***

Samma polymerlösning användes till samtliga tester. 0,200 g torrt polymergranulat (Fennopol K8805 från Kemira) vägdes in i en bägare. 100 ml avjonat vatten tillsattes. Polymergranulatet löstes upp under omrörning.

Resultaterande polymerkoncentration:  $\frac{0,200}{0,1} = 2 \text{ g/l}$ .

### ***Generellt utförande av flockningstest***

Följande omrörningssekvens ställdes in på styrenheten:

- Snabb omrörning – 400 rpm, 60 s
- Långsam omrörning – 30 rpm, 10 min
- Sedimentering – 10 min

Avloppsvattenproverna skakades kraftigt, flockningsbägarna fylldes sedan med 800 ml prov vardera. En omrörare placerades i varje bägare och kopplades till styrenheten. Omrörningssekvensen startades och en bestämd volym polymerlösning tillsattes med doseringspipett under snabb omrörning. Flockbildning skedde under långsam omrörning, följt av sedimentering. Efter sekvensens slut togs ett prov ut på klarfasen (ca 2 cm under vattenytan) för analys av turbiditet.

Turbiditeten i ett vattenprov är inte direkt sammankopplad med susphalten och bör inte användas för kvantitativa uppskattningar, men fungerar bra som indikation för att följa trender i mängden suspenderade ämnen (Fölster & Rönnback, 2015).

Turbiditetsmätarens funktion verifierades med kontrollprover (18 NTU respektive 180 NTU) före analys.

### ***Susphalt i prover***

Avloppsvatten- och slamproverna hämtades ut samma dag som flockningstesterna utfördes. Parallellt analyserades mängden suspenderade ämnen i samma prover på Södra Cell Mörrums laboratorium genom GFA (glasfiber)-filtrering. Resultatet presenteras i Tabell 5.

Tabell 5. Halten av suspenderade ämnen i de prover som använts för flockningstester.

<b>Provställe</b>	<b>Susp (mg/l)</b>
Inlopp flockningsbassäng	134
Slam från skivfilter	2648

### ***Beräkning av polymerkvot***

Informationen i Tabell 5 är nödvändig för att beräkna mängden tillsatt polymer i förhållande till mängden suspenderade ämnen i provet, tidigare benämnt som polymerkvot (kg torrt polymergranulat per ton susp). Kvoten beräknas enligt ekvation (13):

$$Kvot = \frac{c_{polymer} \cdot V_{polymer}}{SS \cdot V_{prov}} \cdot 1000 \quad (13)$$

$c_{polymer}$  = polymerlösningens koncentration (g/l)

$V_{polymer}$  = mängd tillsatt polymerlösning (ml)

SS = susphalt i prov (mg/l)

$V_{prov}$  = provets volym (l)

### **Försök 1 – Effekt av över/underdosering**

Syftet med det första försöket var att ringa in vilket intervall för polymerdosering som är aktuellt, och att göra en generell bedömning av polymerens beteende vid över/underdosering.

Tre bägare (märkta A-C) fylldes med avloppsvattenprov från inloppet till flockningsbassängen. Polymer doserades enligt Tabell 6.

*Tabell 6. Polymerdoser för Försök 1 – avloppsvatten från inlopp flockningsbassäng.*

<b>Bägare</b>	<b>Polymerdos (ml)</b>
<b>A</b>	0,2
<b>B</b>	1
<b>C</b>	2

### **Försök 2 – Serie med låga doser**

En testserie med låga polymerdoser genomfördes för att undersöka miniminivån för fungerande polymerflockning och hitta ett intervall för optimal dosering. Fem bägare (märkta D-H) fylldes med avloppsvattenprov från inloppet till flockningsbassängen. Polymer doserades enligt Tabell 7. Låga polymerdoser för Försök 2 – avloppsvatten från inlopp flockningsbassäng.

*Tabell 7. Låga polymerdoser för Försök 2 – avloppsvatten från inlopp flockningsbassäng.*

<b>Bägare</b>	<b>Polymerdos (ml)</b>
<b>D</b>	0,25
<b>E</b>	0,40
<b>F</b>	0,55
<b>G</b>	0,70
<b>H</b>	0,85



### ***Försök 3 – Serie med höga doser***

En testserie med höga polymerdoser genomfördes för att vidare undersöka intervallet för optimal dosering och se om det finns någon tydlig gräns för överdosering. Tre bägare (märkta I-K) fylldes med avloppsvattenprov från inloppet till flockningsbassängen. Polymer doserades enligt Tabell 8.

*Tabell 8. Höga polymerdoser för Försök 3 – avloppsvatten från inlopp flockningsbassäng.*

<b>Bägare</b>	<b>Polymerdos (ml)</b>
<b>I</b>	1,2
<b>J</b>	1,4
<b>K</b>	1,6

### ***Försök 4 – Återflockning av skivfilterslam***

En testserie med skivfilterslam genomfördes för att undersöka möjligheterna till återflockning av det slam som avskilts av skivfiltren. Sex bägare (märkta L-Q) fylldes med slam. Polymer doserades enligt Tabell 9.

*Tabell 9. Polymerdoser för Försök 4 – återflockning av slam från skivfilter.*

<b>Bägare</b>	<b>Polymerdos (ml)</b>
<b>L</b>	0
<b>M</b>	0,5
<b>N</b>	1
<b>O</b>	2
<b>P</b>	4
<b>Q</b>	6



## 6 Försök i samarbete med extern part

I samband med optimeringen av industriavloppsanläggningen så genomfördes två olika försök av representanter från leverantörer av kemikalier och ny utrustning. Försöken inkluderas i denna rapport då resultaten har stor relevans för examensarbetet.

### 6.1 Kemira – Försök med olika flockningskemikalier

Under felsökningen av polymerflockningen utförde Kemira ett antal flockningsförsök på Södra Cell Mörrums laboratorium. Man utförde då enklare ”jar tests”, med olika polymerer av varierande laddning och molekylstorlek, på två avloppsvattenprover hämtade från inloppet till flockningsbassängen vid olika tidpunkter. Syftet var att bedöma om Fennopol K8805 är lämplig som flockningskemikalie för processen eller om ett byte vore aktuellt.

Flockningsförmågan hos de olika polymererna bedömdes visuellt samt genom turbiditetsmätning på klarfasen efter sedimentering. Uppmätta turbiditeter för de två olika avloppsvattenproverna redovisas i Tabell 10.

*Tabell 10. Turbiditet i klarfas efter flockning med olika polymerer av varierande laddning och molekylvikt. I polymerernas benämning står K för katjonisk, medan A8931 är en anjonisk polymer.*

Polymer	Turbiditet (NTU)	
	Prov 1 Inlopp flockningsbassäng pH 3,8 susp 28 mg/l polymerdos 1 mg/l	Prov 2 Inlopp flockningsbassäng pH 4,4 susp 146 mg/l polymerdos 2 mg/l
K8805	7,9	5,4
K9981	10,1	5,9
K8980	10,3	5,6
K8989	11,8	6,5
K8959	9,1	6,1
K9952	8,8	6,6
K9903	7,9	7,4
A8931	14	5,7

Från Tabell 10 framgår det att pH-värdet förändrades något mellan de två provtagningarna. Polymerdosen ökades mellan de två flockningsförsöken eftersom susphalten (uppmätt med onlinemätare vid provtagningspunkten) i prov 2 var högre. Vad som är intressant är inte absoluta turbiditetsvärden, utan faktumet att K8805 ger bäst resultat i båda fallen.

## 6.2 Nordic Water – Försök med olika filterdukar

Efter problem med igensättningar av industriavloppets tre DynaDisc-skivfilter (med dåvarande 10 µm-filterdukar) genomförde Nordic Water försök med filterdukar av olika öppningsstorlek. Filtreringsförsöken genomfördes med hjälp av en speciell testtub designad för ändamålet, på flockat avloppsvatten hämtat direkt från inloppet till skivfiltren. Detta vid två separata tillfällen. Susphalt efter filtrering analyserades på SCM's laboratorium, och Nordic Water genomförde beräkningar på teoretisk ytbelastning. Samtliga resultat presenteras i Tabell 11.

Tabell 11. Resultat från skivfilterduktester.

Duköppningsstorlek	Susp efter filtrering (mg/l) 2020-03-04	Susp efter filtrering (mg/l) 2020-03-17	Teoretisk ytbelastning (m/h)
10 µm	2,2	-	17
20 µm	4,7	-	24
30 µm	2,4	-	26
40 µm	2,6	3,1	26
60 µm	2,6	-	27
80 µm	2,2	-	27
100 µm	2,6	4,7	27

Resultaten tyder på att det är möjligt att uppnå ett fullgott filtreringsresultat med duköppningsstorlekar upp till 100 µm. Detta förutsatt att flockningsprocessen fungerar, vilket var fallet vid båda de filterduktester som genomfördes. Samtliga filterdukar ger då en utgående susphalt som uppfyller projekt målet på <10 mg/l.

En liten öppningsstorlek riskerar att ge problem med igensättning av filterduken, både av partiklar vid dålig flockning och av överskottspolymer vid överdos. Det är dessutom svårare att backspola och rengöra dukar med små öppningar, något som demonstrerades tydligt vid filtreringsförsöken. En allt för stor öppningsstorlek å andra sidan kan orsaka genomsläpp av partiklar och därmed hög susphalt i effluenten om flockningen inte är fullständig.

Begreppet *ytbelastning* kan användas för att beskriva den hydrauliska kapaciteten hos ett skivfilter, och beräknas enligt nedan:

$$ytbelastning (m/h) = \frac{flöde(m^3/h)}{filterarea (m^2)} \quad (14)$$

Den teoretiska ytbelastningen ökar med öppningsstorleken, men bara upp till en viss nivå (se Tabell 11) varefter det inte längre lönar sig kapacitetsmässigt att gå upp i storlek.

Baserat på ovanstående beslutade man efter duktesterna att byta samtliga skivfilterdukar i industriavloppsreningen och öka öppningsstorleken från 10 µm till 40 µm.

## 7 Resultat och diskussion

Nedan presenteras och diskuteras de resultat som erhållits under examensarbetets gång. Indelningen är densamma som i metodbeskrivningen – *massbalans för slam* respektive *optimering av polymerflockning*.

### 7.1 Massbalans för slam

Då den nya industriavloppsanläggningen befann sig i en uppstartsfas under examensarbetets gång uppstod vissa svårigheter med att samla in data under konstanta driftsförhållanden. Byte av skivfilterdukar, problem med pumpar och suspmätare, igensättning av bandförtjockaren och dylikt har lett till att alla reningssystemets komponenter har varit i drift samtidigt under väldigt begränsade perioder. Fokus hamnade därför på att designa ett verktyg för beräkning av massbalans som enkelt kan matas med indata vid ett senare tillfälle.

I detta avsnitt presenteras resultatet av beräkningar med massbalansverktyget baserat på indata från fyra dygn i februari 2020. Dygnsmedelvärden för flöden och susphalter under perioden hämtades i labdatasystemet LOIS och matades in i Excel-kalkylbladet för indata.

Under mätperioden var Salsnes-bandförtjockaren ur drift, vilket innebär att processförhållandena var följande:

- Rejektvattnet från Kufferath-slamskivfiltret leddes till lamelledimenteringens inlopp. Därmed krävs ett antagande om avskiljningsgraden för att beräkna massbalansen. Denna sattes till 70 % baserat på tidigare erfarenheter från rejekthantering på SCM.
- Slam från de tre DynaDisc-skivfiltren gick till Kufferath-slamskivfiltret.

I övrigt får driftsförhållandena anses som normala under mätperioden – stabilt pH, normalt flöde och inga onormala utsläpp ifrån massafabrik eller kemikalieåtervinning.

#### 7.1.1 Rejektslam – vägning och torrhalt

Resultat av vägning och torrhaltsbestämning för utgående rejektslam presenteras i Tabell 12 och Tabell 13 nedan.

Tabell 12. Utgående rejektslam, totala dygnsvikter.

Utgående rejektslam, total vikt	
Datum	Vikt (ton)
2020-02-24	33,0
2020-02-25	31,3
2020-02-26	34,0
2020-02-27	59,0

Dygnsvikterna matades in i indataformuläret till massbalansen. Värt att notera är att dygnsvikten 2020-02-27 avviker markant från övriga värden.

Tabell 13. Invägning och beräknad torrhalt av slamprover vid två olika tillfällen. Form A, B och C innehöll slam hämtat från olika platser i slamhögen.

Form	2020-02-26			2020-02-27		
	A	B	C	A	B	C
Vikt form (g)	2,92	2,88	2,9	2,92	2,88	2,9
Vikt form + prov före ugn (g)	13,42	13,87	13,94	16,66	15,09	18,77
Vikt form + prov efter ugn (g)	5,99	6,74	7,27	7,18	8,07	8,69
Beräknad torrhalt (%)	29,2	35,1	39,6	31,0	42,5	36,5
Genomsnittlig torrhalt (%)	34,6			36,7		
Genomsnittlig torrhalt totalt (%)	35,7					

Torrhalten testades vid två tillfällen, på prov taget från tre olika ställen i högen med avskilt rejektslam. För fortsatta beräkningar användes ett genomsnitt av torrhalten i samtliga prover, som multiplicerades med dygnsvikterna (enligt ekvation (12) i avsnitt 5.1.5) vilket ger mängden torr substans i kg per dygn. Resulterade värden redovisas i Tabell 14.

Tabell 14. Utgående rejektslam, torra dygnsvikter.

Utgående rejektslam, torr vikt	
Datum	Vikt (kg)
2020-02-24	11 781
2020-02-25	11 174
2020-02-26	12 138
2020-02-27	21 063
Medelvärde	14 039

### 7.1.2 Beräknade massflöden

Efter inmatning av data från LOIS till massbalansens kalkylblad för indata beräknas massflödena automatiskt, och visas sedan i flödesschemat. På grund av flödesschemats storlek listas samtliga beräknade massflöden här i tabellform, se Tabell 15. För det resulterande flödesschemat i sin helhet hänvisas till Bilaga 2 – *Massbalans i Excel*.

Tabell 15. Beräknade massflöden. Genomsnittliga dygnsvärden baserat på indata från perioden 2020-02-24–2020-02-27.

<b>MASSFLÖDE</b>	<b>kg/dygn</b>
<b>Lamelledimentering</b>	
Blandningskammare → inlopp lamell	937
Diket (dagvatten) → inlopp lamell	386
Rejektvatten Kufferath-slamskivfilter → inlopp lamell	2502
Lamell → flockningsbassäng	4638
Lamell slam → Blandningskärl 1	955
Slamackumulering lamell	-1796
<b>Fibersedimentering</b>	
Fibersedimentering → pumphus	269
Fibersedimentering slam → Blandningskärl 1	2319
<b>Skivfilterhus</b>	
Skivfilter → pumphus	1706
Skivfilter slam → Blandningskärl 2	786
<b>Biorening</b>	
Biorening → pumphus	206
<b>Rejekthantering</b>	
Försilerirejektslam → Blandningskärl 1	4278
Totalt ingående slam Kufferath-slamskivfilter	8338
Utgående slam Kufferath-slamskivfilter	5837
<b>Tot. utgående</b>	
Pumphus	3125
Rejektslam	5837

I massbalansberäkningen avrundas de beräknade massflödena till heltal, vilket resulterar i de värden som presenteras i Tabell 15. Viktigt att nämna är att dessa beräkningar innefattar för många felkällor och antaganden för att ge ett så pass exakt resultat – om enskilda värden ska användas till något annat än jämförelser mellan massflöden bör de avrundas ytterligare.

Mängden utgående rejektslam var enligt massbalansen ungefär 5800 kg per dygn under den aktuella mätperioden, medan det uppmätta värdet är betydligt högre – ca 14 ton per dygn enligt Tabell 14. Nedan diskuteras möjliga förklaringar till denna stora avvikelse.

### **Jämförande analys**

Under mätperioden saknades jämförande analys för både försilerirejektslam och slam från lamelledimenteringen. Det innebär att uppmätta susphalter från onlinemätarna i dessa positioner är väldigt osäkra – dels för att inga labvärden finns tillgängliga för jämförelse under själva mätperioden, dels för att onlinemätarna inte blivit kontrollerade och justerade över tid.

Mätaren för försilerirejektslammet flyttades nyligen från försileriet till industriavloppet, och jämförande analys påbörjades 2020-05-05. Samtliga tillgängliga resultat listas i Tabell 16 nedan.

*Tabell 16. Jämförande analys för försilerirejektslam. TS = torrsubstanshalt, korrektionsfaktor = det värde som onlinemätningen behöver multipliceras med för att överensstämma med analysresultatet.*

<b>Datum</b>	<b>Onlinemätning (%)</b>	<b>Analysresultat TS (%)</b>	<b>Korrektionsfaktor</b>
2020-05-05	0,68	1,69	2,49
2020-05-06	0,42	0,62	1,48
2020-05-07	0,55	1,19	2,16
2020-05-08	0,43	0,77	1,79

Mätaren ligger för lågt vid samtliga analystillfällen, vilket den då troligtvis även gjorde under mätperioden för massbalansberäkningen. Mätaren kommer att justeras upp manuellt när ett lämpligt antal jämförande labvärden finns tillgängliga. För att justera den aktuella massbalansen beräknas en genomsnittlig korrektionsfaktor baserat på värden i Tabell 16:

$$\frac{2,49 + 1,48 + 2,16 + 1,79}{4} = 1,98 \approx 2 \quad (15)$$

Efter multiplikation med en faktor 2 enligt (15) blir det justerade massflödet för försilerirejektslam 8556 kg/dygn.

För suspmätning på slam från skivfilter och fibersedimentering finns tillgängliga värden från jämförande analys under mätperioden för massbalansberäkningen (2020-02-24 – 2020-02-27). Dessa presenteras i Tabell 17 tillsammans med genomsnittliga korrektionsfaktorer beräknade på samma sätt som i (15).



Tabell 17. Jämförande analys för skivfilterslam och slam från fibersedimentering.

Datum	Skivfilterslam			Slam från fibersedimentering		
	Online-mätning (mg/l)	Analysresultat Susp GFA (mg/l)	Korr. faktor	Online-mätning (mg/l)	Analysresultat Susp GFA (mg/l)	Korr. faktor
2020-02-24	4970	5318	1,07	1700	2259	1,33
2020-02-25	-	-	-	2073	2648	1,28
2020-02-26	1750	1748	1,00	3680	4803	1,31
2020-02-27	1930	2917	1,51	4300	3609	0,84
	Genomsnittlig korrektionsfaktor		1,2	Genomsnittlig korrektionsfaktor		1,2

Om mängderna skivfilterslam och slam från fibersedimenteringen multipliceras med 1,2 så blir de justerade massflödena i dessa positioner 943 respektive 2783 kg/dygn.

Den resulterande utgående rejektslammängden efter samtliga justeringar av slammassflöden blir enligt massbalansberäkningen 9266 kg/dygn. Värdet är betydligt högre än det ursprungliga, men avviker fortfarande från den uppmätta mängden på 14 ton. För slam från lamellsedimenteringen saknas fortfarande jämförande analys pga vissa svårigheter med provtagning i denna position. Om även denna mätare ligger lågt så skulle det förklara ytterligare en del av överskottet, men detta kan förstås inte antas utan behöver bekräftas med jämförande analyser.

#### ***Skillnaden mellan TS och suspenderade ämnen***

De flesta onlinemätare i industriavloppsanläggningen ger ett mätvärde på halten suspenderade ämnen (SÄ) i avloppsvattnet. Vid torrhhaltsbestämning av utgående slam analyseras den totala torrsustanshalten (TS) vilket inkluderar suspenderade ämnen såväl som mindre, icke-sedimenterande (kolloidala) partiklar och lösta nanopartiklar. I massbalansen såväl som i denna rapport baseras beräkningarna på antagandet

$$10\ 000\ \text{mg/l SÄ} = 1\ \% \text{ TS}$$

vilket skulle kunna vara en bidragande faktor till att den uppmätta mängden totalt utgående rejektslam är större än den beräknade.

#### ***Slamackumulering i lamell***

Massbalansberäkningar med indata från 2020-02-24 – 2020-02-27 antyder en stor negativ slamackumulering, större än mängden utgående slam, vilket kan avläsas Tabell 15. I praktiken skulle detta betyda en hög nivå av slamflykt, d.v.s. att partiklar från det sedimenterade bottenlamlagret virvlas upp av strömmande vatten och följer med det utgående vattenflödet. För att undvika detta rekommenderas ett bassängdjup på minst en meter (Helldén, 2017) vilket uppfylls med god marginal i lamellsedimenteringsbassängerna på SCM.

Med tidigare nämnda justeringar av massflödena för försilerirejektslam, skivfilterslam och slam från fibersedimenteringen blir den beräknade slamackumuleringen istället -299 kg/dygn. Detta resultat indikerar betydligt mindre slamflykt, vilket vore mer rimligt med tanke på det väl tilltagna bassängdjupet.

### 7.1.3 Alternativa flöden

Här diskuteras industriavloppets alternativa flöden, till viss del baserat på massbalansberäkningarna med indata från 2020-02-24 – 2020-02-27.

#### *Skivfilterslam*

Slam från DynaDisc-skivfiltren utgör en relativt liten del av den totala slammängden som inkommer till rejekthanteringen, enligt massbalansen mindre än 10 % under den aktuella perioden (8338 kg totalt, varav 786 kg skivfilterslam).

Skivfilterslamflödet kan växlas till Salsnes-bandförtjockaren med hjälp av alternativknapparna i massbalansverktyget. Om avskiljningsgraden sätts till 70 % för bandförtjockaren (samma som antagen avskiljningsgrad för slamskivfiltret) påverkas inte den totala mängden utgående rejektslam; med en högre avskiljningsgrad blir mängden något större.

Det är förstås svårt att uppskatta den faktiska avskiljningsgraden innan bandförtjockaren är driftsatt, men även om den sätts till 100 % ökar den utgående slammängden enligt massbalansen endast med 4 % (från 5837 kg till 6073 kg). En mer betydande fördel med att leda skivfilterslammet till bandförtjockaren är att det minskar belastningen på slamskivfiltret.

En annan aspekt som talar för att leda slamflödet till bandförtjockaren är slammets polymerinnehåll – i positionen före bandförtjockaren finns som tidigare nämnt möjlighet till ytterligare polymertillsats för återflockning av slam, med syftet att förbättra slamavvattningen i bandförtjockaren. Denna möjlighet diskuteras vidare i avsnitt 7.2.3 där resultat av flockningstester i laboratorieskala redovisas.

#### *Rejektvatten från slamskivfilter*

När rejecktvaattenflödet från slamskivfiltret går tillbaka till lamellsedimenteringen bidrar det till en stor del av den totala belastningen på denna (ca 65 % av det inkommande massflödet under den aktuella mätperioden).

Partiklarna i rejecktvaatnet är små nog att passera genom filterduken på slamskivfiltret. Därav finns anledning att misstänka att möjligheterna till sedimentering i lamellerna kommer vara begränsad, då tunga partiklar sedimenterar bäst medan lätta partiklar tenderar att stanna i suspension. Massbalansberäkningen ger stöd för denna teori – mängden utgående slam från lamellsedimenteringen motsvarar endast 25 % av det totala ingående massflödet.

Om rejecktvaattenflödet från slamskivfiltret växlas till Salsnes-bandförtjockaren i massbalansberäkningen (med hjälp av alternativknapparna i Figur 10) med en antagen avskiljningsgrad på 70 % ökar den totala mängden utgående rejektslam med 1751 kg, en ökning på 30 %. Dessa absoluta värden bör användas med försiktighet då beräkningen baseras på antaganden, men de visar på att det finns en stor potential för att ta ut mer slam ur systemet genom att leda rejecktvaattenflödet från slamskivfiltret till bandförtjockaren.

### ***Rejektvatten från bandförtjockare***

Eftersom bandförtjockaren inte var i drift under mätperioden finns inga mätvärden kopplade till denna, vilket betyder att massbalansen endast kan användas för en grov uppskattning med hjälp av en antagen avskiljningsgrad.

Om både skivfilterslam och rejektivatten från Kufferath-skivfiltret växlas till Salsnes-bandförtjockaren blir den teoretiska mängden ingående slam 3052 kg/dygn. Med en antagen avskiljningsgrad på 70 % betyder detta att rejektivattnet från bandförtjockaren skulle föra med sig ca 900 kg/dygn.

Om rejektivattnet leds till lamellsedimenteringen kommer en del av det suspenderade materialet sedimentera och en del gå vidare till flockningsbassängen. Återigen handlar det om partiklar som är små nog att passera igenom ett filter, i detta fallet Salsnes-bandförtjockarens filterduk, och därför kan möjligheterna till sedimentering vara begränsade. Om rejektivattenflödet istället leds till flockningsbassängen (där en stor del av massflödet troligtvis ändå kommer hamna) aggregeras de små partiklarna till flockar som kan avskiljas på efterföljande skivfilter.

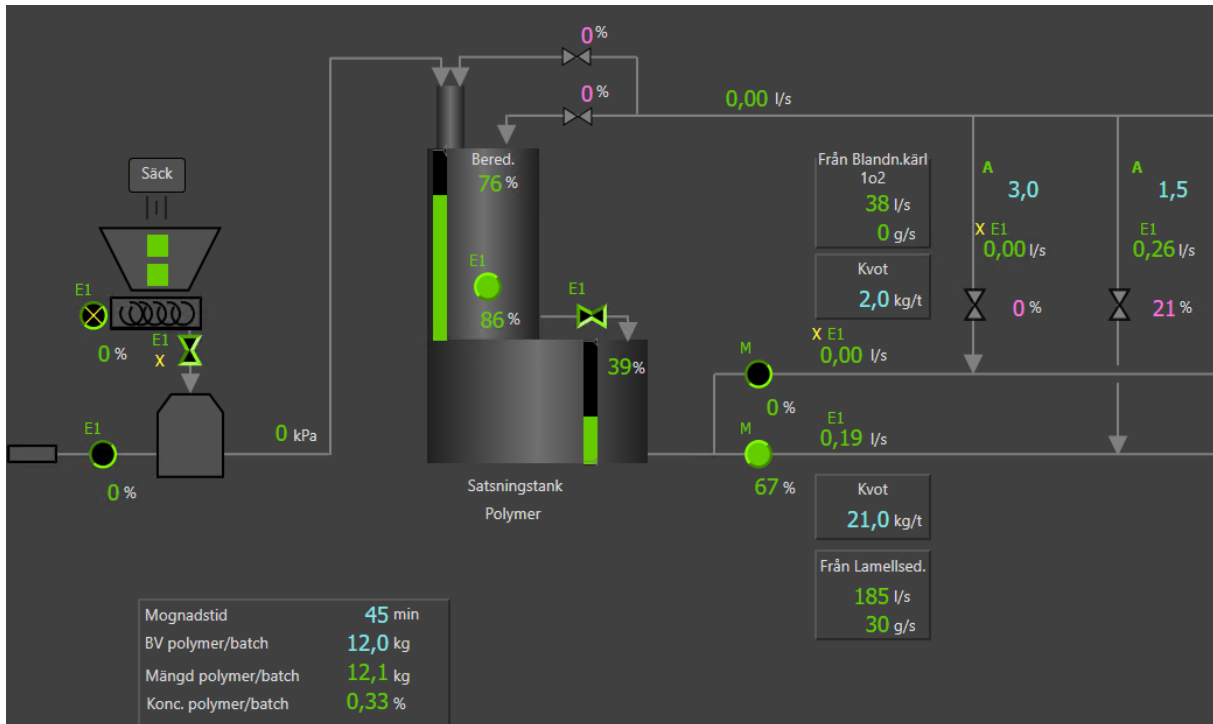
Det finns även möjlighet att styra rejektivattenflödet till lamellsedimenteringen eller flockningsbassängen automatiskt baserat på uppmätt susphalt. Med en sådan styrning kan en del av det suspenderade materialet avlägsnas i lamellsedimenteringen när halten är hög, och när den är låg kan allt gå direkt till flockningsbassängen.

## 7.2 Optimering av polymerflockning

I detta avsnitt presenteras och diskuteras alla resultat kopplade till polymerflockningsprocessen; beredning, dosering, polymergranulatets torrhalt samt optimal polymerkvot.

### 7.2.1 Polymerberedning och dosering

Polymerberednings- och doseringsprocessen kan övervakas (och vissa parametrar kan justeras) via styrsystemet, en ögonblicksbild av detta visas i Figur 14.



Figur 14. Styrsystems bild av polymerberedning och dosering.

Man har tidigare beslutat att polymerkoncentrationen bör ligga på 0,3 % (motsvarande 3 g/l), ett värde som ger en lämplig viskositet på polymerlösningen. Mängden polymer per batch är inställbar i styrsystemet, Figur 14 visar att denna mängd är satt till 12,0 kg.

Vattenflödet till beredningstanken startar i början av beredningssekvensen och stoppas av en nivågivare när tanken är fylld till 76 %. Beredningstanken har höjden 1,62 m och diametern 1,989 m. Den fyllda volymen i tanken kan beräknas enligt följande:

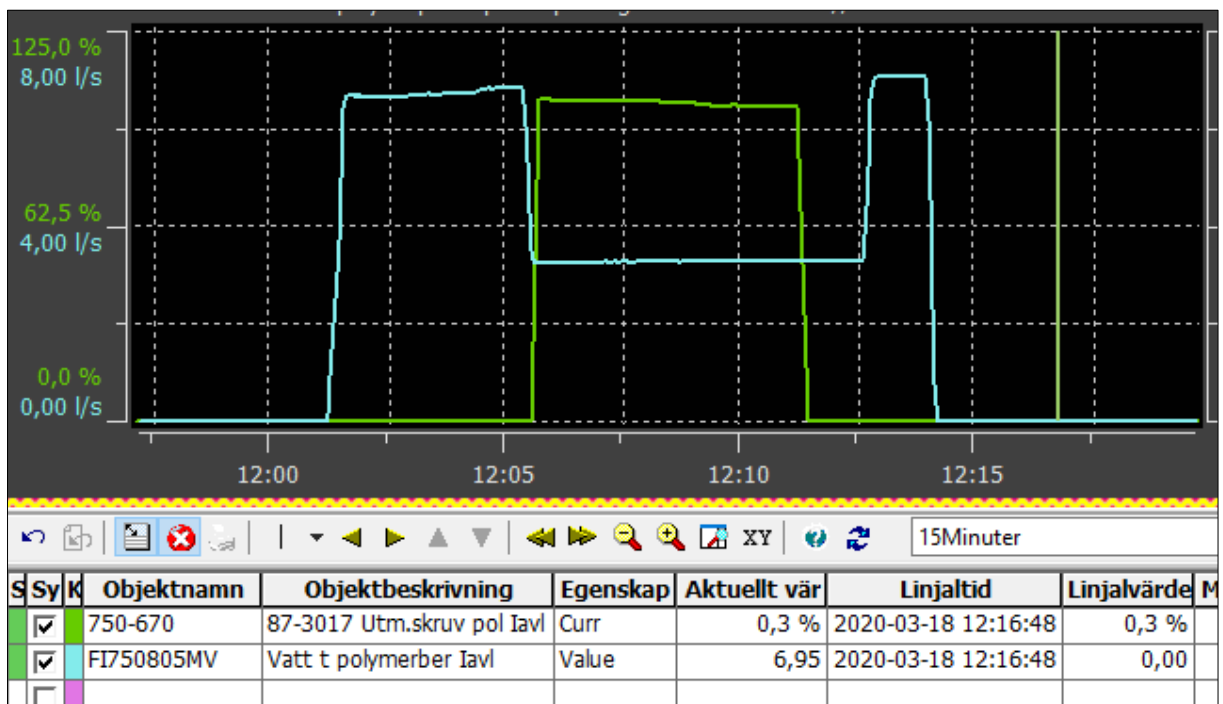
$$V = \pi \cdot \left(\frac{1,989}{2}\right)^2 \cdot 1,62 \cdot 0,76 = 3,83 \text{ m}^3 \quad (16)$$

Med given polymermängd och tankvolym kan den teoretiska polymerkoncentrationen beräknas:

$$polymerkonc. = \frac{\text{mängd polymer/batch}}{\text{vattenvolym i beredningstank}} = \frac{12,0 \text{ kg}}{3,83 \text{ m}^3} = 3,13 \text{ g/l} \quad (0,31 \%) \quad (17)$$

När beredningsprocessen designades användes sambanden i ekvation (16) och (17) omvänt för att välja polymermängden och stoppnivån på 76 % som ger önskad koncentration.

Anledningen till att styrsystemet visar en något annorlunda siffra (0,33 %, se Figur 14) är att koncentrationen istället beräknas baserat på polymerskruvens gångtid och det ackumulerade tillflödet av vatten. Skruven transporterar 0,0348 kg torrt polymergranulat per sekund, och flödet mäts kontinuerligt med en permanent flödesmätare. Under beredning av en batch aktiveras polymerskruv och vattenflöde enligt Figur 15 nedan.



Figur 15. Aktivering av polymertransportskruv och vattenflöde under beredning av en batch polymerlösning. Grön linje visar när skruven startar och stängs av. Blå linje visar aktuellt vattenflöde in till blandningstanken (l/s).

Från grafen i Figur 15 kan polymerskruvens aktiverade period avläsas till ca 345 sekunder, vilket innebär att den beräknade tillsatta polymermängden blir  $0,0348 \cdot 345 = 12,006 \text{ kg}$ . I styrsystemet delas sedan detta värde med ackumulerat vattenflöde:

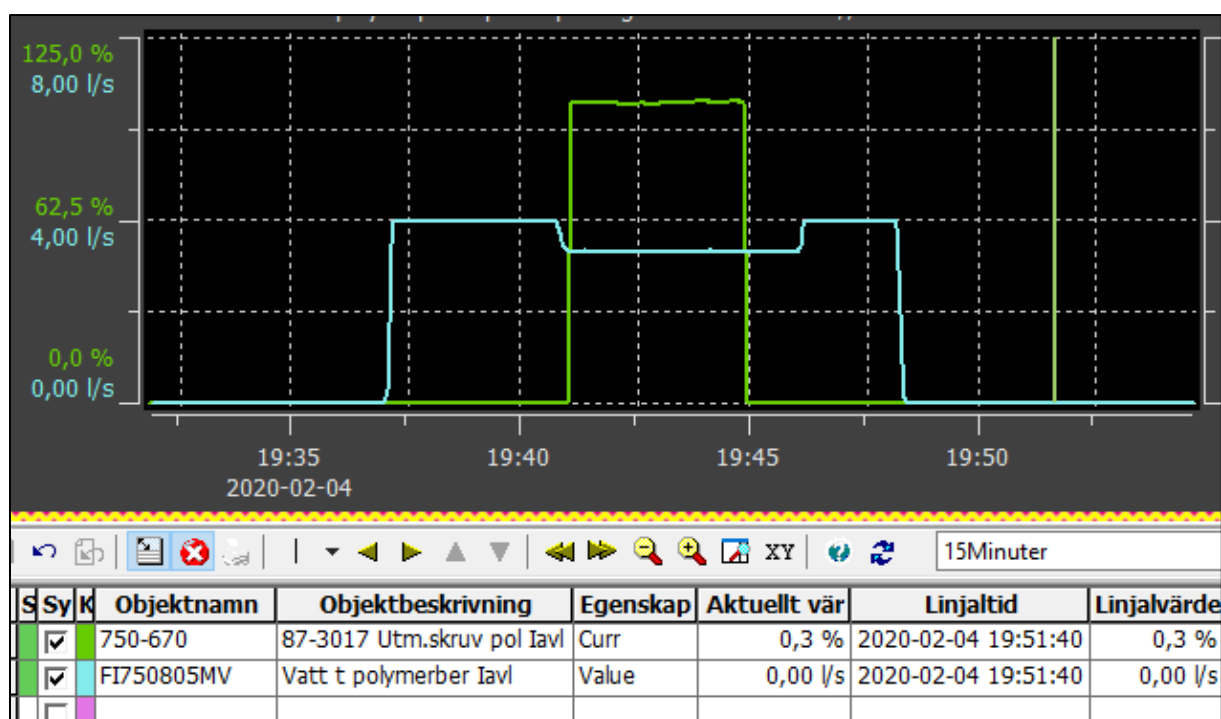
$$polymerkonc. = \frac{\text{massflöde skruv} \cdot \text{gångtid}}{\int_{\text{start}}^{\text{stopp}} \text{vattenflöde}} \quad (18)$$

vilket resulterar i den polymerkoncentration som anges i Figur 14.

### Korrektion av flödesmätare

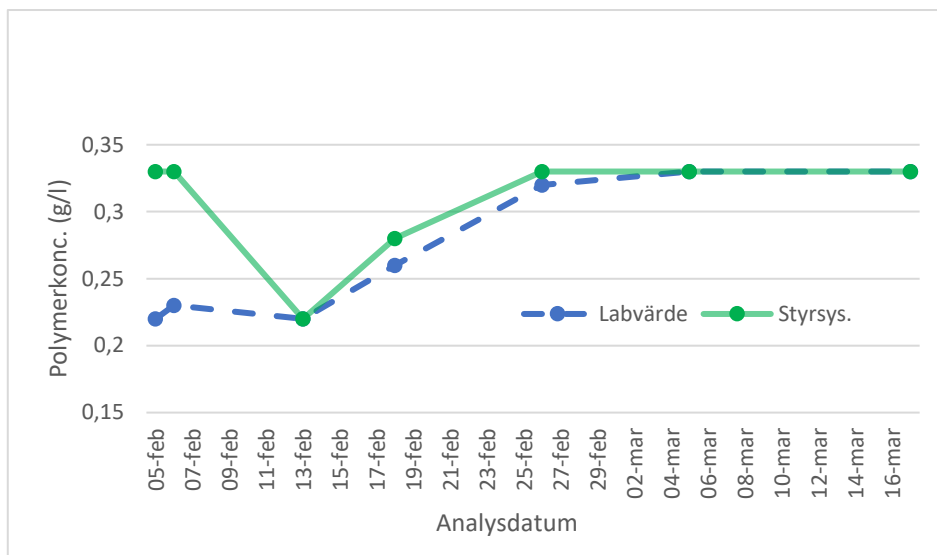
Differensen mellan de två beräkningssätten ovan får ses som acceptabel, men när utredningen av polymerberedningen påbörjades var skillnaden betydligt större. Polymermängden var vid den tidpunkten inställd till 8 kg per batch. Styrsystemet angav samma beräknade polymerkoncentration som ovan (3,3 g/l) medan test på lab visade att polymerlösningens koncentration endast uppgick till 2,2 g/l. Labvärdet överensstämde med beräkning baserat på tankens dimensioner (enligt ekvation (16) och (17)).

En avgörande felkälla som upptäcktes var att flödesmätaren hade en inbyggd begränsning på 4 l/s, vilket ledde till att det uppmätta flödet var betydligt lägre än det verkliga. Begränsningen syns på den blå linjen i Figur 16 (jfr. motsvarande linje i Figur 15).



Figur 16. Aktivering av polymertransportskruv och vattenflöde under beredning av en batch polymerlösning, före felsökning. Grön linje visar när skruven startar och stängs av. Blå linje visar aktuellt vattenflöde in till blandningstanken (l/s) med en inbyggd begränsning på 4 l/s.

Flödesmätarens tak justerades upp från 4 till 8 l/s den 11 februari 2020, och därefter har polymerkoncentrationen som anges i styrsystemet stämt väl överens med den koncentration som erhålles vid analys på lab – detta faktum visualiseras i Figur 17.



Figur 17. Resultat från jämförande analys av polymerkoncentration. Grön, heldragen linje visar styrsystems värden. Blå, streckad linje visar analysresultat från lab.

### 7.2.2 Torrhalt polymergranulat

Torrhalten hos det torra polymergranulatet testades vid två olika tillfällen, med provuttag från två olika säckar. Resultat från dessa försök presenteras i Tabell 18 nedan.

Tabell 18. Vikter och beräknad torrhalt av polymergranulat.

Försök	Formens vikt (g)	Vikt form + prov före torkning (g)	Vikt form + prov efter torkning (g)	Beräknad torrhalt (%)
1	2,88	10,06	9,77	96,0
2	2,87	10,20	9,89	95,8

Granulatets torrhalt, som vid båda försöken låg på cirka 96%, bedöms vara tillräckligt hög för att inte påverka polymerens funktion.

### 7.2.3 Flockningstest (jar test)

Nedan presenteras och diskuteras resultaten av de flockningstester som genomfördes på avloppsvattenprover från inloppet till flockningsbassängen samt på slam från skivfiltren.

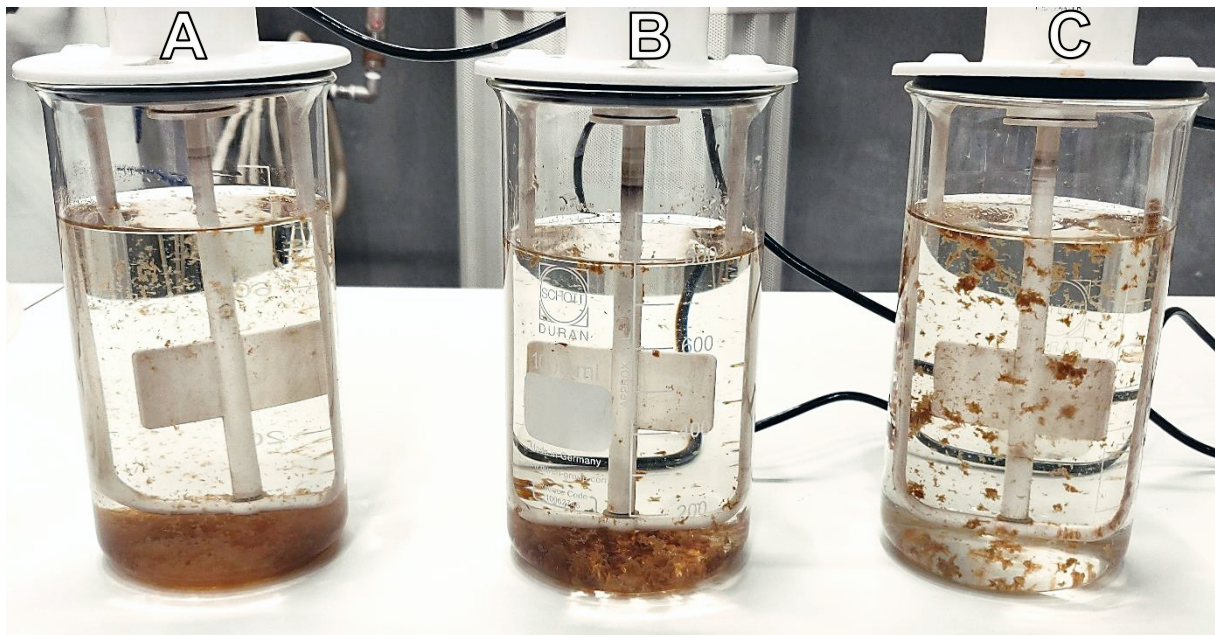
#### *Försök 1 – Effekt av över/underdosering*

I Tabell 19 redovisas beräknade polymerkvoter och uppmätt turbiditet efter omrörningssekvensens slut för flockningsbägare A-C. Resultatet visar att polymerkvoten har stor inverkan på turbiditeten, speciellt vid underdosering.

*Tabell 19. Försök 1 – avloppsvatten från inlopp flockningsbassäng. Varierande polymerdoser, motsvarande polymerkvoter och resulterande turbiditet.*

Bägare	Polymerdos (ml)	Kvot (kg polymer/ton susp)	Turbiditet (NTU)
A	0,2	3,7	1,7
B	1	18,7	0,6
C	2	37,3	1,0

Figur 18 visar bägare A-C för en visuell bedömning av flockningsegenskaperna. Den låga dosen ger små flockar samt lämnar en del synliga partiklar i klarfasen. Vid en mer lämplig dosering erhålls stora, kompakta flockar som sedimenterar snabbt och lämnar en renare klarfas. Även den höga dosen ger stora flockar, men med sämre sammanhållning och större tendens att flyta upp till ytan samt klibba fast vid bägarens väggar.



*Figur 18. Försök 1 – avloppsvatten från inlopp flockningsbassäng. Från vänster till höger: underdosering (bägare A), lämplig dosering (bägare B) och överdosering (bägare C).*

Resultaten tyder på att en låg polymerdos ger problem med kvarvarande partiklar i vattnet, vilket kan leda till en önskat hög susphalt i effluents samt igensättning av skivfilterdukar. Den höga dosen har inte lika stor inverkan på turbiditeten, men påverkar flockarnas



egenskaper negativt och medför en risk för problem med flytslam och slambeläggningar på utrustning i reningsverket.

### **Försök 2/3 – Serie med låga/höga doser**

Beräknade polymerkvoter och uppmätt turbiditet för de två serierna med låga och höga polymerdoser redovisas i Tabell 20 och Tabell 21 nedan.

*Tabell 20. Försök 2 – avloppsvatten från inlopp flockningsbassäng. Låga polymerdoser, motsvarande polymerkvoter och resulterande turbiditet.*

<b>Bägare</b>	<b>Polymerdos (ml)</b>	<b>Kvot (kg polymer/ton susp)</b>	<b>Turbiditet (NTU)</b>
<b>D</b>	0,25	4,7	1,5
<b>E</b>	0,40	7,5	0,3
<b>F</b>	0,55	10,3	0,5
<b>G</b>	0,70	13,1	0,6
<b>H</b>	0,85	15,9	0,8

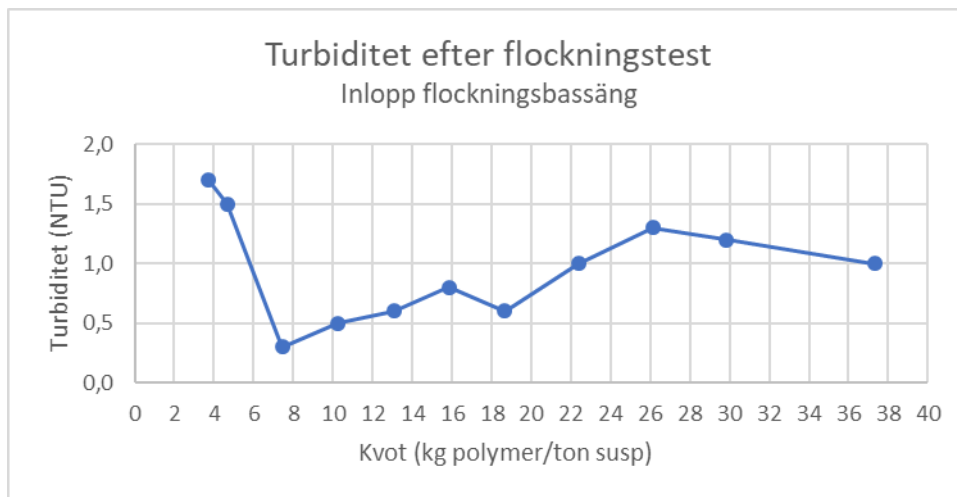
*Tabell 21. Försök 3 – avloppsvatten från inlopp flockningsbassäng. Höga polymerdoser, motsvarande polymerkvoter och resulterande turbiditet.*

<b>Bägare</b>	<b>Polymerdos (ml)</b>	<b>Kvot (kg polymer/ton susp)</b>	<b>Turbiditet (NTU)</b>
<b>I</b>	1,2	22,4	1,0
<b>J</b>	1,4	26,1	1,3
<b>K</b>	1,6	29,9	1,2

Resultaten antyder att det finns en tydlig gräns för underdosering, då turbiditeten minskar kraftigt när polymerkvoten ökas från 4,7 till 7,5. Påverkan på turbiditeten vid höga doser är inte lika direkt, utan sker gradvis.

### **Sammanställning av försök 1–3**

Figur 19 visar sammanställda data från de tre flockningsförsöken på avloppsvattenprov taget från inloppet till flockningsbassängen.



Figur 19. Turbiditet efter flockningstest med olika polymerkvoter.

Resultaten tyder på att det finns en optimal dos av FennoPol K8805 för flockning av industriavloppsvattnet, att underdosering ger en betydligt sämre effekt och att högre doser inte ökar prestandan. Detta går i linje med slutsatser från tidigare flockningsförsök med katjonisk polyakrylamid som finns beskrivna i litteraturen, och ses därför som ett rimligt resultat.

Figur 19 visar att polymerkvoten teoretiskt bör ligga på 7-10 kg polymer per ton susp, då dosering inom detta intervall ger lägst turbiditet i klarfasen. I laboratorieskala är polymerberedning, dosering och inblandningsförhållanden noggrant kontrollerade, och det är troligt att flockningsprocessen är något mindre effektiv vid automatiserad drift i större skala. I en studie där man genomfört både ”jar tests” och efterföljande pilotförsök med filtrering visade det sig att den dos som krävdes för att förbättra filtrets prestanda var något högre än optimala dosen i laboratorieskala (Rawlings *et al.*, 2006).

Med ovanstående i beaktning är det lämpligt att lägga till en viss marginal när resultaten i Figur 19 appliceras på den verkliga processen på SCM, förslagsvis genom att öka kvoten till 9-12 kg polymer per ton susp. För ett industriavloppsvatten med en genomsnittlig susphalt på 150 mg/l motsvarar detta en polymerförbrukning mellan 1,35 och 1,80 mg/l.

#### **Försök 4 – Återflockning av skivfilterslam**

Slam från skivfiltren innehåller redan en viss mängd polymer från flockningsprocessen i tidigare reningssteg, men flockarna i detta slam har sönderdelats vid avskiljning och pumpning. Försök 4 syftade till att undersöka möjligheterna till återflockning av skivfilterslam för att optimera efterföljande bandförtjockning. Resultatet presenteras i Tabell 22 samt Figur 20 och Figur 21.

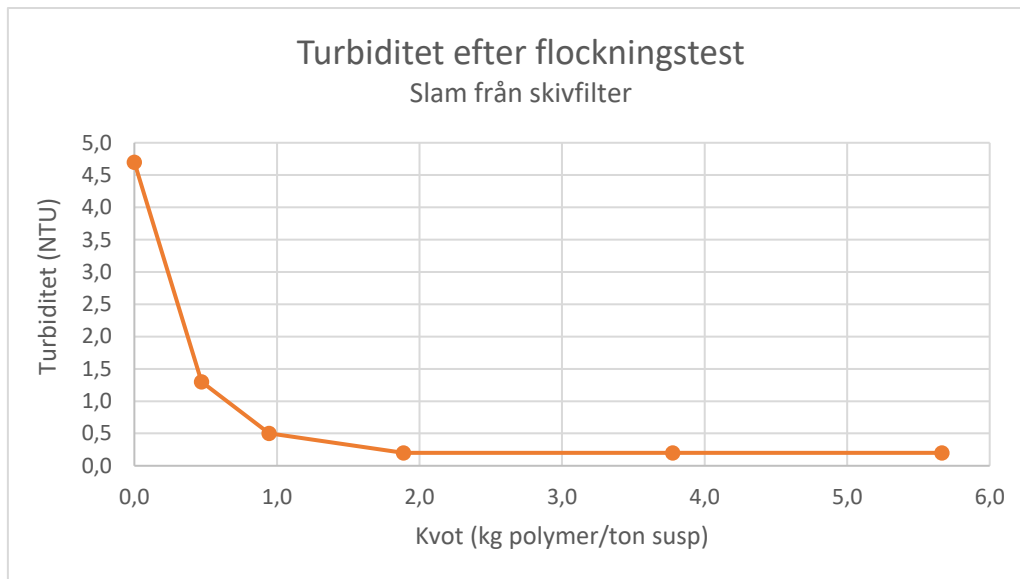
Tabell 22. Försök 4 – återflockning av slam från skivfilter. Polymerdos, motsvarande polymerkvoter och resulterande turbiditet.

Bägare	Polymerdos (ml)	Kvot (kg polymer/ton susp)	Turbiditet (NTU)
L	0	0	4,7
M	0,5	0,5	1,3
N	1	0,9	0,5
O	2	1,9	0,2
P	4	3,8	0,2
Q	6	5,7	0,2

Turbiditetsmätningar visar att dosering med en relativt låg polymerkvot har stor effekt på mängden partiklar i klarfasen. I Figur 20 är det synligt att klarfasen blir renare med en högre polymerdos, men också att slamvolymen ökar.



Figur 20. Försök 4 – återflockning av industriavloppsslam. Från vänster till höger: Endast omrörning (bägare L), ökande polymerdos (bägare M-Q).



*Figur 21. Turbiditet efter flockningstest med olika polymerkvoter.*

Från Figur 21 framgår tydligt att goda reningsresultat kan uppnås genom tillsats av ytterligare polymer i laboratorieskala. Som tidigare nämnt så rekommenderas tillägg av en viss marginal vid dosering i den verkliga processen. En kvot på ca 2-3 kg polymer per ton susp verkar lämplig utifrån detta resonemang.

De samlade resultaten från genomförda flockningstester visar att det krävs en betydligt lägre polymerkvot för återflockning av industriavloppsslam än för flockning av inkommande industriavloppsvatten till flockningsbassängen. Slammet består till stor del av sönderslagna polymerflockar och det är tänkbart att en del av detta polymerinnehåll återanvänds när en ny flockningsprocess startas. En annan möjlig förklaring är att optimal dos inte är helt och hållet linjärt relaterad till susphalten i mediet där flockningen sker. Eftersom flockningsprocessen kräver att suspenderade partiklar kolliderar med varandra och med flockningsmedlet verkar det rimligt att en högre susphalt leder till bättre förhållanden, och därmed minskar mängden flockningsmedel som krävs.

## 8 Slutsatser

På grund av svårigheter att samla in data under konstanta driftsförhållanden under examensarbetets gång har fokus istället legat på att designa ett verktyg för beräkning av massbalans som enkelt kan matas med indata vid ett senare tillfälle. Detta massbalansverktyg konstruerades i Excel och består av ett kalkylblad för inmatning av data, ett blad för beräkningar av massflöden och ett blad som visuellt presenterar massbalansen och dess massflöden i ett flödesschema. I flödesschemat är det även möjligt att mata in uppskattade avskiljningsgrader samt växla alternativa flödesvägar för slam och rejektvatten, vilket möjliggör en enkel modellering av hur sådana förändringar påverkar systemet.

Vissa slutsatser kan dras från massbalansberäkningar som genomförts med indata från perioden 2020-02-24 – 2020-02-27. Den beräknade mängden utgående rejektslam avviker stort från den verkliga mängden vid vägning och torrhaltsbestämning under denna period. Detta beror troligtvis i hög grad på felaktiga mätvärden från onlinemätare för susphalt. När dessa mätare justeras baserat på jämförande analyser framöver bör även massflödesberäkningarnas riktighet förbättras.

Avskilt slam från de tre skivfiltren bör ledas till bandförtjockaren. Detta för att avlasta slamskivfiltret samt utnyttja möjligheten till återflockning av slammet. Rejektvatten från slamskivfiltret bör även det ledas till bandförtjockaren, för att maximera det totala slamuttaget från industriavloppet. Rejektvatten från bandförtjockaren kan ledas till lamellsedimenteringen eller flockningsbassängen beroende på susphalt. Det finns anledning att tro att större delen av massflödet kommer nå flockningsbassängen oavsett vart rejektvattnet leds, eftersom partiklarna i detta flöde kan vara svårsedimenterade då de är små nog att passera igenom bandförtjockarens filterduk.

Resultat från laborieförsök tyder på att FennoPol K8805 är ett lämpligt val av flockningsmedel för industriavloppsanläggningen på Södra Cell Mörrum. I litteraturen nämns många fördelar med att använda enbart en katjonisk polyakrylamid som flockningsmedel – en låg kemikaliedos kan ge hållbara, kompakta flockar, den producerade slammängden blir relativt låg och processen bör tåla variationer i det inkommande avloppsvattnet.

Polymergranulatets torrhalt har testats och bedöms vara tillräckligt hög för att inte påverka flockingsresultatet.

Polymerberedningssekvensen ger i nuläget en lösning med korrekt koncentration efter de justeringar som beskrivs i avsnitt 7.2.1. Koncentrationen kan beräknas på två olika sätt:

- Baserat på beredningstankens volym och inställd mängd polymer [kg] per batch
- Baserat på ackumulerat vattentillflöde och polymerskruvens gångtid

Resultaten av dessa två beräkningar bör givetvis överensstämja, därav kan de vara användbara vid felsökning av polymerberedningen. Eftersom polymerlösningens koncentration är en avgörande faktor för korrekt dosering så bör den kontrolleras på lab med jämna mellanrum för att säkerställa att inget förändrats.

Vid doseringspunkten i flockningsbassängens inlopp bör polymerkvoten vara inställd på mellan 9 och 12 kg torrt polymergranulat per ton suspenderade ämnen i avloppsvattnet. Detta för att uppnå tillräcklig flockbildning genom laddningsneutralisering och bryggbildning mellan suspenderade partiklar, utan att riskera överdosering som kan leda till beläggningar och igensättning av utrustning.

Flockningsprocessen bör genomföras vid pH 3-5. Vid tidigare pilotförsök på SCM uppnåddes lägst susphalt efter flockning och filtrering vid pH <5, vilket överensstämmer med litteraturen – katjonisk polyakrylamid har visats fungera över ett brett pH-intervall med optimal funktion i sura lösningar. Dock bör avloppsvattnet ej understiga pH 3, detta för att minimera slitage på utrustning och undvika hydrolys av flockningsmedlet.

Resultat från Nordic Waters filtreringsförsök tydde på att ett skivfilterdukbyte vore lämpligt, något som också genomfördes på SCM i april 2020. Nya dukar med porstorlek 40 µm innebär goda förutsättningar för att hålla anläggningen i drift och undvika igensättningar.

Återflockning av industriavloppsslam verkar genomförbart med en relativt låg polymerkvot (2-3 kg polymer per ton susp) jämfört med den initiala flockningsprocessen. Detta beror troligtvis på att slammet redan har ett visst polymerinnehåll, samt att den betydligt högre susphalten innebär fler kollisioner mellan partiklar.

Med onlinemätare korrekt justerade utifrån jämförande analyser, en fungerande flockningsprocess enligt ovan, lämpliga filterdukar på skivfiltren och genomtänkt styrning av de interna flödena av slam och rejektivatten finns goda möjligheter att uppnå projektmålet på <10 mg/l suspenderade ämnen i effluenten från industriavloppet.

## 9 Framtida studier

Nästa steg för arbetet med massbalansen på SCM blir att samla in data under längre perioder med alla industriavloppsanläggningens komponenter i drift. För att få balansen att gå ihop krävs dessutom justeringar av vissa suspnätare baserat på fler jämförande analyser.

Resonemanget kring de optimala polymerkvoterna för flockning av industriavloppsvatten och återflockning av skivfilterslam i denna rapport baseras på flockningsförsök med prover från ett enskilt tillfälle. Med ytterligare försök skulle det vara möjligt att ge mer exakta och tillförlitliga rekommendationer. Det vore även intressant att testa hur olika omrörningshastigheter i flockningsbassängens olika sektioner påverkar flockningsprocessen.

Ett förslag för vidare efterforskningar är att undersöka vilka halter av specifika ämnen som finns de olika avloppen och hur dessa avskiljs i olika reningssteg. Uppdelningen för avloppshantering ser väldigt olika ut på olika massabruk, och ofta har dessa reningsverk uppgraderats stegvis i takt med att tekniken utvecklats och utsläppskraven skärpts. Det vore intressant att göra en sammanställning av alla varianter som finns och undersöka vilken strategi som är den mest effektiva, baserat på de ämnen som förekommer i de olika avloppsströmmar som uppstår vid sulfatmassaproduktion.





## 10 Referenser

- Bolto, B.A., Dixon, D.R., Gray, S.R., Chee, H., Harbour, P.J., Ngoc, L. & Ware, A.J., 1996. The use of soluble organic polymers in waste treatment. *Water Science and Technology*, 34(9), pp. 117-124.
- Bolto, B. & Gregory, J., 2007. Organic polyelectrolytes in water treatment. *Water Research*, Volume 41, pp. 2301-2324.
- Bratby, J., 2016. *Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment*. 3:rd ed. London: IWA Publishing.
- Davis, M. L., 2010. *Water and Wastewater Engineering - Design Principles and Practice*. 1 ed. Michigan: McGraw-Hill.
- Frisk, E., 2019. *Statistisk ordbok*. [Online]  
Tillgänglig: <https://www.statistiskordbok.se/ord/frihetsgrader/>  
[Hämtad 2020-04-30].
- Fölster, J. & Rönnback, P., 2015. *Turbiditet som mått på suspenderat material och totalfosfor*, s.l.: SLU, Vatten och miljö.
- Gillberg, L., Hansen, B., Karlsson, I., Nordström Enkel, A., & Pålsson, A., 2003. *Konsten att rena vatten*. 1 ed. Helsingborg: Kemira Kemwater.
- Heitner, H. I., 2004. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology - Flocculating Agents*, New York: Wiley.
- Helldén, J., 2017. *Sedimentering*. [Online]  
Tillgänglig: <http://atgardsportalen.se/metoder/vattenreningsmetoder/sedimentering>  
[Hämtad 2020-05-12].
- Huang, S.-Y., Lipp, D. W. & Farinato, R. S., 2001. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology - Acrylamide Polymers*, New York: Wiley.
- Hytteborn, J. & Dimberg, A., 2018. *Utsläpp till vatten och slamproduktion 2016*, s.l.: SCB.
- Jekel, M. & Gimbel, R., 2016. *ULLMANN'S Encyclopedia of Industrial Chemistry - Water, 4. Treatment by Flocculation and Filtration*, Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.
- Ma, J., Fu, K., Jiang, L., Ding, L., Guan, Q., Zhang, S., Zhang, H., Shi, J., & Fu, X., 2017. Flocculation performance of cationic polyacrylamide with high cationic degree in humic acid synthetic water treatment and effect of kaolin particles. *Separation and Purification Technology*, Volume 181, pp. 201-212.
- Naturvårdsverket, 2016. *Vägledning om industriutsläppsbestämmelser*, Stockholm: Naturvårdsverket.
- Naturvårdsverket, 2017. *Utsläpp av näringsämnen*. [Online]  
Tillgänglig: <https://utslappisiffror.naturvardsverket.se/Utslapp-till->

vatten/Dataunderlag/Utslapp-av-naringsamnen/  
[Hämtad 2020-05-03].

Naturvårdsverket, 2019. *Utsläpp av växthusgaser från industrin*. [Online]  
Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Vaxthusgaser-utslapp-fran-industrin/>  
[Hämtad 2020-03-24].

Norrström, H. & Karlsson, M., 2015. *Miljösituationen i skogsindustrirecipienter*, Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet.

Qian, J. W., Xiang, X. J., Yang, W. Y., Wang, M. & Zheng, B. Q., 2004. Flocculation performance of different polyacrylamide and the relation between optimal dose and critical concentration. *European Polymer Journal*, 40(8), pp. 1699-1704.

Rawlings, M. M., Fitzpatrick, C. S. B., Gregory, J. & Wetherill, A., 2006. The effect of polymeric flocculants on floc strength and filter performance. *Water Science & Technology*, 53(7), pp. 77-85.

Ray, D. T. & Hogg, R., 1987. Agglomerate Breakage in Polymer-Flocculated Suspensions. *Journal of Colloid and Interface Science*, 116(1), pp. 256-268.

Skogsindustrierna, 2018. *Miljöarbete i skogsindustrin*. [Online]  
Tillgänglig: <https://www.skogsindustrierna.se/om-skogsindustrin/branschstatistik/miljoarbete-i-skogsindustrin/>  
[Hämtad 2020-05-03].

Solberg, D. & Wågberg, L., 2003. On the mechanism of cationic-polyacrylamide-induced flocculation and re-dispersion of a pulp fiber dispersion. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 18(1), pp. 51-55.

Sweco Environment AB , 2013. *Västerorts framtida avloppsvattenrening*, Stockholm: Sweco.

Wirtanen, K. & Manselin, S., 2018. *Pilotförsök på renvattenavlopp Södra Cell Mörrum*, s.l.: Goodtech.

Wong, S. S., Teng, T. T., Ahmad, A. L., Zuhairi, A. & Najafpour, G., 2005. Treatment of pulp and paper mill wastewater by polyacrylamide (PAM) in polymer induced flocculation. *Journal of Hazardous Materials*, 135(1-3), pp. 378-388.

Väänänen, J., Cimbritz, M. & la Cour Jansen, J., 2016. Microsieving in primary treatment: effect of chemical dosing. *Water Science & Technology*, 74(2), pp. 438-447.

Yeh, H.-H. & Ghosh, M. M., 1981. Selecting polymers for direct filtration. *Journal (American Water Works Association)*, 73(4), pp. 211-218.

Zhang, Z., Zheng, H., Huang, F., Li, X., He, S., & Zhao, C., 2016. Template Polymerization of a Novel Cationic Polyacrylamide: Sequence Distribution, Characterization, and Flocculation Performance. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 55(37), pp. 9819-9828.

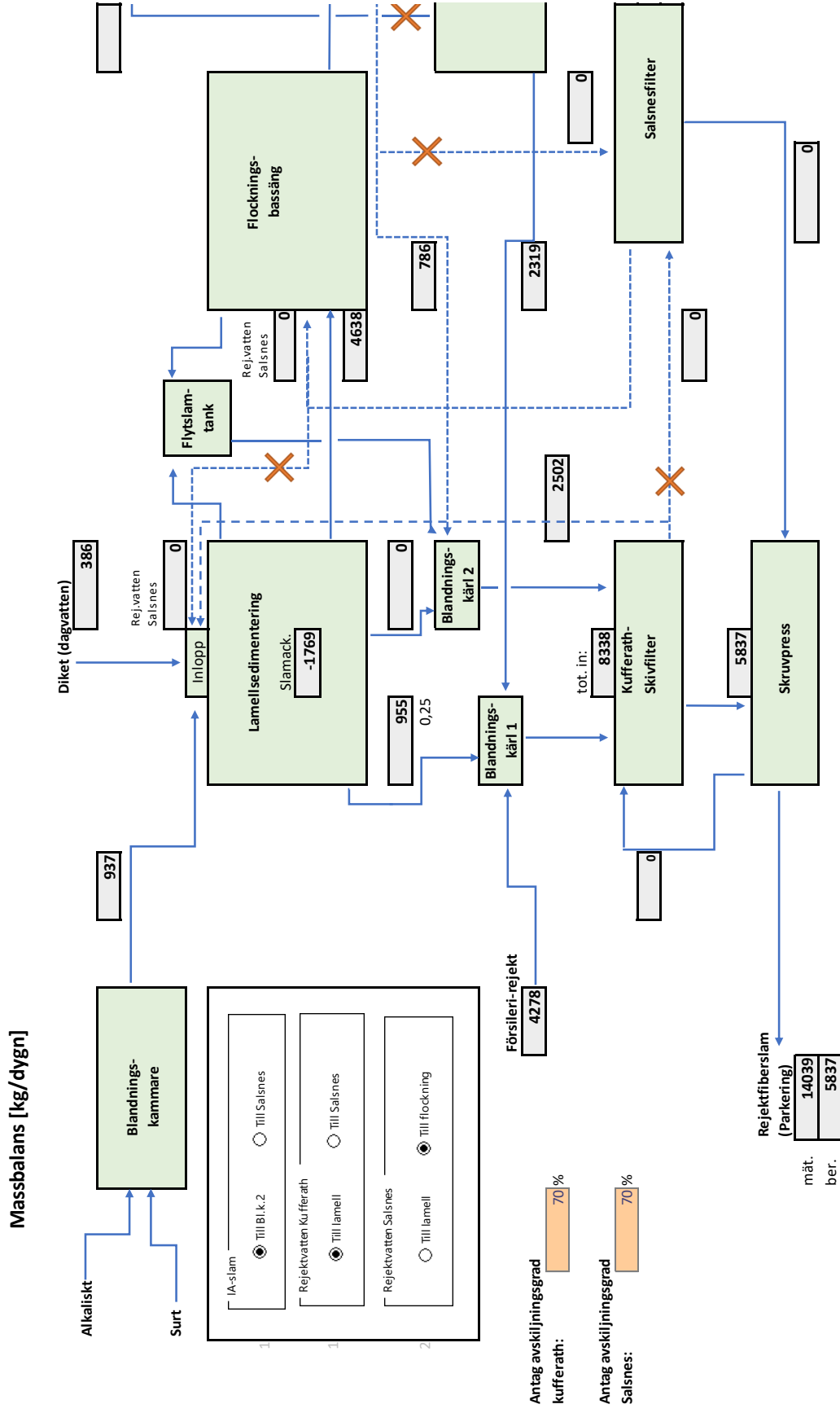
# Bilaga 1 – Instrumentlista

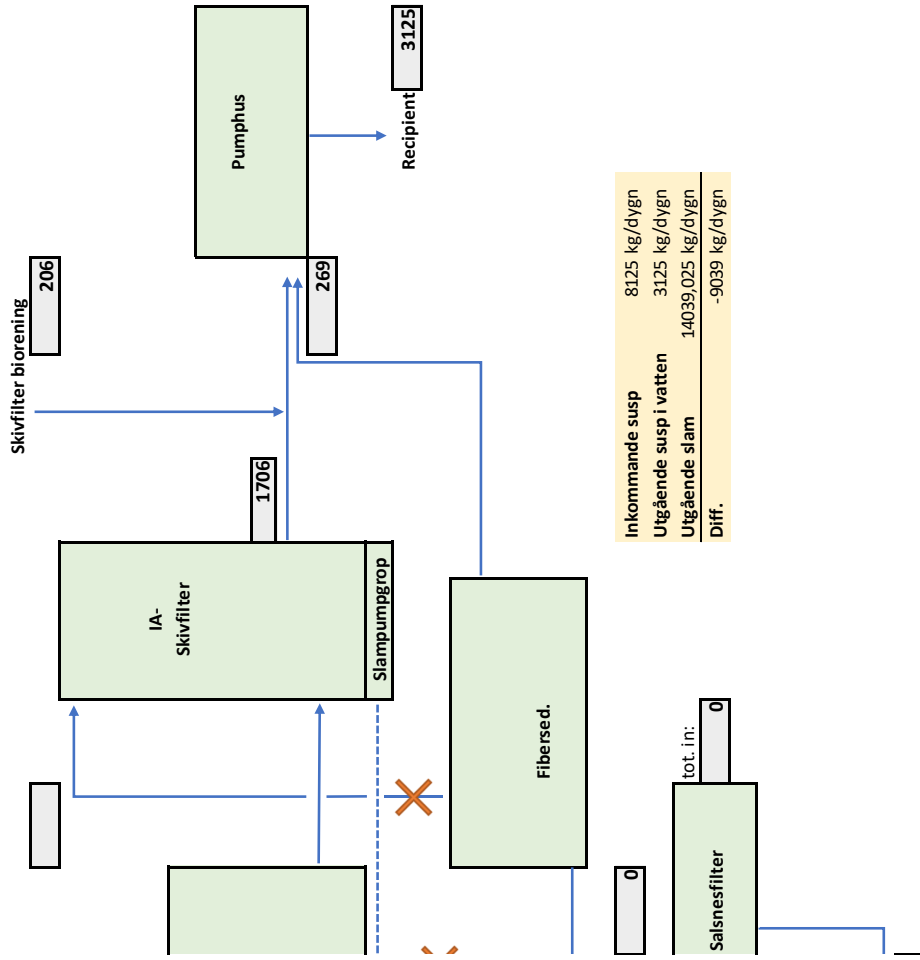
Susp (mg/l)		Flöde (l/s)	
Ut från blandningskammare	QI750434	Alkaliskt avlopp → blandningskammare	FI750431
		Surt avlopp → blandningskammare	Mätning fungerar ej. Räkna med ca 10l/s
Diket (dagvatten)	QI750672	Diket (dagvatten)	FI750456
Lamell → flockningsbassäng	QI750624	Lamell → flockningsbassäng	FI750752 (Beräknad)
Lamell slam → blandningskärl 1	QI750415	Lamell slam → blandningskärl 1	FC750413
Lamell slam → blandningskärl 2	QI750439	Lamell slam → blandningskärl 2	FC750414
Försilerirejekt → blandningskärl 1	QI750393 (%)	Försilerirejekt → blandningskärl 1	FI440065
Fibersed slam → blandningskärl 1	QI750261	Fibersed slam → blandningskärl 1	FC750262
Fibersed vatten → pumphus	QI750267	Fibersed vatten → pumphus	FI750260
Ut från skivfilter 12	QI750677		
Ut från skivfilter 13	QI750692		
Ut från skivfilter 14	QI750696		
Ut från industriavlopp	QI750683		
Slampumpgrop skivfilterhus → blandningskärl 2	QI750668	Slampumpgrop skivfilterhus → blandningskärl 2	FI750667
Rejektvatten från kufferath- skivfilter → salsnes-förtjockare	QI750520		
Rejektvatten från salsnes-filter	QI750532		
Ut från skivfilter biorening	QI750382	Ut från skivfilter biorening	FI750145





Massbalans baserad på indata från 2020-02-24 – 2020-02-27









# Industriavloppsrening för framtiden

**På pappers- och textilmassabruket Södra Cell Mörrum har man nyligen investerat i ambitiösa uppgraderingar av den interna industriavloppsreningen. Siktet är inställt på ”Bättre än BAT” och med optimerad drift av den nya reningsanläggningen finns goda möjligheter att minska utsläppen till Östersjön.**

BAT står för ”Best Available Techniques” (bästa tillgängliga teknik) och syftar på den teknik som används för att minimera utsläpp inom en viss industri. BAT-krav tas fram av EU, och lägger ribban för hur svenska industrier ska arbeta med att minska sina utsläppsnivåer. Syftet är förstås att i största möjliga mån skona luft och vatten från industriella utsläpp.

Mörrums bruk har producerat massa och släppt sitt avloppsvatten till Pukaviksbukten sedan 60-talet. Avloppsvattenreningen har utvecklats i takt med utsläppskraven och den tillgängliga tekniken. För att möta rådande och framtida krav på modern och effektiv avloppsvattenrening har pappers- och textilmassabruket uppgraderat sitt reningsverk med ny utrustning.

När de nya delarna av reningsverket nu står monterade och klara kvarstår en viktig fråga – *hur bör anläggningen köras för att avloppsvattenreningen ska bli så effektiv som möjligt?* För att besvara denna fråga genomfördes ett examensarbete med fokus på optimerad drift av industriavloppsreningen på Södra Cell Mörrum under våren 2020.

Ett av reningsprocessens mest kritiska steg sker i flockningsbassängen. Små, små partiklar i avloppsvattnet binds ihop till större klumpar – *flockar* – som sedan kan avlägsnas genom filtrering. Flockningen sker inte av sig själv; för att det ska fungera måste en väl vald flockningskemikalie doseras i lagom mängd under rätt inblandningsförhållanden. För att hitta den rätta dosen har flockning med Södra Cell Mörrums industriavloppsvatten testats på Kemicentrums laboratorium i Lund, och resultaten kommer användas för att trimma in anläggningen.

En annan utmaning är att ta hand om det slam som bildas av flockarna som filtreras bort. Det är viktigt att slammet innehåller så lite vatten som möjligt när det tas ut ur systemet. För att maximera slamuttaget gäller det att fördela slamflödena mellan anläggningens två slamavvattare på ett bra sätt.

Med en fungerande flockning och ett slamhanteringsystem i balans finns alla förutsättningar för att nå riktigt låga utsläppsnivåer. En viktig pusselbit är faktumet att Södra Cell Mörrum har ovanligt bra koll på innehållet i sina avlopp. Det genererade avloppsvattnet delas upp och renas med olika metoder på ett genomtänkt sätt, och det finns gott om mätinstrument som gör det möjligt att snabbt upptäcka och utreda oväntade utsläpp från massafabriken. Brukets arbete med avloppsrening ur ett helhetsperspektiv är något som många andra industrier skulle kunna ta inspiration av.

*Populärvetenskaplig artikel kopplad till examensarbete:*

Optimerad industriavloppsrening – polymerflockning och massbalans

Anna Nilsson, Juni 2020