

Optimering av trumfilter för behandling av avloppsvatten

Optimization of Rotary Drum Filter for Wastewater
Treatment

Jonas Karlsson

Referat

Optimering av trumfilter för behandling av avloppsvatten

Jonas Karlsson

I denna studie har trumfilter optimerats med avseende på avskiljning av suspenderad substans och fosfatfosfor. Studien är gjord på Hammarby Sjöstads reningsverk i Stockholm. Trumfilter har används dels vid förbehandling av avloppsvatten, då i syfte att främst reducera halten suspenderad substans, dels som efterbehandling av avloppsvatten där huvudsyftet varit att reducera fosfatfosfor.

Inledningsvis gjordes en rad försök (screening) med flockning och filtrering i laboratorieskala. Syftet med detta var att hitta lämpliga kemikalier samt lämplig filterduk att använda vid fullskaleförsök. Flocknings- och filtreringsförsök gjordes även med slam- respektive bentonittillsats för bättre flockbildning. Resultaten från labförsök visar att ca 50 % av suspenderad substans och 50 % fosfatfosfor kan reduceras. Med tillsats av slam eller bentonit ökar reduktionen ytterligare ca 20 – 30 procentenheter.

De kemikalier och den filterduk som uppvisat bäst resultat vid laboration användes sedan vid fullskaleförsök som pågick mellan oktober 2004 och januari 2005. Försök gjordes med olika tillsats av flockningsmedel samt slam. Reglering av tillsats av flockningsmedel har också testats i fullskala, med varierande resultat. Överlag verkar det inte som om tillsats av flockningsmedel bidrar till ökad reduktion av suspenderad substans. Anledningen till detta kan vara dålig inblandning och dålig flockbildning. Inte heller har några lyckade regleringsförsök med avsikt att reducera suspenderad substans kunnat genomföras. Däremot verkar det vara fullt möjligt att reducera fosfatfosfor i trumfilter både vid för- och efterbehandling av avloppsvatten. Med en tillsats av ca 75 ml/m³ metallsaltsprodukt erhålles ca 30 % fosfatreduktion både vid för- och efterbehandling. Reglering av tillsats av fällningskemikalier med avsikt att hålla utgående fosfatfosfor kring ett börvärde visade sig fungera då trumfiltret används vid efterbehandling av avloppsvatten. Dock går det inte att nå ner till det uppställda utsläppsgränsvärdet på 0,15 mg fosfatfosfor per liter. Ett problem som uppstått vid dosering av flockningsmedel är igensättning av filterduk. Framförallt tillsats av polymerer gör att filtreringsmotståndet ökar. Resultatet blir att filtrets kapacitet minskar då filtret till följd av igensättning måste backspolas oftare. Detta medför ökad energiåtgång. Alltså måste miljömässiga vinster i form av reducerad fosfatfosfor vägas mot en ökad driftskostnad samt de konsekvenser som ett tunnare slam medför.

Slutsatserna är att i nuvarande drift är det inte lönt att tillsätta flockningsmedel för ökad reduktion av suspenderad substans. Däremot kan tillsats av flockningsmedel öka reduktionen av fosfatfosfor. För att komma till rätta med problemet med dålig partikelreduktion behövs bättre flockning. Detta återstår att utvärdera. Med bättre flockning skulle det kanske vara möjligt att erhålla lika hög reduktion av suspenderad substans och fosfatfosfor som vid laboratorieförsöken.

Nyckelord: avloppsvattenrening, trumfilter, kemisk fällning, flockning, filtrering, PID-reglering

Abstract

Optimization of rotary drum filter for wastewater treatment

Jonas Karlsson

The purpose of this study is to optimize a rotary drum filter with respect to reduction of suspended solids and phosphorus at Hammarby Sjöstad wastewater treatment plant. The rotary drum filter has been used both for pre treatment and post treatment of wastewater.

In order to increase the reduction of suspended solids and phosphorus, chemical precipitation is tested. Laboratory flocculation experiments have been performed to decide which chemicals and filter cloth are the most suitable for full-scale tests. Results from the laboratory tests shows that about 50 % reduction of both suspended solids and phosphorus can be achieved. Addition of sludge or bentonite clay can increase the reduction with further 20 - 30 percent units due to more effective flocculation and better floc growth.

The chemicals and filter cloth giving the best results from laboratory experiments have been tested in full-scale from October 2004 to January 2005. Full-scale tests have been performed with different chemical dosages and addition of sludge. Automatic control of chemical dosage to keep the phosphorous and suspended solids levels at desired values has also been tested in full-scale with varying results. Chemical precipitation combined with filtration in a rotary drum filter does not seem to increase the reduction of suspended solids compared with the case where no chemicals are added for precipitation. The reason for this is probably insufficient mixing of chemicals and short hydraulic retention time and, therefore, no floc formation. However, there is a possibility to remove phosphorous with chemical precipitation combined with rotary drum filter. The level at which phosphorous is removed is lower in full-scale experiments than in laboratory scale. Full scale experiments shows that addition of polymers increases filter clogging, which leads to higher backwashing frequency.

It can be concluded that in the present operation, the addition of chemicals does not seem to increase the removal of suspended solids. Chemical precipitation combined with filtration using a rotary drum filter can increase the removal of phosphorous. In this case, environmental costs due to increased energy consumption from higher backwashing frequency have to be considered and compared with benefits involved from reduction of phosphorous.

Keywords: wastewater treatment, rotary drum filter, chemical precipitation, flocculation, filtration, PID-control

*Department of Earth Sciences
Uppsala University
Villavägen 16
SE-752 36 Uppsala
SWEDEN*

ISSN 1401-5765

Förord

När stadsbyggnadsprojektet Hammarby Sjöstad påbörjades fick Stockholm Vatten i uppdrag att utvärdera möjligheten med ett lokalt reningsverk för Hammarby Sjöstad. Projektet utförs i samarbete mellan Stockholm Vatten, högskolor, konsulter och leverantörer. Detta examensarbete är en del i utvärderingen och behandlar en av de många reningstekniker som undersöks på Hammarby Sjöstads reningsverk.

Examensarbetet som omfattar 20 poäng har utförts inom ramen för civilingenjörsprogrammet Miljö- och vattenteknik vid Uppsala universitet under handledning av Berndt Björlenius, Stockholm Vatten och Mats Ekman, Institutionen för informationsteknologi, avdelningen för systemteknik vid Uppsala universitet. Ämnesgranskare och examinator har varit Bengt Carlsson, Institutionen för informationsteknologi, avdelningen för systemteknik, Uppsala universitet respektive Allan Rodhe, Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet.

Förutom handledare, ämnesgranskare och examinator som visat stort engagemang, vill jag även tacka Jonas Bengtsson, CDM, Catharina Andersson, Archemi och Jarl Söderholm, Kemira som bidragit med sina kunskaper och erfarenheter inom ämnesområdet kemisk fällning och flockning. Jag vill även tacka anställda, praktikanter och examensarbetare på Hammarby Sjöstads reningsverk som bidragit med idéer och praktisk hjälp under mitt arbete.

Innehållsförteckning

1 INLEDNING	7
1.1 SYFTE.....	7
2 BAKGRUND	8
2.1 HAMMARBY SJÖSTADS RENINGSVERK.....	8
2.1.1 Processlinje 2.....	8
2.1.2 Processlinje 4.....	9
2.2 ANDRA BEFINTLIGA ANLÄGGNINGAR I DRIFT.....	9
2.3 FILTRERING MED TRUMFILTER.....	10
2.4 FÄLLNING OCH FLOCKNING.....	11
2.4.1 Egenskaper hos olika fällningskemikalier/flockningsmedel.....	11
2.4.2 Slamtilfsats för bättre flockbildning.....	12
2.4.3 Val av kemikalie.....	12
2.4.4 Katjonbehov.....	13
2.5 PROBLEM MED IGENSÄTTNING AV FILTERDUK.....	13
2.6 MATEMATISK BESKRIVNING AV FILTRERINGSPROCESSEN.....	14
2.6.1 Filterkakans tillväxt.....	14
2.6.2 Filtreringsmotstånd.....	14
2.7 REGLERSTRATEGIER FÖR DOSERING AV FÄLLNINGS-/FLOCKNINGSKEMIKALIER.....	14
2.7.1 PID-reglering och framkoppling.....	15
2.7.2 Reglerstrategi för trumfilter processlinje 2.....	16
2.7.3 Reglerstrategi för trumfilter processlinje 4.....	17
3 FÄLLNING OCH FLOCKNING PÅ FILTER I LABORATORIESKALA	18
3.1 FÖRSÖKSMETODIK.....	18
3.1.1 Screening.....	18
3.1.2 Optimering av SS - och PO ₄ - reduktion vid laboratorieförsök.....	18
3.2 MATERIAL OCH ANALYSMETOD.....	19
3.2.1 Försöksuppställning.....	19
3.2.2 Valda flocknings- och fällningskemikalier.....	19
3.3 UTFÖRANDE.....	20
3.3.1 Beredning av flocknings- och fällningskemikalier.....	20
3.3.2 Laboratorieförsök – genomförande.....	20
4 FULLSKALEFÖRSÖK	22
4.1 TRUMFILTER PROCESSLINJE 2.....	22
4.1.1 Försöksmetodik.....	22
4.1.2 Analysmetod.....	23
4.1.3 Reglering av fällnings-/flockningskemikalie.....	24
4.2 TRUMFILTER PROCESSLINJE 4.....	25
4.2.1 Försöksmetodik.....	25
4.2.2 Analysmetod.....	26
4.2.3 Reglering av fällnings-/flockningskemikalie.....	26
5 RESULTAT – LABORATORIEFÖRSÖK	27
5.1 SCREENING.....	27
5.2 OPTIMERING AV SS - OCH PO ₄ - REDUKTION VID LABORATORIEFÖRSÖK.....	28
5.2.1 Inkommande vatten processlinje 2.....	28
5.2.2 Vatten från biopolerings processlinje 4.....	28

5.3 KATJONBEHOVSMÄTNING.....	29
6 RESULTAT – FULLSKALEFÖRSÖK	31
6.1 TRUMFILTER PROCESSLINJE 2	31
6.1.1 <i>Reglering av fällnings-/flockningskemikalie</i>	32
6.2 TRUMFILTER PROCESSLINJE 4	32
6.2.1 <i>Reglering av fällnings-/flockningskemikalie</i>	32
7 DISKUSSION OCH SLUTSATSER	34
7.1 DISKUSSION, LABORATIONER	34
7.2 DISKUSSION, FULLSKALEFÖRSÖK	35
7.3 SLUTSATSER	36
7.4 REKOMMENDATIONER GÄLLANDE DRIFT AV TRUMFILTER I PROCESSLINJE 2	37
7.5 REKOMMENDATIONER GÄLLANDE DRIFT AV TRUMFILTER I PROCESSLINJE 4	37
7.6 FÖRSLAG TILL FORTSATTA STUDIER	37
8.1 LABORATORIEFÖRSÖK	39
8.2 FULLSKALEFÖRSÖK	39
9 REFERENSER.....	40
9.1 TRYCKTA.....	40
9.2 ELEKTRONISKA	41
9.3 PERSONLIG KOMMUNIKATION	41

BILAGOR

1 Inledning

Hammarby Sjöstad är ett stort stadsbyggnadsprojekt som påbörjades 1996 och beräknas stå klart 2012. Under planering och byggnation har miljön stått i fokus. Målet är att miljöbelastningen ska bli 50 % lägre jämfört med tidigare byggnadsprojekt, vilket även gäller behandlingen av avloppsvatten. Planen är att bygga ett lokalt reningsverk för Hammarby Sjöstad dimensionerat för 15000 personer. Koncentrationen av bland annat fosfatfosfor och kväve i utgående vatten ska halveras jämfört med utsläppen från befintliga kommunala anläggningar idag. Byggnadsprojekt som detta innebär att fler människor flyttar in till redan tätbebyggda områden, vilket medför en ökad belastning på de befintliga reningsverken. Detta leder i sin tur till att reningsanläggningarna måste byggas ut. Ett problem vid utbyggnad är att tillgången till ledig mark att bygga på är mycket begränsad samt att den mark som finns ofta är dyr. Lösningen på problemet är att bygga mindre, effektivare reningsanläggningar som klarar högre flöde av avloppsvatten i förhållande till anläggningens storlek.

I och med att miljölagstiftningen skärps och hårdare krav ställs på reningsverken vad gäller utsläpp av bland annat kväve och fosfor, måste ny teknik utvecklas för att effektivare reducera halterna av dessa ämnen i utgående vatten från avloppsreningsverken. Sådan ny teknik är precis vad som testas i Sjöstadsverket uppe på Henriksdalsberget, där denna studie genomförs. Sjöstadsverket är en pilotanläggning där olika reningstekniker testas i olika reningslinjer. Idag tar Sjöstadsverket totalt emot avloppsvatten motsvarande ca 600 personekvivalenter (p.e). En utvärdering skall sedan göras av de olika reningsteknikerna och utifrån denna skall det bestämmas vilken teknik som skall användas vid Hammarby Sjöstads reningsverk.

1.1 Syfte

Denna studie syftar till att optimera avskiljning av suspenderad substans (SS) som förbehandling av avloppsvatten i en aerob processlinje (linje 2) på Sjöstadsverket. För detta ändamål används ett trumfilter. Trumfiltret ersätter i detta fall en försedimentering. En optimering skall även göras med avseende på torrsubstanshalt i det bildade slammet från trumfiltret.

Studien syftar även till att undersöka möjligheten att fälla fosfor, samt avskilja SS på trumfilter som avslutande reningssteg, så kallad efterpolering i en anaerob processlinje (linje 4) på Sjöstadsverket.

Med båda trumfiltren är avsikten att använda fällningskemikalie/koagulant för att om möjligt öka reduceringsgraden av både fosfor och SS. Reglerstrategier skall sedan tas fram för dosering av fällningskemikalie/koagulant för de båda trumfiltren. Detta för att minimera kemikalieanvändningen samt optimera doseringen så att en jämn och låg halt av fosfor och SS kan hållas i utgående vatten trots variationer i inkommande halter.

2 Bakgrund

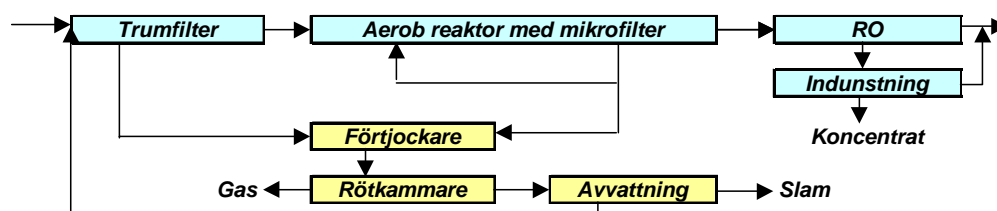
2.1 Hammarby Sjöstads reningsverk

Idag finns i Sjöstadsverket fem olika processlinjer som tillämpar olika metoder för rening av kommunalt avloppsvatten. Avloppsvattnet från Hammarby Sjöstad liknar inte vatten från andra kommunala avloppsvatten i den mening att det här inte finns någon inblandning av dagvatten. Därmed blir detta vatten mer koncentrerat med avseende på partiklar, löst organiskt material, näringsämnen och suspenderad substans. De olika processlinjerna har stora skillnader vad gäller reningsmetod. Skillnaderna medför att sammansättningen på vattnet i de båda processlinjerna är olika. Både aeroba och anaeroba linjer finns. Som referens finns processlinje 1 som behandlar avloppsvatten på traditionellt vis med aktivslamprocess. Driften i processlinje 1 kan dock läggas om till biologisk fosforering med kompletterande efterfällning av fosfor på sandfilter. I de övriga linjerna används bland annat teknikerna, anaerob UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), flotation, MBR (membranbioreaktor), fluidiserad bädd och omvänd osmos (RO). I avsnitt 2.1.1 och 2.1.2 beskrivs översiktligt de processlösningar som berör denna studie. En ordlista som förklarar begrepp och förkortningar som förekommer i studien presenteras i bilaga C.

2.1.1 Processlinje 2

I processlinje 2 används aeroba reningsmetoder. I samtliga linjer finns förbehandling i form av rensgaller med 3 mm spalt samt sandfång för att fånga upp de största partiklarna samt avfall som transporteras med avloppsvattnet. För denna linje finns en ytterligare förbehandling i form av ett trumfilter. Trumfilter används istället för försedimentering. Fördelen med trumfiltret är att det kräver mindre plats än en försedimentering och har en definierad avskiljningsgrad i och med specifik filteröppning. Förhoppningen är att trumfiltret ska reducera partikelhalten med ytterligare åtminstone 50 % jämfört med att använda en försedimentering.

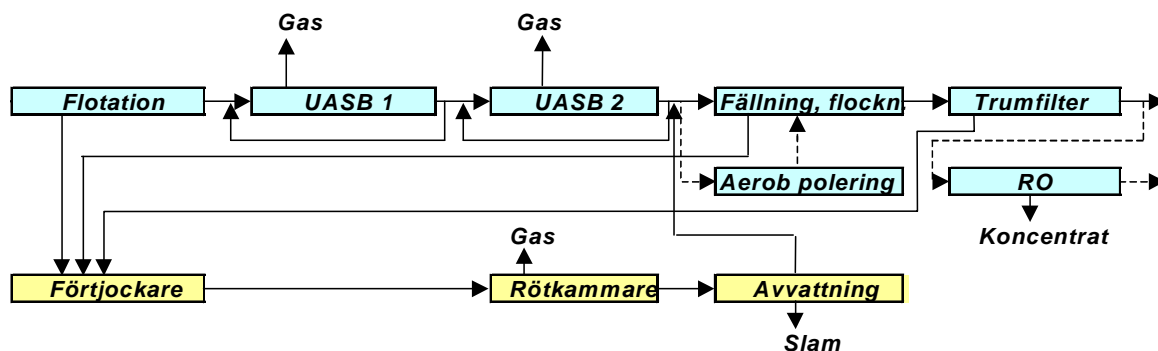
Efterföljande steg är en MBR. Denna ersätter de traditionella reningsstegen biobassänger, eftersedimentering samt sandfilter. MBR:en är en kombination av bioreaktor och membranfilter. Här sker både en biologisk nedbrytning av organiskt material samt en näst intill 100 procentig partikelreduktion genom filtreringen. En fördel med membranbioreaktor är att den är mycket kompakt. Beroende på belastning på MBR:en kan olika koncentrationer näringsämnen erhållas i utgående vatten. Generellt är halterna av lösta närsalter ut från MBR:en höga. För att ta hand om de höga halterna näringsämnen testas omvänd osmos som avslutande steg i reningen. I den omvända osmosen uppkoncentreras näringsämnena och förhoppningen är att denna näring ska återföras till jordbruket (Stockholm Vatten, 2004).



Figur 1. Schematisk bild över processlinje 2.

2.1.2 Processlinje 4

Behandlingen av avloppsvatten i processlinje 4 inleds med en traditionell försedimentering där polymer tillsätts för bättre flockning och därmed högre partikelavskiljning. Efter försedimenteringen pumpas vattnet vidare till UASB-reaktorer, som jobbar parallellt. UASB-reaktorerna fungerar på följande sätt: bakterier bildar granuler och dessa bakterier bryter ner organiskt material. Processen är anaerob och under nedbrytningen av det organiska materialet bildas metangas och koldioxid som bubblar uppåt i reaktorn och ut genom gasledningar i toppen av reaktorn (Hesselgren, 2004). Rötgasen kan efter rening sedan användas för att driva förbränningsmotorer, gasspisar mm. I processlinje 4 finns även möjlighet till kväverening. I en luftad tank med bärrmaterial för bakterier sker nitrifikation. Efterföljande steg är en anoxisk tank där denitrifierare på ett annat bärrmaterial omvandlar nitraten till kvävgas. För att underlätta denitrifieringen i denna biopolerings-tank tillsätts kolkälla i form av natriumacetat. För att bärrmaterialen ska få kontakt med allt vatten som passerar biopoleringen är denna under omrörning. Så här långt i processen har det inte skett någon markant reducering av löst fosfatfosfor. För att reducera halten fosfat finns två metoder som testas. Den första är att använda ett trumfilter vars huvuduppgift är att reducera kvarvarande suspenderad substans, men med tillsats av fällningskemikalier kan även fosfatfosfor fällas och avskiljas på trumfiltret. För ytterligare fosfatreduktion kan omvänd osmos användas som sista reningssteg i processen (Stockholm Vatten, 2004).



Figur 2. Schematisk bild över processlinje 4.

2.2 Andra befintliga anläggningar i drift

Sjöstadsverket är bland de första att prova trumfilter för förbehandling av avloppsvatten. Anläggningar för avloppsvattenrening som använder trumfilter är ofta småskaliga, vilket gör det svårt att finna information om dessa. I denna studie har inte hittats något exempel där trumfilter används som förbehandling av kommunalt avloppsvatten. Ett exempel på en småskalig avloppsreningsanläggning som använder trumfilter för efterbehandling av avloppsvatten är Vissings avloppsreningsanläggning i Danmark. Denna anläggning tar hand om avloppsvatten från ca 300 personer och är en av mycket få anläggningar som kombinerar efterpolering med trumfilter i kombination med kemisk fällning av fosfor. I Vissing används järnklorid som fällningskemikalie och halten totalfosfor i utgående vatten från verket har minskat från 2 mg/l till under 0,5 mg/l sedan installationen av trumfilter i kombination med kemisk fällning (Hydrotech, 2004).

Klippans reningsverk i Skåne använder trumfilter i kombination med kemisk fällning av fosfor. Här används aluminiumsalt som fällningskemikalie. Fosforreduktionen är här beroende av filterkakans storlek. Utan filterkaka, dvs. när filterduken är ren, erhålls sämst

reduktion av fosfor, däremot när en filterkaka byggts upp erhålles en betydligt bättre fosforreduktion. Som bäst kan halter i utgående vatten på under 0,2 mg/l erhållas med inkommande halter ca 1 mg/l (Hydrotech, 2004).

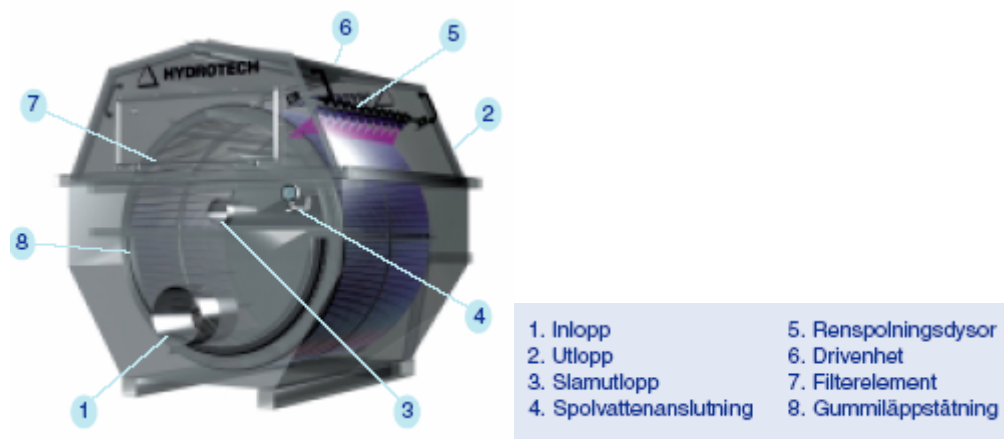
När det gäller reduktion av suspenderad substans (SS) finns flera exempel som visar på bra resultat med trumfilter. Till exempel Maltbäcks reningsverk i Danmark som med hjälp av trumfilter kan klara av en reduktion av SS på 55 – 91 % (Hydrotech, 2004). Även detta exempel avser efterbehandling av avloppsvatten.

2.3 Filtrering med trumfilter

Trumfilter har många användningsområden. Inom industrin används trumfilter ofta för filtrering av råvatten från vattendrag. Det filtrerade vattnet kan sedan användas för olika ändamål, vattenförsörjning, kylning, bevattning mm. Exempel på industrier som använder trumfilter är pappersmassaindustrier, biltvättar, plastindustrier och bryggerier (Hydrotech, 2004). Ett annat vanligt användningsområde är inom fiskindustrin, där vatten från fiskodlingar filtreras genom trumfilter för att reducera partikulärt bundna näringsämnen och på så sätt förhindra att dessa når vattendragen (Bergheim m.fl., 1998).

Även inom kommunal vattenrening används trumfilter, främst för efterpolering av avloppsvatten. Här ersätter trumfiltret de sandfilter eller eftersedimenteringsbassänger som normalt används som sista reningssteg för att reducera mängden suspenderad substans i utgående vatten (Hydrotech, 2004). Fördelen med att använda trumfilter är att dessa kräver mindre yta än sandfilter och eftersedimenteringsbassänger som ofta är stora. Tyvärr går det inte att reducera halten näringsämnen från kommunalt avloppsvatten lika effektivt som för fiskodlingar då inga fällningskemikalier tillsätts. Detta beror på att i vatten från fiskodlingar är större delen av näringsämnena partikulärt bundna (Bergheim m.fl., 1998) medan kommunalt avloppsvatten innehåller näringsämnena som till största delen är lösta (Nyberg m.fl., 1996). Lösta näringsämnen passerar obehindrat genom filterduken i trumfiltret.

De trumfilter som används i denna studie är från Hydrotech, modell 801 (figur 3) med inbyggd tank. De fungerar på följande sätt: inkommande vatten till trumfiltret pumpas axiellt in i filtertrumman, på vilken två filterelement i polyester är monterade. Vattnet filtreras sedan radiellt ut genom filtret och filtratet leds bort via ett utlopp nertill i trumfiltrets tank. Suspenderad substans ackumuleras på filtertrummans insida och bildar en slamkaka vilken medför att filtreringsmotståndet ökar. Det ökade filtreringsmotståndet gör att nivån i filtertrumman stiger och när denna når en nivå som startar backspolning av filterduken. Backspolningen går till enligt följande: trumman roterar ca 1/2 varv varvid spolning (med vatten eller luft) av filtret sker. Slamkakan spolans ner i en slamränna inuti trumman och rinner genom självfall ut ur filtret och ner i en slamförtjockare (Hydrotech, 2004). Då backspolning med luft sker blir slammet så tjockt att det inte räcker med självfall för att avlägsna slammet från slamrännan. I detta fall måste slammet skruvas från slamrännan och ut ur trumfiltret (Pettersson, 2004).



Figur 3. Trumfilter med inbyggd tank från Hydrotech.

2.4 Fällning och flockning

I denna studie studeras två typer av fällning/flockning, dels flockning av suspenderad substans i inkommande avloppsvatten dels kemisk fällning och flockning av löst fosfor samt suspenderad substans som sista ”polerande” reningssteg. Vid flockning tillsätts kemikalier, polymer och/eller metallsalt som flockningsmedel. Syftet är att flockningsmedlet ska binda till partiklar i vattnet och därmed bilda större flockar vilka har större fallhastighet och således effektivare kan avskiljas genom sedimentering. Genom detta blir belastningen på efterföljande reningssteg mindre och uppehållstiden där kan kortas ner (Nyberg m.fl., 1996). Flockning/fällning vid rening med filter har ytterligare två fördelar. Små laddade partiklar har en tendens att täppa till porer i den bildade slamkakan och genom att större flockar bildas minskar antalet små partiklar och med det även filtreringsmotståndet, se avsnitt 2.2. Flockning av små partiklar gör även att dessa inte tar sig genom filtermediet utan kan avskiljas i större grad jämfört med då inget flockningsmedel används.

2.4.1 Egenskaper hos olika fällningskemikalier/flockningsmedel

Bildning av flockar sker under inverkan av fyra olika mekanismer vilka är, kompression av det elektriska dubbelskiktet, neutralisation av partikelladdning, svepkoagulering och bryggbildning. Mekanismerna kommer inte att beskrivas ingående här. Olika flockningsmedel använder olika mekanismer för flockbildning. Nedan beskrivs kortfattat hur olika typer av flockningsmedel fungerar (Bengtsson, 2003).

Metallsalter och polymeriserade metallsalter

De monomera metallsalter som används flitigast är järn(III)- eller aluminium(III)-salt. Dessa används för att fälla löst fosfor samt organiskt material, bland annat genom neutralisering av laddning hos negativt laddade partiklar och joner. En annan typ av metallsalt som används för fällning är polymeriserade metallsalter av järn eller aluminium. Polymeriserade metallsalter är något stabilare än monomera och mindre mängd behövs. Metalljonerna binder till partikelytor och metallhydroxider kan sedan binda till metallerna och sedan binda till sig nya partiklar och på så sätt växer flockarna. Dessa flockar är dock relativt små och inte särskilt hållbara. De återbildas inte så lätt om de slås sönder t.ex. p g a kraftig omblandning. Sammanfattningsvis kan sägas att metallsalter bildar små flockar av det finaste materialet samt lösta ämnen i vattnet.

Polymerer

Polymerer kan liksom metallsalter neutralisera laddning hos partiklar men även bilda bryggor mellan partiklar och på så sätt bilda stora flockar. Dessa flockar är stabilare än flockar bildade med hjälp av metallsalter och kan återbildas om de slås sönder (Andersson, 2004). Det finns olika typer av polymerer, syntetiserade (t.ex. polyakrylamid) och naturliga (t.ex. stärkelse). Dessa kan ytterligare delas in i högmolekylära (lång polymerkedja) samt lågmolekylära (kort polymerkedja). Polymererna kan även ha olika laddning katjoniska (positivt laddade) och anjoniska (negativt laddade). Lågmolekylära polymerer binder samman de små flockar bildade av metallsalter samt de något större partiklarna i vattnet. Högmolekylära polymerer har som uppgift att flocka stora partiklar och flockar till större aggregat. Polymererna kan dock inte användas för fällning av lösta salter. Ofta används polymerer tillsammans med metallsalter.

2.4.2 Slamtillsats för bättre flockbildning

Från tidigare undersökningar av Hammarby Sjöstads avloppsvatten är det känt att partikelfördelningen i vattnet är speciell. Fraktionen mycket små partiklar är stor (Hesselgren, 2004) vilket gör att vattnet är svårt att flocka. Att det inte sker någon inblandning av dagvatten gör att detta avloppsvatten är mer koncentrerat med avseende på näringsämnen och partikulärt material. För att åtgärda problemet med låg halt av lite större partiklar så kan större partiklar tillsättas t.ex. genom slamtillsats. Förutom att underlätta flockbildning så kan slamtillsatsen medföra förbättringar vad gäller filtreringen. Då det är slamkakan som i störst utsträckning sköter filtreringen och inte själva filterduken (Pettersson, 2004) så erhålles bättre filtrering genom slamtillsats eftersom slamkakan växer snabbare. De större flockar som bildas gör att slamkakan inte blir lika kompakt utan mer porös och därför kan ett högre flöde genom slamkakan upprätthållas. Ett annat alternativ är att tillsätta bentonitlera som har högre densitet än slam och därigenom kan bidra till högre sedimentationshastighet. Bentonitleran består av rent mineral och bidrar därför inte till någon extra tillförsel av vare sig organiskt material eller lösta joner. Däremot innebär tillsats av bentonit en ökad resursanvändning och slambildning.

2.4.3 Val av kemikalie

Vattnet som behandlas i de två filtren har mycket olika sammansättning och därför krävs olika strategier för att åstadkomma effektiv flockning och fällning. Vid flockning i det filter som skall behandla inkommande vatten (förbehandling) är huvudsyftet att bilda flockar med SS och inte att fälla fosfor vilket innebär ett annat val av flockningsmedel jämfört med fosforfällning.

Trumfilter processlinje 2

I detta trumfilter sker förbehandling av avloppsvatten. Halten SS är hög, 200-500 mg/l (Magnusson, 2003) och laddningen hos partiklarna i vattnet är i medeltal negativ (Nyberg m.fl., 1996). Att endast fälla med metallsalt skulle kunna innebära att flockarna blir för små och porösa och de riskerar då att ta sig genom filtret. För effektiv fällning bör därför katjonisk polymer användas i kombination med metallsalt då dessa har stor affinitet för de negativt laddade partiklarna i avloppsvattnet (Bratby, 1980). Tillsats av metallsalt gör det möjligt att även fälla fosfor i trumfiltret.

Trumfilter processlinje 4

Vattnet som filtreras i detta trumfilter är av en helt annan karaktär. SS-halten är mycket lägre än för trumfilter i linje 2 och laddningen på de partiklar som finns är lägre. Behovet av en katjonisk polymer finns därför inte. Huvudsyftet här är att fälla löst fosfor, vilket endast är

möjligt genom tillsats av metallsalt. För att få stabilare flockar kan en högmolekylär anjonisk polymer tillsättas (Bratby, 1980). Polymeren binder till partiklar i vattnet och på så sätt erhålls även en reduktion av SS.

2.4.4 Katjonbehov

För att få ett rent vatten efter fällning och flockning brukar det vara optimalt att åstadkomma ett laddningsneutralt vatten. Avloppsvatten är i regel negativt laddade på grund av att partiklarna i vattnet är negativt laddade organiska föreningar, t.ex. humus. För att få bra flockning bör man dosera fällningskemikalier så att nettoladdningen i vattnet blir noll. Avloppsvattnet har ett så kallat katjonbehov. Med hjälp av mätutrustning från företaget CDM, vilken används i denna studie, kan katjonbehovet bestämmas.

Alla avloppsvatten har olika egenskaper vilket medför att doseringsmetoden baserad på nettoladdning inte är definitiv, utan endast ger en fingervisning om doseringen. I själva verket är det ofta så att mängden fällningskemikalie som behövs är mindre än den beräknade mängden (gäller ett vatten tidigt i processen). Genom att mäta katjonbehovet på vattnet innan dosering samt efter dosering kan en katjonsänkande faktor, *ksf* beräknas på följande sätt:

$$ksf = \text{borttaget katjonbehov/mängd tillsatt kemikalie(katjon)}$$

Om denna faktor är större än ett innebär det att en mindre mängd kemikalie behöver tillsättas än den först uträknade mängden. För dosering på inkommande vatten är *ksf* ofta större än 1, kanske 1,5 eller 2, medan vid efterpolering kanske bara 0,1 – 1. Faktorn *ksf* kan mätas för olika kemikalier och på så sätt vara en indikation på kemikalins effektivitet gällande fällning/koagulering av det undersökta avloppsvattnet (Bengtsson, 2004).

Katjonbehovsmätning kan vara en bra metod att använda som vägledning för att beräkna vilken mängd fällningskemikalier som behövs för ett specifikt avloppsvatten. Katjonbehovet varierar under dygnet och eventuellt skulle det vara möjligt att genom online-mätning av katjonbehov reglera dosering av fällningskemikalie/koagulant (Holmquist, 2004).

2.5 Problem med igensättning av filterduk

Igensättning av trumfilter kan bero på flera olika faktorer, dålig backspolning av filterduk, för långa backspolningsintervall, bakterier som bildar biohud samt överdosering av flockningsmedel. Nedan diskuteras några aspekter som rör igensättning av filterduk till följd av överdosering av flocknings-/fällningskemikalier.

Eftersom halten av suspenderat samt kolloidalt material är mycket högre hos det vatten som når trumfiltret i linje 2 är det troligt att det är här som risken för igensättning av filterduken är störst. I denna studie har inte visats några exempel på att metallsalter skulle sätta igen filterdukar, däremot kan dukarna missfärgas av t.ex. järn(III)klorid (Hydrotech, 2004). Polymerer har däremot enligt flera studier (se t.ex. Zhao och Bache, 2002 och Papavasiliopoulos m.fl., 1998) visat sig kunna bidra till igensättning av filter. Detta sker när en överdosering av polymer görs. Överskottspolymer reagerar med kolloidala partiklar och bildar små enheter som täpper till porer i bildad slamkaka samt i filtermembranet (Zhao och Bache, 2002).

2.6 Matematisk beskrivning av filtreringsprocessen

Att matematiskt kunna beskriva en filtreringsprocess har flera fördelar. Utifrån kännedom om flöden, massbalanser, viskositet, partikelfördelning mm hos t.ex. avloppsvatten samt filtermediets egenskaper kan matematiska samband som beskriver filtreringen sättas upp. Filterkakans tillväxt samt filtreringsmotstånd kan predikteras. Nödvändiga data över ovan nämnda parametrar kan erhållas laborativt och sedan användas för att prediktera filtreringsförloppet i fullskala. De matematiska sambanden kan användas för att simulera olika förlopp, t.ex. hur filtreringen påverkas av flödesvariationer, variationer i inkommande SS-halt, backspolningsfrekvens, partikelfördelning mm. Syftet i denna studie är dock inte att simulera filtreringsförlopp utan att endast i litteraturen hitta de matematiska samband som beskriver filtreringsprocessen.

2.6.1 Filterkakans tillväxt

Filterkakans tillväxt beräknas enklast genom massbalans. Ofta används massan av fast material per ytenhet filtermedium som mått på filterkakans tillväxt eftersom höjden på filterkakan både är svår och opraktisk att beräkna då denna beror av ett stort antal faktorer (Grén och Theliander, 2001). Massbalansberäkningen kräver kännedom om materialinnehållet i den vätska som ska filtreras samt materialinnehåll i filtratet. Filterkakans tillväxt kan sedan tillsammans med andra mätbara faktorer användas för att beräkna slamkakans specifika filtreringsmotstånd, se avsnitt 2.6.2.

2.6.2 Filtreringsmotstånd

Filtrering med variabelt tryck och konstant flöde kan beskrivas enligt Kozeny-Carmans ekvation:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{A^2 \cdot \Delta P}{\mu \cdot (\alpha_{av} \cdot c \cdot V_2 + A \cdot R_m)} \quad (1)$$

där dV/dt är förändring av filtratvolym per tidsenhet, V_2 total filtrerad volym, A filterarea, ΔP totalt tryckfall, μ dynamisk viskositet, α_{av} specifikt filtreringsmotstånd, R_m filtermediets motstånd och c är förhållandet mellan filterkakans vikt (fast material) och filtratvolym vid filtrering. Kozeny-Carmans ekvation kan användas för att beräkna flödet genom en filterkaka om filterkakans tjocklek och porositet är känd (Grén och Theliander, 2001).

2.7 Reglerstrategier för dosering av fällnings-/flockningskemikalier

Dosering av fällningskemikalier sker vanligtvis flödesproportionellt eftersom det är en enkel och ofta effektiv styrstrategi som dessutom är relativt lätt att implementera. Tyvärr är det inte alltid vettigt att dosera kemikalier flödesproportionellt. Flödet in till ett reningsverk varierar under dygnet och även koncentrationen av suspenderad substans samt näringsämnen. Dessa varierar dock inte nödvändigtvis på samma sätt. I många fall leder flödesproportionell dosering till att för mycket kemikalier tillsätts. Samtidigt som det vid vissa tider på dygnet, då flödet är lågt men koncentrationen näringsämnen är hög, kanske sker en för låg dosering av fällningskemikalier. Att overdosera fällningskemikalier blir inte ekonomiskt eftersom detta gör att kostnaderna för kemikalieförbrukningen blir högre än nödvändigt, speciellt då fällningskemikalier i regel är relativt dyra. En annan negativ effekt är att overdosering leder till ökad slamproduktion. Problem kan även uppstå om kemikalierna skulle nå recipienten till följd av overdosering då metallsalterna verkar försurande. Aluminium kan dessutom sätta igen gälarna hos fiskar. Fällningskemikalier används främst för att reducera fosfor

(fosfatfosfor) samt suspenderad substans, och om man kan mäta halterna av dessa ämnen i vattnet kan man också se till att dosera kemikalier utifrån dessa halter. Reglering med återkoppling kan även se till att koncentrationen av olika ämnen som t.ex. fosfatfosfor och suspenderad substans hålls vid en konstant nivå i utgående vatten trots variationer i inkommande vatten (Olsson och Newell, 1999).

2.7.1 PID-reglering och framkoppling

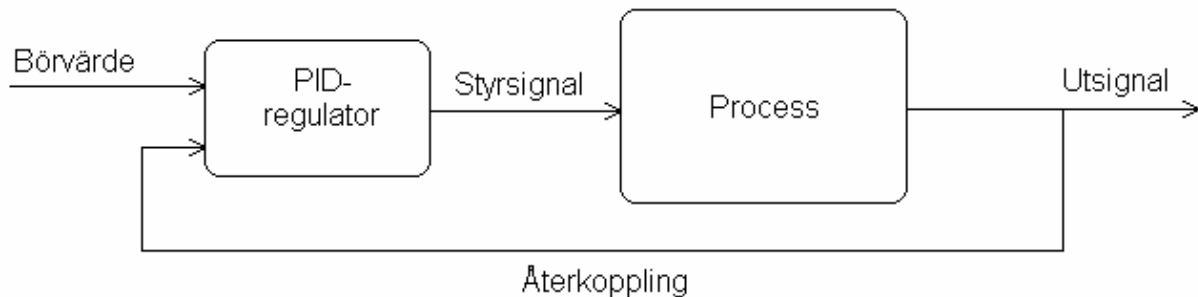
PID-reglering

En del i denna studie är att trimma PID-regulatorer som ska reglera doseringen av fällningskemikalier; dels i trumfilter vid linje 2, dels i trumfilter vid linje 4. PID – regulatorn arbetar på följande sätt för dosering av fällningskemikalier: den parameter man vill reglera mot, i det här fallet fosfatfosfor eller SS, mäts on-line. Det uppmätta värdet, utsignalen (även kallat ärvärde), jämförs med det önskade värdet, så kallat börvärde. Skillnaden mellan utsignal och börvärde, kallat reglerfel, används sedan av regulatorn som beräknar en styrsignal. Styrsignalen ställs ut till pumpen som doserar fällningskemikalien. En ändring av styrsignal leder till att halten fosfatfosfor (eller SS) ändras. Ett nytt reglerfel observeras varvid regulatorn kan beräkna en ny styrsignal. Proceduren fortsätter på samma sätt. I och med detta kan utsignalen regleras mot ett börvärde med avseende på utgående halter av fosfatfosfor eller SS trots variationer i inkommande halter. Snabbhet och bruskänslighet hos regulatorn kan justeras med olika val av regulatorparametrar.

PID-regulatorn innehåller en proportionell del (K) en integrerande (T_i) och en deriverande del (T_d). Här betecknas e som reglerfelet och u som styrsignal. Styrsignalen här blir det flöde, i procent av max-flöde, som ställs ut till respektive pump. Utsignalen är i detta fall koncentration fosfatfosfor i utgående vatten (trumfilter, linje 4) samt koncentration suspenderad substans (trumfilter, linje 2). Regulatorn implementeras på samplad form på grund av att datorn med styrsystem arbetar tidsdiskret. Regulatorn på samplad form har följande struktur:

$$u(kh) = K \left(e(kh) + \frac{h}{T_i} \sum_{n=0}^k e(nh) + T_d \frac{e(kh) - e(kh-h)}{h} \right) \quad (2)$$

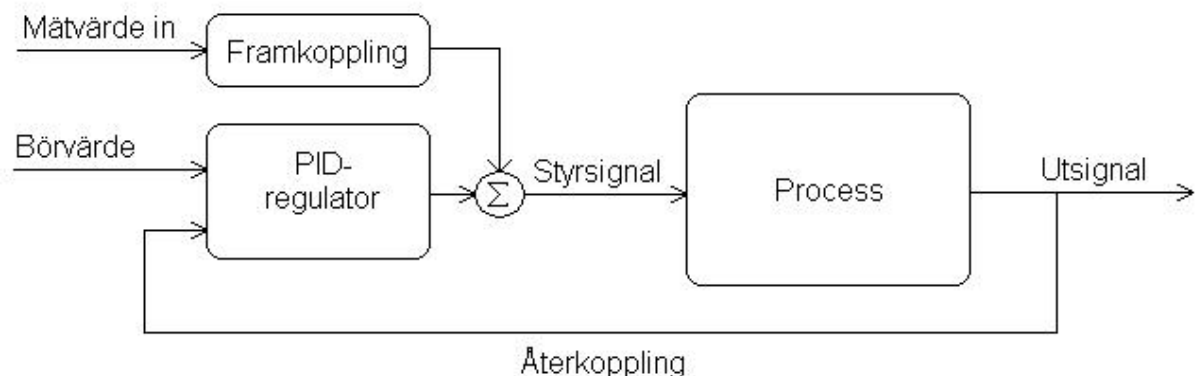
där beräknad styrsignal u ställs ut vid varje tidssteg (Åström och Hägglund, 1994). Som kan utläsas av ekvation 1, bestämmer parametrarna K , T_i och T_d storleken på den utställda styrsignalen u . Större K liksom ett mindre T_i ger en större styrsignalsändring. Den deriverande delen med parameter T_d tar hänsyn till differensen av reglerfelet. En större differens av reglerfelet ger en större ändring i utställd styrsignal. Valet av T_d bestämmer således hur stor vikt som skall läggas till differens av reglerfel vid beräkning av styrsignalsändring. Ett högt värde på T_d gör regulatorn mer bruskänslig då snabba variationer i reglerfel till följd av mätbrus ger stora styrsignalsändringar. Vid reglering av en process där mycket mätbrus förekommer kan T_d därför väljas lågt, alternativt tas bort helt. En stor fördel med PID-reglering är att den inte kräver att man har en modell över systemet, utan endast behöver referenssignal och utsignal för att kunna beräkna en styrsignal. En schematisk bild av PID-regulatorn visas i figur 4.



Figur 4. Blockschemata PID – regulator.

Framkoppling

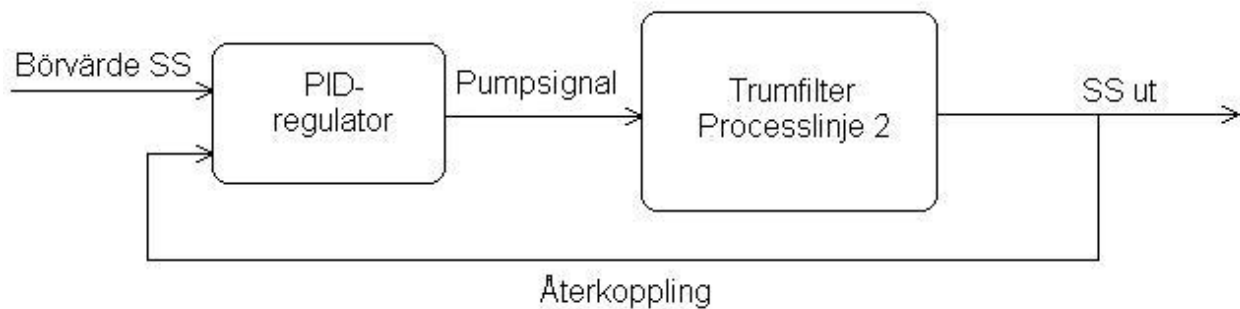
Regleringen kan göras snabbare genom att man även använder framkoppling i kombination med återkoppling. En enkel framkopplingsstrategi är ofta användbar, där framkopplingens bidrag till doseringen beräknas utifrån en konstant som multipliceras med mätbart processbrus t.ex. halten SS i inkommande vatten. Storleken på framkopplingskonstanten kan beräknas utifrån enkla stegsvarexperiment. Framkoppling som ensam styrstrategi garanterar inte att halten i utgående vatten följer ett referensvärde, därför bör styrningen använda kombinationen framkoppling/återkoppling. Styrsignalen till pumpen får då även ett bidrag från återkopplingen, vilken garanterar att reglerfelet avtar mot noll. Blockschemat, figur 5 visar denna strategi.



Figur 5. Blockschemata PID – regulator med enkel framkoppling.

2.7.2 Reglerstrategi för trumfilter processlinje 2

För trumfiltret i processlinje 2 är huvudsyftet att reducera suspenderad substans, d v s trumfiltret fyller den funktion som normalt en försedimentering gör. För att öka reduktionen av suspenderad substans tillsätts fällningskemikalier som flockar det finpartikulära materialet (se avsnitt 2.4). Om mätning av halten suspenderad substans kan ske online efter trumfiltret kan dosering av kemikalier göras utifrån önskad koncentration av suspenderad substans i utgående vatten från trumfiltret. SS-halten i filtrat från trumfiltret återkopplas och jämförs med önskad halt. Differensen mellan önskad och uppmätt halt, ”reglerfelet” används sedan för att dosera rätt mängd kemikalie. Ett blockschema över hur regleringen går till visas nedan i figur 6.



Figur 6. Blockschema PID – regulator för trumfilter i linje 2.

2.7.3 Reglerstrategi för trumfilter processlinje 4

Trumfiltret i linje 4 skall se till att reducera främst fosfatfosfor men även suspenderad substans, d v s det finns två utsignaler från detta system som skall regleras. Detta gör regleringen mer komplicerad eftersom dessa två signaler är kopplade, alltså inte helt oberoende av varandra. Fällningskemikalierna som tillsätts reducerar både fosfatfosfor och suspenderad substans men i olika grad. Metallsalt tar hand om fosfatfosfor samt finpartikulärt material och högmolekylär polymer tar hand om de från metallsalt bildade flockarna samt större partiklar. Det skulle gå att reglera processen utifrån de olika styrsignalerna, vilka är tre stycken, metallsalt, polymer samt slam (alt. bentonitlera). För detta ändamål är det möjligt att modellbaserad reglering, LQG (Linjär kvadratisk optimering med antagande om gaussiska störningar) skulle passa. Det är dock inte något som skall undersökas i denna studie. I stället används en enklare styrstrategi där förhållandet mellan de tre styrsignalerna tillåts vara konstant. På så sätt reduceras de till en styrsignal. Ett problem som uppstår då är att det inte går att reglera båda utsignalerna, fosfatfosfor och suspenderad substans efter givna referensvärden. Detta kan endast göras för den ena av dessa två utsignaler. Eftersom huvudsyftet är att reducera fosfatfosfor bör denna väljas som utsignal. I och med att systemet i så fall reduceras till att bara ha en styrsignal och en utsignal kan på samma sätt som för trumfiltret i linje 2, både PID med återkoppling och PID i kombination med framkoppling testas. Blockschema för detta ser ut som figur 5 och 6 i avsnitt 2.7.2 men med den skillnaden att utsignalen är fosfatfosfor för linje 4.

3 Fällning och flockning på filter i laboratorieskala

Att testa olika kemikalier och filterdukar på trumfiltret i fullskala skulle ta mycket lång tid och för att reducera den tiden görs flocknings- och filtreringsförsök i laboratorieskala. Syftet med laboratorieförsöken är att hitta lämplig kombination av fällningskemikalie och filterduk som fungerar effektivt för det aktuella vattnet. De kemikalier och den/de filterdukar som ger bäst resultat i laboratorieskala med avseende på reduktion av suspenderad substans och fosfor används sedan vid fullskaleförsök.

3.1 Försöksmetodik

Försöksupplägget i denna studie liknar det vid faktorförsök. Här handlar det dock inte om något riktigt faktorförsök utan snarare en produktvärdering som syftar till att hitta lämpliga fällningskemikalier för det specifika vattnet. Dessa försök med syfte att hitta lämpliga parametrar för vidare optimering brukar kallas för screening. Vid faktorförsök gäller det att variera olika faktorer för att se deras effekter på en vald resultatvariabel. I denna studie är resultatvariablerna fosfatfosforkoncentration respektive halt suspenderad substans, SS för de båda processlinjerna. På sätt och vis kan sägas att ett småskaligt faktorförsök görs för varje kemikalieprodukt. För att begränsa antalet försök väljs två nivåer för varje faktor. Här görs antagandet att faktorerna påverkar resultatvariabeln linjärt. Även om detta inte är helt riktigt kan detta tänkas vara rimligt inom det intervall faktorerna tillåts variera (Olausson, 1992).

De faktorer som antas påverka resultatvariablerna mest i detta fall är filterdukarnas maskstorlek samt koagulanternas koncentration. Val av filterduk som testas görs utifrån tidigare erfarenheter. När det gäller koncentrationer av koaguler, både polymer och metallsalt, har sakkunniga hos respektive kemikalietyllverkare rådfrågats. Till grund för valda kemikalietyllkoncentrationer ligger även resultat från tidigare studier gjorda på vatten från Hammarby Sjöstad.

Av praktiska skäl finns ytterligare en kvalitativ resultatvariabel att beakta, nämligen igensättning av filterduk som nämnts i avsnitt 2.5.

3.1.1 Screening

Ett komplett faktorförsök med de intressanta parametrarna skulle resultera i över 1000 olika försök. Då detta inte är möjligt att genomföra under denna tidsbegränsade studie måste försöken reduceras. Några testförsök görs (visuellt) med olika filterdukar samt olika tillsats av kemikalier. Jag har valt att titta på hur klart filtratet ser ut samt hur flockarna ser ut. Från denna test kan sedan en eller ett par olika dukar väljas som visat bra resultat samt ungefärlig koncentration av flockningsmedel. Antal kemikalier som finns att välja mellan är mycket stort och därför delas de olika kemikalierna in i kluster med olika egenskaper. Ifrån varje kluster väljs sedan en kemikalie för vidare screeningstest på de valda filterdukarna. Två olika koncentrationer av kemikalier används sedan vid screeningen, en hög och en låg dos. På detta sätt reduceras screeningen till ca 30 – 50 försök.

3.1.2 Optimering av SS - och PO₄ - reduktion vid laboratorieförsök

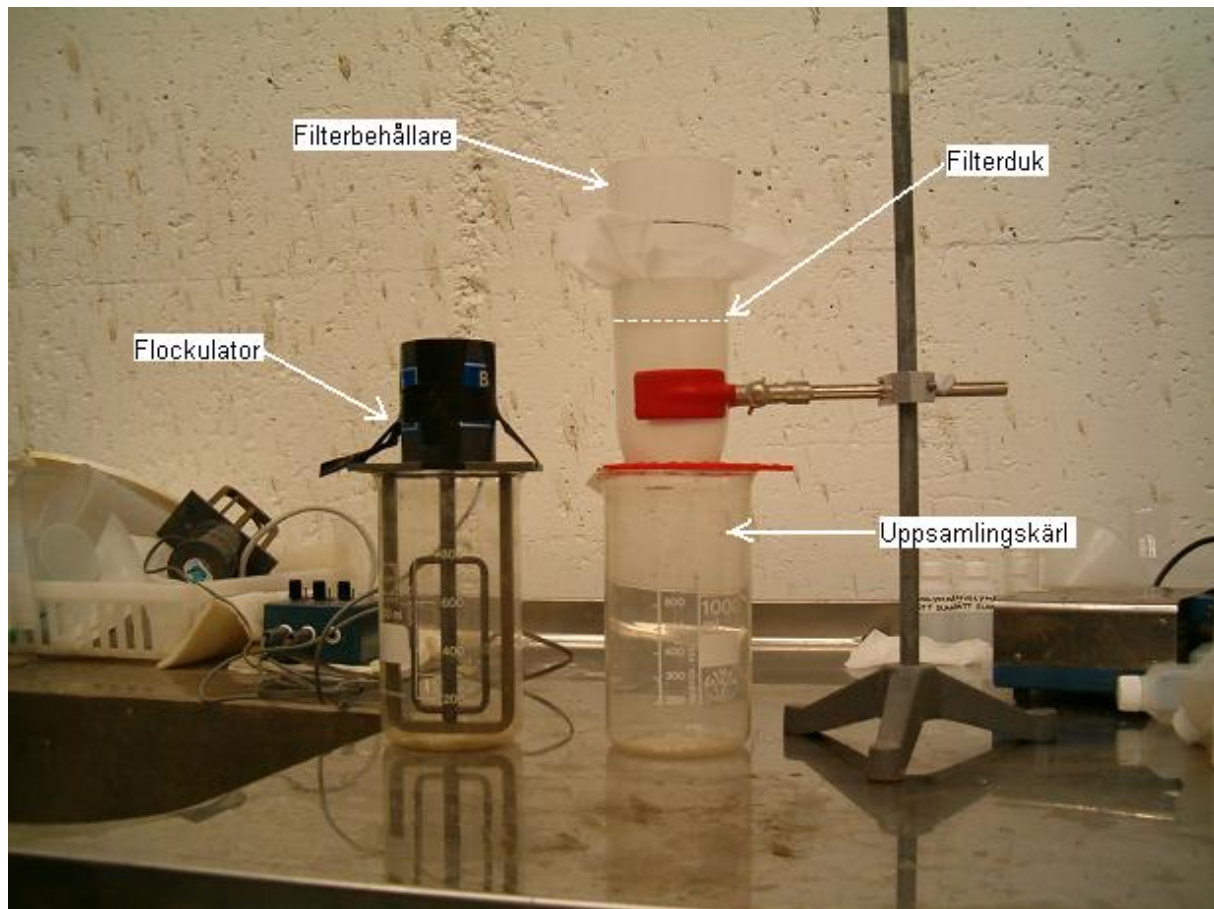
De kemikalier samt den duk som uppvisat bäst resultat från screeningen testas vidare under optimeringen. Förfarandet vid optimeringen liknar det vid screeningen med skillnaden att fler olika koncentrationer av de valda kemikalierna testas. Detta görs för att hitta en optimal dosering för det aktuella vattnet. Observera att den optimala doseringen varierar under dygnet pga. att belastningen på reningsverket varierar under dygnet. Det medför att den optimala

doseringen endast är optimal för proven tagna den aktuella tidpunkten. Under optimeringen testas även slamtillsats alternativt tillsats av bentonitlera i kombination med kemisk fällning/flockning. Den/de kemikalier samt den filterduk som uppvisar bäst egenskaper kommer sedan att användas vid fullskaleförsök, liksom försök med slam- eller bentonittillsats.

3.2 Material och analysmetod

3.2.1 Försöksuppställning

Figur 7 visar den försöksuppställning som använts vid laborationer, med flockulator, filtreranordning och uppsamlingskärl (Pettersson, 2004).



Figur 7. Laboratieförsök, uppställning.

3.2.2 Valda flocknings- och fällningskemikalier

Marknaden för fällningskemikalier och flockningsmedel är stor. Det finns många produkter att välja mellan. För att underlätta valet har de olika kemikalierna delats in i kluster med olika egenskaper, från varje kluster har sedan en produkt valts ut för screeningtest. För trumfiltret i linje 2 har i första hand polymeriserade metallsalter med hög laddning samt lågmolekylära polymerer prioriterats. För trumfiltret i linje 4 har metallsalter med något högre metallhalt samt en högmolekylär polymer prioriterats. De produkter som valts för screening samt deras egenskaper presenteras i tabell 1 och 2 nedan. För mer information om produkterna hänvisas till varuinformationsblad vilka kan erhållas från respektive tillverkare.

Tabell 1. Fällningskemikalier och deras olika egenskaper (screening, trumfilter linje 2).

Benämning	Innehåll	Densitet	Metallhalt	Polymerhalt	Tillverkare	Koncentration
		[g/ml]	Vikt%	Vikt%		mg/ml
PIX 115 extra	Järnsulfat	1,45	10,3		Kemira	149,35
PAX - XL350	Polyaluminiumklorid	1,31	7		Kemira	91,7
PAX - XL63	Polyaluminiumklorid	1,28	5,6		Kemira	71,68
ALS extra	Aluminiumsulfat	1,3	4		Kemira	52
Ekoflock 91	Polyaluminiumklorid	1,295	7		CDM	90,65
PAS 418	Polyaluminiumsulfat	1,4	5,23		Archemi	73,22
Zetag 7125	Polydamac, låg molekyler, katjon	1		100	CDM	10
Purfix 120	Potatisstärkelse, låg molekyler, katjon	1,06		20	Archemi	10,6

Tabell 2. Fällningskemikalier och deras olika egenskaper (screening, trumfilter linje 4).

Benämning	Innehåll	Densitet	Metallhalt	Polymerhalt	Tillverkare	Koncentration
		[g/ml]	Vikt%	Vikt%		mg/ml
PIX 111	Järntriklorid	1,39	13,6		Kemira	189,04
PAX - XL60	Polyaluminiumklorid	1,32	7,3		Kemira	96,36
ALS	Aluminiumsulfat	1,33	4,3		Kemira	57,19
Ekoflock 71	Polyaluminiumklorid	1,375	9,3		CDM	127,875
PurFal 362	1:1 järnsulfat / aluminiumsulfat	1,4	7,83		Archemi	109,62
Magnafloc 919	högmolekyler, anjon Polyakrylamid,	1		0,5	CDM	0,1
Magnafloc 342	högmolekyler, anjon Polyakrylamid,	1		0,5	CDM	0,1

3.3 Utförande

3.3.1 Beredning av flocknings- och fällningskemikalier

Fällningskemikalier i form av metallsalter levereras i lösning som ej bereds ytterligare, detta p g a att spädning av dessa lösningar skulle medföra en pH-ändring vilket i sin tur gör att löslighetsprodukter för de ingående komponenterna ändras. Produkten får då inte de önskade egenskaperna. Polymerer däremot skall spädas. Låg molekyler polymer, Purfix 120 samt Zetag 7125 späds med vatten till 1 – 2 % lösning. Högmolekyler polymerer, Magnafloc 342 samt Magnafloc 919 levereras i 0,5% lösning, dessa spädes sedan med vatten till 0,01% lösning. Att spädningen för de högmolekyler polymererna är så stor beror på att dessa polyakrylamider har mycket hög viskositet och skulle bli svåra att dosera utan så stor spädning. Högmolekyler polymerer som levereras i fast form löses först upp i aceton (0,5g polymer till 2 ml aceton) och spädes sedan till 0,5% lösning. Denna spädes sedan ytterligare enligt tidigare beskrivning.

3.3.2 Laborieförsök – genomförande

Provtagning görs från provtagningsbänk (inkommande avloppsvatten) respektive påstick på ledning (processvatten in till trumfilter i linje 4), se bilaga B. Den apparatur och de analysmetoder som används vid laborieförsök i denna studie beskrivs i bilaga A.

Screening och optimering

Första delen vid laboratoriearbetet är att undersöka viken fällningskemikalie samt koagulant som bör användas vid drift i fullskala. En provvolym på 1 liter tas från hink innehållande väl omrört provvatten och hålls i flockningsbägaren beskriven i 3.2.1. Under snabbomrörning doseras metallsalt samt polymer med snabbpipett samt plastspruta. Sedan får flockning ske under långsam omrörning i tre minuter. Den långsamma omrörningen väljs något snabbare än vad som vanligen görs vid flockningsförsök, detta för att efterlikna den turbulens som förekommer i trumfiltret där flockningen sker i den verkliga processen. Efter flockning hålls provet genom filterduken i enlighet med tidigare nämnd försöksuppställning (Pettersson, 2004). För att inte flödet och därigenom turbulensen mot filterduken ska bli för stor testas även en uppställning där provet hålls genom en tratt och ner på filterduken. För att jämförelsen mellan de olika försöken ska bli så rättvis som möjligt hålls samma vätskenivå i filterbehållaren under filtrering. Vid varje provtillfälle samlas filtrat upp i 100 ml flaskor. Prov tas även på ofiltrerat prov samt filtrerat prov utan kemikalietillsats. En jämförelse mellan analys av filtrat för de olika filtrerings- och flockningsförsök görs sedan utifrån de parametrar som valts att undersökas. Några försök görs med tillsats av slam under snabbomrörningen. Slammet tillsätts med hjälp av plastspruta.

Mätning av katjonbehov

Under ett dygn mäts katjonbehovet på inkommande vatten till trumfilter i processlinje 2 samt på vatten från biopoleringen i processlinje 4. Mätningen görs på tvåtimmars prover, således blir det 12 prover på respektive vatten. Proverna tas med automatiska provtagare vilka hämtar en provvolym var sjätte minut och fyller en provflaska. Efter två timmar påbörjas fyllning av nästa flaska osv.

Katjonbehovsmätare on-line som hanterar så små flöden som det rör sig om på Sjöstadverket existerar inte på marknaden idag. Därför mäts även andra faktorer, Z-potential, pH, redox-potential, fosfatfosfor, konduktivitet, SS och turbiditet on-line för att se om det finns något samband mellan dessa och katjonbehovet. Om tydliga samband kan erhållas kan framkoppling eventuellt göras utifrån detta. Som nämnts i avsnitt 2.4.4 vore det intressant att undersöka möjligheten att använda katjonbehovet för att dosera lämplig mängd fällningskemikalie.

4 Fullskaleförsök

4.1 Trumfilter processlinje 2

Resultaten från laborieförsöken ligger till grund för de kemikalier samt den duk som ska användas i fullskaleförsöket.



Figur 8. Trumfilter med slamförtjockare, linje 2, Sjöstadsverket.

4.1.1 Försöksmetodik

Som nämnts i inledningen, avsnitt 1.2 ska trumfiltret optimeras med avseende på halt suspenderad substans (SS) i filtratet, samt torrsubstanshalt i avskilt slam. För att öka reduktionen av SS ska liksom vid labförsöken, försök med tillsats av flockningsmedel samt slam utvärderas.

Reduktion av suspenderad substans

Inledningsvis samlas data på SS i inkommande vatten samt filtrat då trumfiltret körs under normal drift, d v s utan tillsats av kemikalier eller slam. I efterföljande försök tillsätts flockningsmedel flödesproportionellt enligt den dosering som visat sig lämplig från labförsök. För kemikaliedosering används membranpumpar. Nästa steg är att reglera tillsatsen av flockningsmedel under en period, för att hålla halten SS i filtrat konstant kring ett börvärde, se avsnitt 4.1.3.

Ytterligare försök med flödesproportionell dosering av flockningsmedel samt förtjockat slam utförs sedan. Slammet doseras med hjälp av en slangpump. En jämförelse mellan de olika

strategierna görs med avseende på SS i inkommande vatten samt i filtrat. Utifrån denna jämförelse kan utvärderas vilken strategi som ger högst reduktion av SS. Under tre dygn kommer även fosfatreduktion analyseras parallellt med analys av SS-reduktion.

Genomgående under samtliga försök görs analyser av filtrets backspolningsfrekvens som ger information om igensättning av filterduk samt energiåtgång. En ökning av backspolningsfrekvens till följd av kemikalietillsats kan tänkas vara ett troligt scenario utifrån teorin som diskuteras i avsnitt 2.5 samt det faktum att ökad SS-reduktion betyder att en slamkaka snabbare byggs upp på filterduken.

Mätning av filtreringsmotstånd

För att få en uppfattning om filtreringsmotståndet för de olika scenarierna, normal drift, flockning, samt flockning med slamrecirkulering, görs bräddningsförsök. Under dessa bräddningsförsök startar tidtagning i samband med avslutad backspolning. Backspolningen stängs sedan av helt och hållet. Tanken är att varje bräddningsförsök påbörjas med en renspolad duk. Vattennivån i filtret stiger och tidtagningen stoppas när filtret bräddar, vilket inträffar vid en specifik vattennivå, ca halva filtertrummans höjd. Tiderna för respektive bräddningsförsök kan sedan jämföras. En kortare tidsperiod innebär en snabbare igensättning och därmed högre filtreringsmotstånd. Försöket utförs lämpligast under en tidsperiod där inkommande SS är i det närmaste konstant.

Optimering av torrsubstanshalt i slam

Detta är en ganska komplicerad faktor att optimera. Faktorerna som påverkar torrsubstanshalten (TS) i slammet ut från förtjockaren, dit slam från trumfiltret i processlinje 2 rinner, är många. Här lämpar sig faktorförsök som beskrivits kortfattat i avsnitt 3.1. Resultatvariabeln är i detta fall TS, och de kvantitativa faktorer som påverkar TS är bland annat driftsnivå i trumfiltret, ytbelastning och uppehållstiden i förtjockaren. Andra kvalitativa faktorer som kan tänkas påverka är tillsats av flockningsmedel samt slam, men även backspolningen som kan göras på två sätt, med luft respektive vatten, kan antas påverka TS. Flockarna kan vara olika kompakta vilket leder till att den bildade slamkakan på filterduken varierar i kompaktering. En kompakt slamkaka har högre TS. Lämpligast i detta fall är att göra två mindre faktorförsök. Ett där de kvantitativa faktorerna varierar (hög och låg nivå) utan tillsats av flockningsmedel och slam, samt ett där de kvalitativa faktorerna varierar.

4.1.2 Analysmetod

Mätning av SS

På inkommande vatten finns i dagsläget ingen möjlighet att analysera SS med on-line instrument. Således mäts SS enligt den metod som beskrivits i avsnitt 3.2.3. Provsamlas in med automatisk provtagare vars funktion beskrivs kortfattat i avsnitt 3.3.3, stycke 2. för mätning av SS i filtrat finns en on-line mätare av fabrikat Dr Lange, modell Solitax, ts-line. Med jämna mellanrum tas stickprover laborativt på SS och jämföres med on-line värden för att försäkra att on-line värdena är korrekta.

Uppföljning av backspolningsfrekvens

Varje gång filtret backspolas startar motorn som får filtertrumman att rotera. I styrsystemet loggas antalet starter per 6 minuter. Data kan sedan extraheras ur en databas, SQL kopplad till styrsystemet. Vid extraktion av data kan tidsupplösning väljas valfritt, t.ex. medelvärde över en timme.

Mätning av TS

TS mäts på följande sätt: ett slamprov, 20 – 30 gram, vägs upp i en aluminiumform med känd vikt och ställs i en ugn (105°C) i ett par timmar. Provet vägs sedan efter avsvulning i torkskåp. Aluminiumformens vikt dras av. Viktskillnaden hos provet motsvarar mängden vatten i provet varvid TS kan beräknas. TS anges vanligtvis i enhet %.

4.1.3 Reglering av fällnings-/flockningskemikalie

Som beskrivits i avsnitt 2.7.2 ska reglering med återkoppling undersökas. I linje 4 ska en lågmolekylär polymer samt metallsalt användas som koagulanter vid fullskaleförsök. Styrsignalen i detta fall är signalen till doserpumpen för polymer (4-20 mA). Signalen till doserpumpen för metallsalt regleras proportionellt mot styrsignalen för doserpumpen för polymer. Proportionalitetskonstanten väljs så att förhållandet i koncentration mellan kemikalierna blir det som visat sig bäst från laborieförsök. Inledningsvis testas flödesproportionell reglering. I detta fall svarar det mot en konstant dos eftersom inflödet till trumfiltret är konstant 1,6 m³/h.

En PID – regulator programmeras i det Java-baserade styrprogrammet *4 Control*. Ett grafiskt gränssnitt programmeras även för regulatören, vilket underlättar val av parametrar samt tydliggör regleringen för processoperatören. I gränssnittet kan styrsignalen ändras manuellt mellan 0 och 100 % vilket innebär en analog styrsignal på 4 – 20 mA. För att vara säker på att den utställda styrsignalen verkligen ger det önskade flödet kontrolleras detta genom att man mäter flödet mot utsignalen och ritar detta i ett diagram. Pumparna kan dessutom ställas in för olika slaglängder vilka ger olika flöden, större slaglängd medför större flöde. Pumpkurvor för de aktuella pumparna har tagits fram för olika slaglängder och presenteras i figur 1 och 2, bilaga H.

Val av PID-parametrar

Det finns flera metoder för att beräkna lämpliga PID-parametrar. En metod som är tänkt att användas i denna studie är *lambda*-metoden. Den används för att hitta förstärkningen K samt integreringstiden T_i. Deriveringstermen i PID-regulatören får i detta fall tas fram experimentellt.

Kortfattat kan *lambda*-metoden beskrivas enligt följande: Ett stegsvars-experiment utförs där styrsignalen ändras ett steg och stegsvaret för utsignalen studeras. Utifrån stigtid, tidsfördröjning samt statisk förstärkning kan parametrarna K och T_i beräknas enligt följande:

$$K_s = \frac{y_s}{u_s} \quad (3)$$

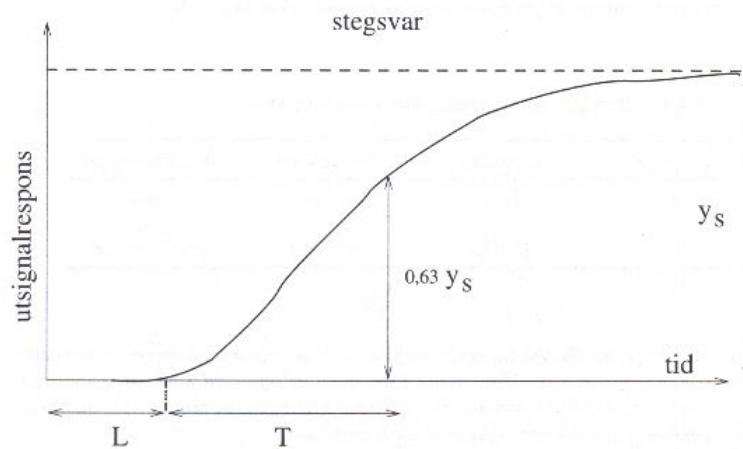
$$\lambda = p \cdot M \quad (4)$$

$$K = \frac{T}{K_s \cdot (\lambda + L)} \quad (5)$$

$$T_i = T \quad (6)$$

Parametrarna, L(tidsfördröjningen), T och y_s kan avläsas direkt ur stegsvaret (fig. 9). Parametern p väljs beroende på önskad snabbhet, normalt mellan 1 och 3. Större p ger en

långsammare regulator. U_s är ökningen hos styrsignalen. M är den av L och T som antar störst värde (Åström och Hägglund, 1994).



Figur 9. Stegsvär där det visas hur parametrarna L , Y_s och T utläses.

4.2 Trumfilter processlinje 4

Resultaten från laborieförsöken ligger till grund för de kemikalier samt den duk som används i fullskaleförsöket.

4.2.1 Försöksmetodik

Som nämnts i inledningen, avsnitt 1.2, ska trumfiltret optimeras med avseende på halt fosfatfosfor i filtratet, samt torrsubstanshalt i avskilt slam. För att öka reduktionen av fosfatfosfor ska, liksom vid labförsöken, försök med tillsats av flockningsmedel samt slam utvärderas.

Reduktion av fosfatfosfor

Inledningsvis samlas data på fosfathalt i biopoleringsen, dvs. inkommande vatten till trumfilter i processlinje 4, samt i filtrat då trumfiltret körs under normal drift, d v s utan tillsats av kemikalier eller slam. I efterföljande försök tillsätts fällningskemikalier flödesproportionellt enligt den dosering som visat sig lämplig från labförsök. För kemikaliedosering används membranpumpar. Nästa steg är att reglera tillsatsen av fällningskemikalier under en period, för att hålla halten fosfathalten i filtrat konstant kring ett börvärde, se avsnitt 4.2.3.

Ytterligare försök med flödesproportionell dosering av flockningsmedel samt slam utförs sedan. Slammet doseras med hjälp av en slangpump. En jämförelse mellan de olika strategierna görs med avseende på fosfatfosfor i biopoleringsen samt i filtrat. Utifrån denna jämförelse kan utvärderas vilken strategi som ger högst reduktion av fosfatfosfor. Genomgående under samtliga försök görs analyser av filtrets backspolningsfrekvens som ger information om igensättning av filterduk samt energiåtgång.

Optimering av torrsubstanshalt i slam

För trumfilter i processlinje 4 är denna optimering enklare än för trumfilter i processlinje 2. Faktorerna som antas påverka torrsubstanshalten (TS) i slammet ut från slamrännan är få. Här kan faktorförsök vara lämpligt. Resultatvariabeln i detta fall är TS, och den enda kvantitativa faktor som antas påverka TS är driftsnivån i trumfiltret. Andra kvalitativa faktorer som kan tänkas påverka TS är backspolningen, som kan göras på två sätt, med luft respektive vatten. Även tillsats av flockningsmedel samt slam, vilka påverkar flockbildningen kan tänkas påverka TS. Flockarna kan vara olika kompakta vilket leder till att den bildade slamkakan på filterduken varierar i kompaktering. En kompakt slamkaka har högre TS. Lämpligast i detta fall är att göra två mindre faktorförsök. Ett där den kvantitativa faktorn varierar (hög och låg nivå) utan tillsats av flockningsmedel och slam. Detta är dock inget riktigt faktorförsök eftersom det endast antas vara en kvantitativ faktor som påverkar resultatvariabeln. Ytterligare ett faktorförsök görs sedan där de kvalitativa faktorerna varierar.

4.2.2 Analysmetod

Mätning av fosfatfosfor

Fosfatfosfor mäts on-line i filtratet med analysator av fabrikat Bran Luebbe, modell XION 500. Mätning av fosfatfosfor i biopoleringen görs på 1-timmes prover tagna med automatisk provtagare, se avsnitt 3.3.3, stycke 2 och analysen görs med kyvettester, beskrivet kortfattat i avsnitt 3.2.3.

Uppföljning av backspolningsfrekvens

Backspolningsfrekvens mäts på samma sätt som beskrivits i avsnitt 4.1.2.

Mätning av TS

Mätning av TS går till på det sätt som beskrivits i avsnitt 4.1.2.

4.2.3 Reglering av fällnings-/flockningskemikalie

Metoden är densamma som för trumfilter i linje 2. Här är den utställda styrsignalen den signal som doserpumparna mottar (4 – 20 mA). Utsignalen är i detta fall uppmätt fosfathalt i filtratet. Även detta försök inleds med flödesproportionell reglering av fällningskemikalier.

Val av PID-parametrar

Val av PID – parametrar görs på samma sätt som för trumfiltret i linje 2, med den skillnad att utsignalen från vilken återkopplingen sker i detta fall är halten fosfatfosfor. Stegsvarexperiment utförs där styrsignalen ändras ett steg och parametrar bestäms utifrån stegsvaret.

5 Resultat – laboratorieförsök

5.1 Screening

Trumfilter processlinje 2

Resultat från labförsök finns sammanställt i tabell 1, bilaga D.1. Denna screening omfattade 36 flocknings/filtreringsförsök på 60 µm filterduk. De mest intressanta parametrarna vid försöken var tid till igensättning, turbiditet (relativt mått på SS) samt filtratvolym. För att få en jämförelse med trumfiltret i full skala har följande skalning gjorts. Utifrån tid till igensättning samt filtratvolym har medelflöde genom filtret beräknats och relaterats till flöde för fullskalefiltret på följande sätt:

$$\text{medelflöde} = \frac{\text{filtratvolym} \cdot \text{trumfilterarea}}{\text{igensättningstid} \cdot \text{labfilterarea}} \quad (7)$$

där trumfilterarea avser den filterduksarea i trumfiltret vilken antas ligga under vatten (i medeltal) och filtratvolym är den volym som runnit igenom filterduken fram till dess att filterduken blivit igensatt. Ytterligare en faktor som är intressant att studera vid jämförelse mellan olika kemikalier är teoretisk backspolningsfrekvens, *tbf*. Denna är liksom medelflödet en skalning som görs för att få en uppfattning om backspolningsfrekvens för det fullskaliga trumfiltret. Faktorn *tbf* har beräknats på följande sätt:

$$tbf = \frac{\text{processflöde} \cdot \text{labfilterarea}}{\text{filtratvolym} \cdot \text{trumfilterarea}} \quad (8)$$

Processflödet är satt till 1,6 m³/h, vilket är det flöde som hålls genom trumfiltret i fullskala. Jämförelse mellan olika produkter och filterdukar under screening har gjorts främst med avseende på medelflöde, *tbf*, och turbiditet. De kemikalier som visat sig fungera bäst på det aktuella vattnet är ALSextra, PAX-XL63 och PIX-115extra i kombination med Purfix 120. Dessa kemikalier uppvisade även bäst egenskaper vad gäller flockstorlek och flockstabilitet. En intressant iakttagelse är att slamkaka innehållande järnhaltigt metallsalt är lättare att spola bort från filtret. Dock blir storleken på flockarna bildade med järnsalt mindre.

Trumfilter processlinje 4

Resultat från laborationsförsöken finns sammanställt i tabell 2, bilaga D.1. Denna screening omfattade 25 flocknings- och filtreringsförsök på 30 µm filterduk. De faktorer som jämförts vid denna screening är turbiditet, medelflöde, *tbf* samt fosfatfosfor. *Tbf* beräknas i detta fall utifrån ett processflöde på 1,2 m³/h. Här visade sig PurFal 362 i kombination med Magnafloc 342 vara bäst i alla kategorier varför endast dessa väljs för vidare optimering. Fosfatreduktionen var låg för samtliga försök. Stökiometriskt antogs att en mol metallsalt reducerar en mol fosfatfosfor. Normalt är dock det faktiska molförhållandet metallsalt:fosfatfosfor, 1,5:1 (Tchobanoglous m.fl., 2003). Resultat från screeningen visar att molförhållandet mellan tillsatt metallsalt och reducerad fosfatfosfor varierar mellan 0,3:1 och 1,8:1. Även här förekommer problemet med sköra flockar.

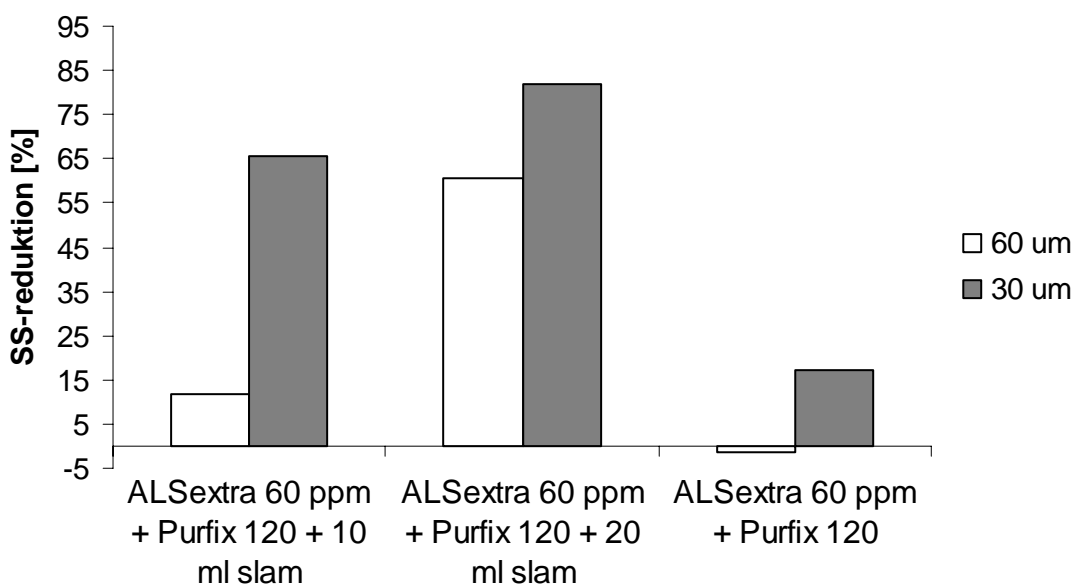
5.2 Optimering av SS - och PO₄ - reduktion vid laborieförsök

5.2.1 Inkommande vatten processlinje 2

Istället för turbiditet uppmättes halten SS. Resultat presenteras i tabell 3, bilaga D.2. Det visade sig att reduktionen av SS inte blev märkbart större med tillsats av kemikalier. Övriga undersökta faktorer var samma som för screeningen. De kemikalier som visat sig fungera bäst under optimeringen var ALSextra, 60 ml/m³ i kombination med Purfix 120, 3 g/m³. 30 µm filterduk gav högst reduktion av SS varför denna duk bör användas vid fullskaleförsök.

Försök med tillsats av förtjockat slam

Tillsats av förtjockat slam som flockningsförstärkare visade sig vara effektivt. Närmare 85 % SS – reduktion kunde erhållas. Figur 10 visar försök med och utan slamtillsats på två olika filterdukar.



Figur 10. Labförsök med flockning och filtrering, med och utan slamtillsats på två olika filterdukar.

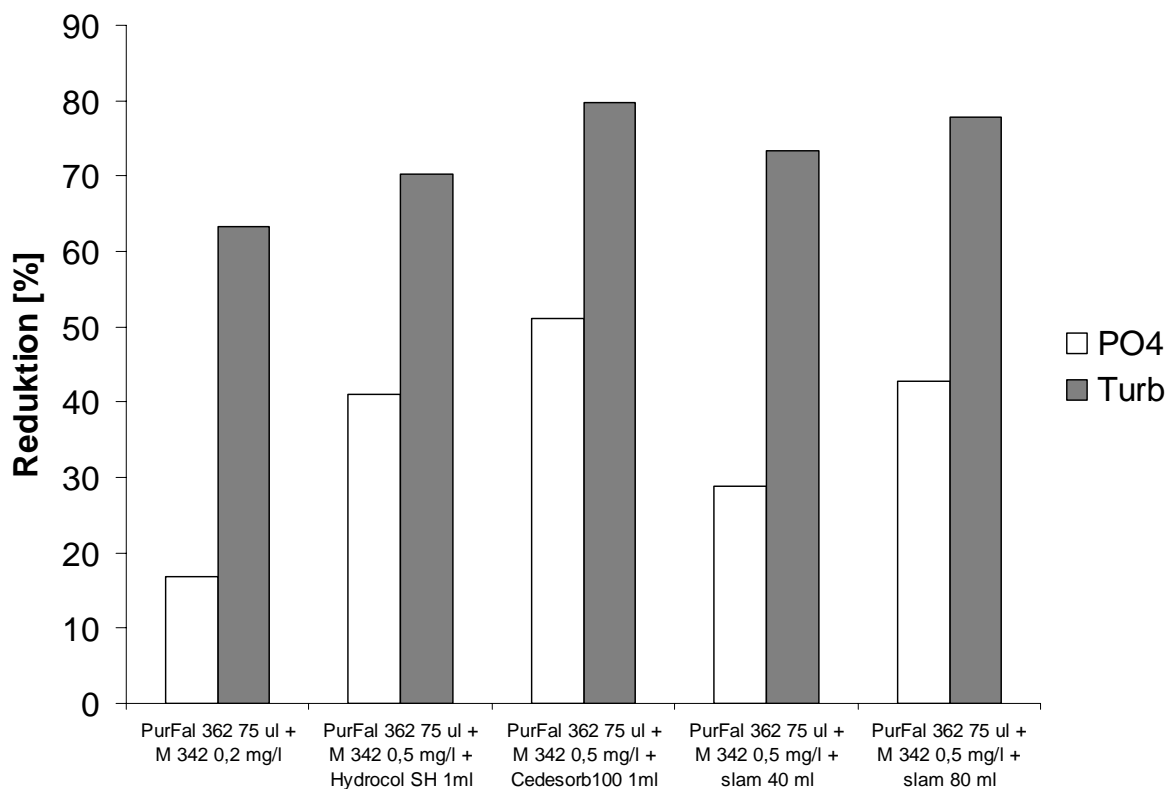
5.2.2 Vatten från biopolering processlinje 4

Resultaten visar att upp till ca 80 % SS-reduktion kan erhållas samt 60 % reduktion av fosfatfosfor. Medelreduktionen för de genomförda optimeringsförsöken är dock mycket lägre. Tbf ökar dock markant vid ökad koncentration metallsalt, samtidigt som medelflödet genom filterduken minskar, se tabell 4, bilaga D.2.

Försök med tillsats av slam och bentonit

Resultaten från labförsök med tillsats av slam och bentonit visar att reduktionen av både fosfatfosfor och turbiditet ökar avsevärt jämfört med försök då slam respektive bentonit inte tillsätts. Bentonit och slam har vid labförsök tillsatts med plastspruta. Två typer av bentonit

testades, Hydrocol SH och Cedesorb 100. De flockar som bildas vid tillsats av slam är mycket stora, upp till en centimeter. Dessa flockar sedimenterar även mycket fort och verkar inte sätta igen filterduken i lika hög grad som vid försök utan slam. Flockbildningen vid slamtillsats är mycket snabbare än motsvarande flockbildning utan slamtillsats. Flockar bildade efter tillsats av bentonit blev inte lika stora som vid slamtillsats och sedimentationshastigheten lägre. Även medelflödet genom filtret blev lägre med bentonittillsats. Figur 11 visar resultat från försök med slam- respektive bentonittillsats.



Figur 11. Resultat från laboratorieförsök, där två olika sorters bentonit, Hydrocol SH och Cedesorb 100, samt slam tillsats för bättre flockbildning. De två staplarna längst till vänster visar parallellt försök utan tillsats av slam respektive bentonit.

5.3 Katjonbehovsmätning

Inkommande vatten

Katjonbehovet för inkommande avloppsvatten varierar mellan 1,7 och 3,4 ml under provtagningsdygnet 2004-12-21, se tabell 2 i bilaga E.2. Med de omräkningsfaktorer för bestämning av mängd metallsalt respektive polymer som krävs för laddningsneutralisering (bilaga A.4.), betyder detta att motsvarande 680 – 1360 ml/m³ metallsalt alternativt 68 – 136 g/m³ lågmolekylär polymer skulle krävas.

Några signifikanta samband mellan katjonbehov och övriga parametrar som uppmättes under provtagningsdygnet har inte kunnat påvisas, se bilaga E.3. Möjligen finns signifikant samband mellan katjonbehov och pH.

Vatten från biopoleringen

Katjonbehovet för processvatten från biopoleringen varierar mellan 0,77 och 1,1 ml under provtagningsdygnet 2004-12-21 se tabell 1 i bilaga E.1. Med de omräkningsfaktorer för bestämning av mängd metallsalt respektive polymer som krävs för laddningsneutralisering (bilaga A.4.), betyder detta att motsvarande 308 – 440 ml/m³ metallsalt alternativt 3,1 – 4,4 g/m³ högmolekylär polymer skulle krävas.

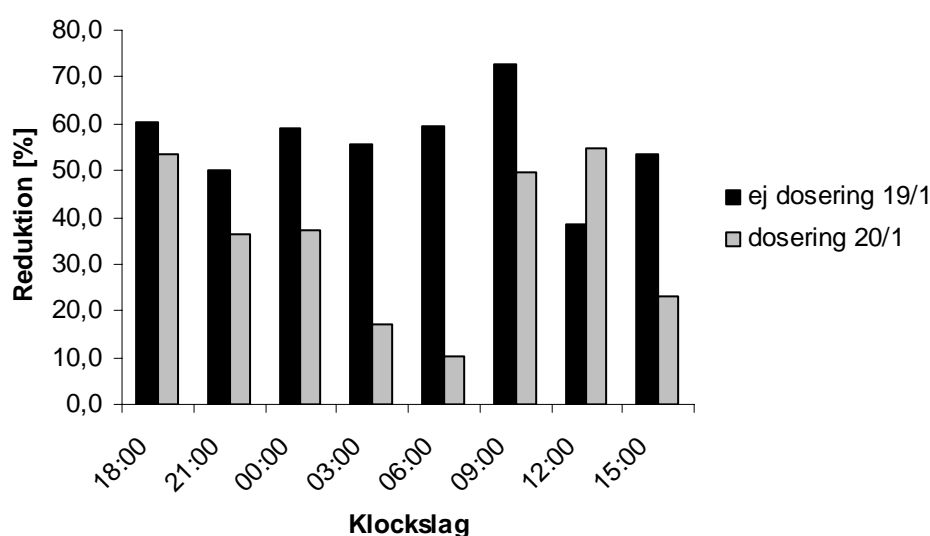
Inte heller här, liksom för inkommande avloppsvatten, kunde några signifikanta samband mellan katjonbehov och övriga parametrar som uppmättes under provtagningsdygnet påvisas, se bilaga E.4. Möjligen finns signifikant samband mellan katjonbehov och pH.

6 Resultat – fullskaleförsök

6.1 Trumfilter processlinje 2

Reduktion av suspenderad substans

Samtliga försök tyder på en relativt låg SS-reduktion, ca 30 – 50 %. Högst reduktion erhålls utan tillsats av fällnings- och flockningsmedel, se figur 12. Ingen ökning i SS-reduktion har således observerats vid försök med tillsats av kemikalier respektive kemikalier och slam jämfört med det fall då ingen tillsats sker. Dock har en ökning i backspolningsfrekvens observerats vid tillsats av flockningsmedel och slam. Störst ökning av backspolningsfrekvens har observerats för de fall då trumfiltret körs med lägre driftsnivå, se figur 2 – 4 och tabell 4 i bilaga F.2. Resultat i detalj presenteras i tabell 1, 2 och 3 bilaga F.1 samt figur 1 i bilaga F.1.



Figur 12. Reduktion av SS under två dygn, med och utan kemikaliedosering.

Reduktion av fosfatfosfor

Fosfatreduktionen uppgår till ca 30 – 35 % vid två olika försök med tillsats av flockningsmedel. Följande två tillsatser av flockningsmedel har testats: 75 ml/m³ metallsalt respektive 75 ml/m³ metallsalt tillsammans med 3 g/m³ lågmolekylär polymer. Utan tillsats av flockningsmedel är reduktionen endast ca 1 %.

Mätning av filtreringsmotstånd

Resultaten tyder inte på att filtreringsmotståndet skulle öka vid slamrecirkulering respektive kemfällning. Skillnaden mellan de olika försöken är mycket liten, se tabell 1, bilaga G.

Optimering av torrsubstanshalt i slam

Någon optimering av TS har inte kunnat utföras med den drift som varit aktuell under försöksperioden. Den skruv som nämnts i avsnitt 2.3 var ej installerad under försöksperioden vilket medfört att optimering med avseende på TS inte har varit praktiskt genomförbar.

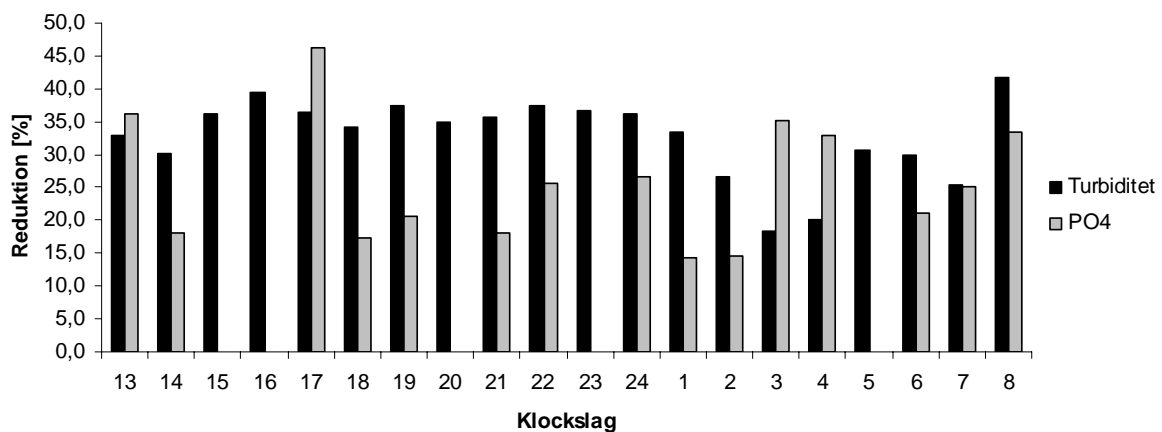
6.1.1 Reglering av fällnings-/flockningskemikalie

Ett stegsvarsexperiment med avseende på utgående halt SS genomfördes, men eftersom detta inte gav något reduktion av SS har vidare försök att reglera halten SS inte genomförts.

6.2 Trumfilter processlinje 4

Reduktion av fosfatfosfor

Fosfatreduktionen under försöken uppgår till ca 20 – 30 %, se figur 13. Vid ökad dosering av metallsalt kan upp till 40 % reduktion erhållas, se tabell 4, bilaga F.3 och i figur 5 i bilaga F.3.



Figur 13. Reduktion av fosfatfosfor och turbiditet 2004-12-21.

Reduktion av suspenderad substans

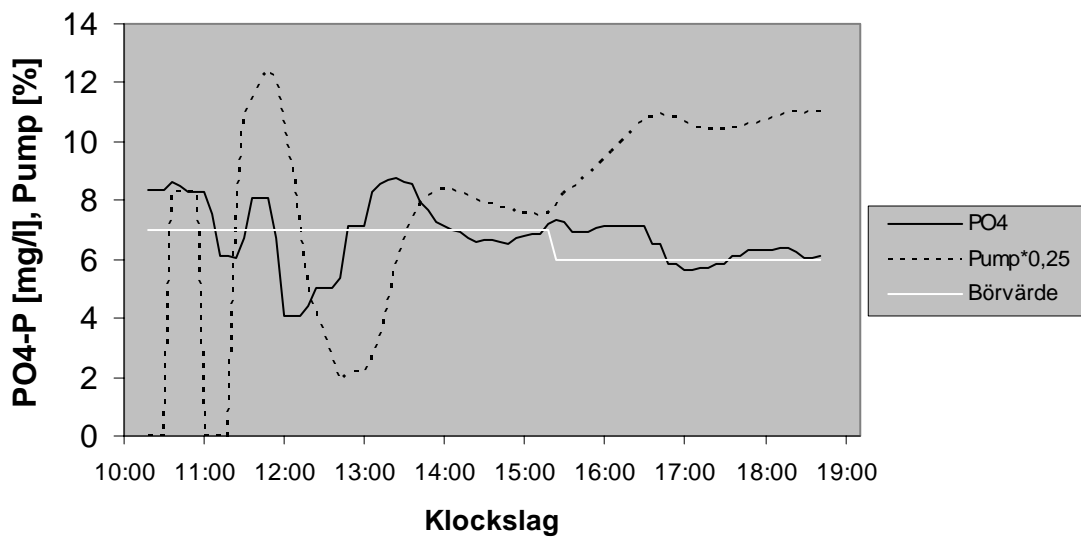
SS har inte mätts i fullskalförsöket. Av praktiska skäl har turbiditet mätts istället eftersom denna mätmetod är snabbare och enklare att genomföra. Sambandet mellan SS och turbiditet är tydligt (se bilaga A.1) vilket gör att detta kan anses motiverat. Reduktionen av turbiditet är ca 30 % i medeltal (fig 13) för försök både med och utan kemfällning, se tabell 4, bilaga F.3. Däremot blir reduktionen betydligt lägre vid slamrecirkulering. Backspolningsfrekvensen ökar med ca 50 – 100 % vid kemfällning. Utan kemfällning backspolar filtret i genomsnitt 2,5 gånger per sex minuter.

Optimering av torrsustanshalt i slam

Någon optimering av TS har inte utförts på grund av tidsbrist.

6.2.1 Reglering av fällnings-/flockningskemikalie

Metoden för att bestämma regulatorparametrar vilken beskrivits i avsnitt 4.1.3 har inte använts. Istället har regulatorparametrarna trimmats manuellt. Följande parametervärden har använts vid reglering: $K = 0,3$ $T_i = 360$ s och $T_d = 0$, dvs. ingen deriverande del ingår i regulatorn. Resultat från regleringen visar att reglering av fosfathalt i utgående vatten från trumfiltret i linje 4 kan vara möjlig, se figur 12. Kl. 11:00 den 14:e januari sattes börvärdet till 7 mg/l och ändrades sedan med ett steg till 6 mg/l kl. 15:20 samma dag. Då börvärdet sattes till 7 mg/l svänger utgående halt in mot 7 mg/l. När sedan börvärdet ändras till 6 mg/l hamnar utsignalen, efter en viss tidsfördröjning, i närheten av det nya börvärdet.



Figur 12. Försök med reglering av fosfathalt i utgående vatten från trumfilter i processlinje 4, pump [%] motsvarar % av maximal pumpsignal. Pumpsignalen i figuren har skalats ner.

7 Diskussion och slutsatser

7.1 Diskussion, laborationer

Screening

För samtliga försök kan nämnas att de bildade flockarna är mycket sköra och tenderar att brytas upp då de hålls ifrån flockningsbägaren ner på filtret, detta gäller oavsett om labuppställning med tratt och slang används eller inte. Vid tillsats av större mängd flockningsmedel blir flockarna större men spretigare och sedimenterar mycket långsamt. En ökad kemikaliedosering leder även till att filterduken sätts igen fortare. De spretiga flockarna tenderar att snabbt täppa igen porerna i filtret. Igensättningen sker då så snabbt att det inte ens går att observera någon bildning av slamkaka på filterduken. I flera fall uppgår den totala filtratvolymen endast till knappt 100 ml innan filtret är igensatt. Trots ovan nämnda svårigheter med att få stabila och bra flockar är det många försök som uppvisar goda egenskaper främst gällande reduktion av SS men även för fosfatfosfor på vatten från biopolerings. Största problemet verkar vara igensättning av filterduken. Ytterligare ett märkligt fenomen har uppträtt vid vissa försök. När vatten innehållande flockar hålls på filtret ser allting bra ut. Flödet avtar i och med att en slamkaka byggs upp på filtret. Sedan vid ett visst statiskt vattentryck, ca sex centimeter så rinner snabbt ett par hundra ml vatten igenom filtret och filtratet blir grumligare. Anledningen till detta är troligen att trycket gör att flockarna som ansamlats på filtret går sönder till mindre enheter som tar sig genom öppningen i filterduken. I och med att detta fenomen uppträder på lab vid ett tryck av endast sex centimeter, är det rimligt att tro att detta sker i ännu högre grad i fullskala då vattentrycket i medeltal är ca 20 cm.

Optimering av SS – och PO₄ – reduktion vid laboratieförsök

Det visade sig att reduktionen av suspenderad substans inte blev lika stor med tillsats av kemikalier som vid screeningen. Detta kan tänkas bero på att provvattnets sammansättning skiljer sig något vid de olika provtagningstillfällena. Även fosfatreduktionen var lägre vid optimeringen vilket tyder på sämre flockbildning. Däremot visade sig slamdoseringsförsöken ge bättre resultat. Vid slamdosering blev de bildade flockarna mycket större och stabilare. Flockbildningen var också mycket snabbare. Efter snabb omrörning i tio sekunder tog det endast någon sekund innan stora kompakta flockar bildats. Motsvarande tid för flockbildning utan slamtillsats var över en minut. Klarfasen mellan flockarna var mycket klarare med slamdosering än utan. En annan observation vid slamtillsats var att filterduken inte satte igen lika snabbt, i vissa fall erhöles samma tid till igensättning som då inga kemikalier tillsatts. Tyvärr var mätningen av SS på inkommande vid slamdoseringsförsöken osäker. Som synes i figur 10 är SS-reduktionen negativ vid ett försök. Detta är naturligtvis omöjligt och kan tyda på att inkommande SS var högre än det uppmätta vid detta försök. Skulle denna flockning med slamtillsats visa sig fungera i fullskala skulle reduktionen av SS och fosfatfosfor kunna bli avsevärt mycket bättre. Att ha i åtanke är även de positiva slamegenskaper som slamdosering kan medföra. Kompakta flockar ger ett mer kompakt slam men högre TS. I bästa fall kanske förtjockning av slammet visar sig vara onödig. Slamrecirkulering är inget nytt, dock har det inte i denna studie hittats några exempel där slamrecirkulering används för flockning och fällning på filter.

Katjonbehov

Den beräknade dosering som skulle krävas för laddningsneutralisation har visat sig vara mycket högre än de doser som brukar användas traditionellt vid avloppsvattenrening. Oftast används polymer i kombination med metallsalt för att tillfredsställa katjonbehovet. På ett

inkommande vatten är det dock inte ekonomiskt eller miljömässigt försvarbart att dosera sådan mängd att laddningsutjämning uppstår. Oftast är det heller inte önskvärt då vattnet efter förbehandlingen i många fall ska behandlas på biologisk väg av mikroorganismer som kräver en viss halt av organiskt material och lösta salter. Tillräcklig mängd måste dock tillsättas för att flockar ska bildas. Laborationsförsök i denna studie visade att en dos av 60 - 100 ml/m³ metallsalt samt 4 g/m³ lågmolekylär (alternativt 0,2 g/m³ högmolekylär) polymer fungerar bra för flockbildning på undersökta processvatten. Att katjonbehovet är mindre för vattnet från biopoleringen beror på att mycket av de organiska ämnen som bidrar till katjonbehov etc. konsumerats av mikroorganismer i de föregående anaeroba reaktorerna.

Inga samband mellan katjonbehov och övriga uppmätta faktorer kunde påvisas. Dock skall nämnas att de samband som testats endast är linjära samband utan någon transformation av data. Kvar är att undersöka om det med hjälp av transformationer och eventuellt multipel linjär regression kan erhållas signifikanta samband.

7.2 Diskussion, fullskaleförsök

Trumfilter processlinje 2

Vid fullskaleförsöken erhöles ingen nämnvärd förbättring av SS-reduktion med vare sig tillsats av flockningsmedel eller slamrecirkulering. Förklaringen till detta är troligen enkel. Det bildas helt enkelt inga flockar. Detta beror antagligen på att de doseringspunkter som finns inte är optimala, d v s de har ej rätt placering. Med tanke på att det visat sig i lab att flockarna som bildas är mycket sköra så behövs det inte stora störningar mellan dosering och filtrering för att flockarna ska gå sönder. I linje 2 doseras flockningsmedel ca 45 s innan vattnet når trumfiltret. På vägen dit finns inte mindre än sex stycken 90 graders rörkrökar där flockarna kan slås sönder till följd av skjuvkrafter. Dessutom finns det innan trumfiltret en avsmalning där flödesmätning sker. Genom denna avsmalning mångdubblas strömningshastigheten och de skjuvkrafter som verkar på de eventuellt kvarvarande flockarna är stora. Att några flockar skulle hålla för den behandlingen är inte troligt. Vatten som hämtats med bågare inifrån trumfiltret vittnar om att det inte sker någon flockbildning. Låter man däremot bågaren stå ett par minuter så kan en viss flockbildning observeras. Detta är helt i linje med teorin att flockar som bildats med Purfix 120 kan återbildas efter att de har slagits sönder. Uppehållstiden i trumfiltret är troligen för kort för att flockarna ska hinna återbildas. Att reduktionen av SS är lägre vid flockning än utan flockning beror troligtvis även på igensättning av filterduken. Vid kemikaliedosering ökar backspolningsfrekvensen till följd av snabbare igensättning. Detta innebär att det oftare friläggs en ren filteryta. Eftersom en ren filteryta släpper igenom mer SS så blir således SS-reduktionen sämre. Vad gäller fosfatreduktion kan sägas att denna ökar betydligt med tillsats av flockningsmedel, vilket tyder på att små flockar mellan fosfatfosfor och metallsalt bildas och kan avskiljas på filterduken.

Trumfilter processlinje 4

Försök i linje 4 visar att det är fullt möjligt att reducera både SS och fosfatfosfor på trumfilter. Reduceringsgraden är dock inte så hög. Vad detta beror på är samma fenomen som för trumfiltret i linje 2. Det bildas helt enkelt inte några större flockar. En del små flockar kan antas bildas mellan metallsalt och fosfatfosfor eftersom den observerade fosfatreduktionen är större än den partikulärt bundna mängden fosfatfosfor i det undersökta avloppsvattnet. Här är inblandningen av flockningsmedel något bättre än motsvarande inblandning i linje 2. Kemikalierna doseras ca 20 s innan vattnet når trumfiltret och precis efter doseringspunkten finns en rörblandare som ska se till att en ordentlig inblandning sker. Det verkar tyvärr som

om rörblandaren inte har någon större effekt för flockbildningen. Däremot observeras en markant ökning av backspolningsfrekvensen vilket tyder på att bildade mikroflockar täpper till porerna i filterduken. Liksom för trumfiltret i linje 2 kan detta vara en bidragande orsak till den låga SS-avskiljningen. Vissa dagar skiljer sig vattnets sammansättning avsevärt i biopoleringen, vilket kan försvåra utvärderingen. Då biopoleringen tillämpar denitrifikation är SS-halterna mycket högre till följd av ökad biologisk aktivitet. Små granuler av mikroorganismer följer med vattnet in till trumfiltret. Detta kan tänkas försvåra flockningen något, men det är ingenting som undersökts vidare i denna studie.

Filtreringsmotstånd

De bräddningsförsök som genomförts visar inte på att flockning och slamrecirkulering skulle leda till ett ökat filtreringsmotstånd. Teorin att flockbildning skulle leda till att slamkakan blir porösare och således ha ett lägre filtreringsmotstånd håller inte i detta fall eftersom det visat sig att det inte sker någon flockbildning. Att tiden till bräddning inte skiljer sig nämnvärt mellan de olika bräddningsföroren är snarare en följd av att det statiska vattentrycket mot filterduken är så stort i och med den höga driftsnivån vid bräddning. Trycket gör att ett stort flöde kan hållas genom filtret oavsett dosering. Eftersom ingen flockning sker kan filterkakans porositet antas vara den samma för samtliga bräddningsförsök.

Reglering av fällningskemikalier

Regleringen av fosfatfosfor visade sig fungera bra. Det går dock inte att komma i närheten av det uppsatta gränsvärdet på 0,15 mg/l, men som princip verkar det fungera. Detta var något oväntat eftersom förutsättningarna för reglering med återkoppling inte är särskilt goda. Processen är nämligen fem gånger snabbare än mätgivaren för fosfatfosfor. Detta gör att regleringen inte kan göras snabb eftersom hänsyn måste tas till trögheten i mätgivaren. Därför designades en långsam regulator. Att lambdametoden beskriven i avsnitt 4.1.3, inte har används beror på egenskaperna hos mätgivaren. Förvisso tar metoden hänsyn till trögheten i givaren men beroende på när man gör ett stegsvarsexperiment kommer resultaten att bli olika. Givaren mäter olika parametrar (nitrat, ammonium och fosfatfosfor) i cykler om 24 minuter. Om ett stegsvarsexperiment utförs i slutet av mätgivarens cykel då fosfatmätning görs, resulterar det i en kort tidsfördröjning (parameter L i lambdametoden). I det fall stegsvarsexperimentet görs tidigt i mätgivarens cykel kommer det att resultera i en längre tidsfördröjning och således andra värden på regulatorparametrarna. Att undvika översläng har varit svårt vid regleringsförsöket men resultaten bedöms ändå som tillfredsställande. Förhoppningen är att flockningen kan förbättras och då borde fosfatfosfor kunna reduceras ytterligare utan ökad tillsats av kemikalier.

7.3 Slutsatser

Det förefaller inte vara någon idé att använda kemikalier eller slamrecirkulering för att förbättra reduktion av SS i trumfilter för processlinje 2 samt i trumfilter för processlinje 4 utifrån de genomförda försöken i denna studie, åtminstone inte med de rådande driftsbetingelserna. Däremot kan en ökad reduktion av fosfatfosfor erhållas med tillsats av fällningskemikalier. Att reglera halten SS är inte möjligt i nuvarande drift medan reglering av fosfatfosfor verkar vara fullt möjlig. Dock kan inte fosfathalter i närheten av gränsvärdet på 0,15 mg/l erhållas. Förutom en ökad reduktion av fosfatfosfor kan inga andra positiva effekter utläsas av de genomförda experimenten i fullskala. Den ökade backspolningsfrekvensen medför även ökade driftskostnader vilka ska vägas mot eventuella miljömässiga vinster i form av reducerade halter fosfatfosfor. Lovande resultat har dock påvisats vid laboratorieförsök,

där slamtillsats använts som flockförstärkare. Detta återstår att undersöka vidare i fullskala med andra driftsbetingelser än de nuvarande.

7.4 Rekommendationer gällande drift av trumfilter i processlinje 2

I nuvarande drift rekommenderas inte någon tillsats av flockningsmedel eller slamrecirkulering då fullskaleförsök inte visat att detta skulle öka reduktionen av SS. Men om målet är att reducera fosfatfosfor kan kemikalier tillsättas för detta ändamål. Dock pekar resultat i denna studie på att reduktionen av SS i så fall blir lägre.

7.5 Rekommendationer gällande drift av trumfilter i processlinje 4

För trumfilter i linje 4 rekommenderas inte tillsats av kemikalier för bättre SS-reduktion. Detta på grund av de sämre egenskaper som har observerats vid fullskaleförsök, i form av högre igensättningsgrad av filterduken med ökad backspolningsfrekvens som följd. Om en fosfatreduktion är önskvärd får miljömässiga vinster i form av reducerad fosfatfosfor vägas mot ökade driftskostnader och underhåll till följd av kemikaliedosering. Om reduktion av fosfat sker tidigare i processen kan trumfiltret i ett sista poleringssteg reducera kvarvarande fosfatfosfor.

7.6 Förslag till fortsatta studier

För att förbättra flockningen bör det konstrueras flockningstankar där vattnet tillåts ha en uppehållstid på ca två till tre minuter. Dessa bör vara placerade innan respektive trumfilter och kemikaliedoseringen sker lämpligast precis innan en sådan flockningstank. För att flockningen ska ske optimalt bör långsamma omrörare installeras i respektive flockningstank. Detta är något som bör undersökas vidare, för att se hur långt det går att komma i reduktion av SS och fosfatfosfor. Eventuellt kan det, om flockningen blir bättre, återigen vara aktuellt att testa reglering av flockningsmedel för att hålla utgående halt SS kring ett börvärde.

Ett annat förslag är att testa 2 st trumfilter i serie. Dessa bör vara i drift på ett sådant sätt att de inte tillåts att backspola samtidigt. På så sätt kommer avloppsvattnet alltid att passera genom åtminstone en uppbyggd slamkaka i stället för två rena dukar. Teorin om att slamkakan står för den effektivaste delen av filtreringen kan då testas. Eventuellt kan denna teori utvärderas vidare t.ex. genom att två trumfilter i serie som använder slamrecirkulering kan räcka för att reducera SS i högre grad utan tillsats av kemikalier. Eventuellt kan Purfix 120 användas som hjälpkoagulant då denna främst flockar lite större partiklar dvs ej lösta. Syftet blir då i första hand att reducera SS och inte fosfatfosfor.

När den skruv som skall installeras i trumfiltret i processlinje 2 är på plats, kan experiment med avseende på optimering av TS genomföras enligt de förslag som presenteras i avsnitt 4.1.1. Möjligheten att erhålla så hög TS att ingen ytterligare slamförtjockning krävs innan efterföljande slambehandlingsprocess med rötning är också något som bör utvärderas.

För bättre fosfatreduktion bör flerpunktsfällning testas. Detta kan göras t.ex. med förfällning i försedimenteringen alternativt fällning på två trumfilter i serie. Eftersom denna studie visar att åtminstone 30 % fosfatfosfor kan reduceras på trumfilter vid förbehandling av avloppsvatten med tillsats av metallsalt, kan tvåpunktsfällning med trumfilter vara intressant att testa. Att reducera så höga fosfathalter som förekommer i processlinje 4 är mycket svårt med enpunktsfällning. Något linjärt samband mellan tillsats av fällningskemikalie och reducerad fosfatfosfor kan inte förväntas. Sambandet är endast linjärt upp till en viss dosering. För att

komma tillrätta med problemet kan tvåpunktsfällning tillämpas. Låt säga att reduktionen är linjär upp till 90 %, i så fall kan 90 % av fosfor reduceras i ett första steg, t.ex. förfällning. Ytterligare 90 % av kvarvarande fosforhalt kan sedan reduceras (linjärt) vid t.ex. efterfällning. Total reduktion blir i detta fall 99 %, vilket är svårt att uppnå med fällning i endast ett steg.

8 Felkällor

8.1 Laboratorieförsök

Vid laboratorieförsöken är det framförallt mätning av SS som står för den största mätosäkerheten. För flera flocknings- och filtreringsförsök har negativa värden för SS-reduktion erhållits. Även mätning av fosfatfosfor är något osäker, dels på grund av snabbpipetter med ganska stor osäkerhet, dels svårigheter att veta på vilken nivå fosfathalten ligger. Det finns olika kyvetteter vid fosfatmätning för olika fosfatkoncentrationer. Vid vissa analyser har det varit svårt att på förhand veta var koncentrationen kommer att ligga, därför har det uppmätta värdet vid en del analyser varit över mätområdet för den specifika analysen.

8.2 Fullskaleförsök

Det största problem som uppstått vid mätningar under fullskaleförsöken gäller on-line mätning av SS. Det visade sig efter en tid att on-line mätaren är mer färgkänslig än vad tillverkaren angivit. Vissa tider på dygnet skiftar färgen på inkommande avloppsvatten en aning vilket gör att SS-mätaren visar för höga värden. Vid försök under hösten 2004 har de stickprovskontroller som gjorts med avseende på SS visat god överensstämmelse. Men dessa stickprover togs vid tider på dygnet då ingen avvikande färgning av vattnet uppträder. När sedan stickprov vid andra tider i slutet av december gjordes visade det sig att felmarginalen hos SS-mätaren var upp till 50 %. Störst färgning sker vid kl. 10-12 samt kl. 16-19. Antagandet att inkommande SS varierar likartat under vardagsdygn visade sig inte vara korrekt, vilket försvårar resultattolkningen för de försök gjorda utan mätning av inkommande SS. Eftersom de första försöken i processlinje 2 gjordes utan kontrollmätning av SS laborativt, kan inte någon rättvis jämförelse göras mellan dessa försök, då det senare visade sig att SS-mätaren har för stor osäkerhet. I januari gjordes mätningar av SS ut från trumfiltret i linje 2, både laborativt och on-line. Resultatet av denna mätning visar att felet hos on-line givaren varierar på likartat sätt över dygnet. Som mest avviker on-line värdet 35 % från värde uppmätt på lab, se figur 1 i bilaga I.

9 Referenser

9.1 Tryckta

Bache D.H., Zhao Y.Q., (2002). Polymer impact on filter blinding during alum sludge filtration. *Water Research*, Vol. 36, 3691-3698

Bengtsson J., (2003). *Förbehandling av kommunalt avloppsvatten före anaerob behandling*. Examensarbete i ekosystemteknik, Avdelningen för Vattenförsörjnings- och Avloppsteknik, Lunds tekniska högskola

Bergheim A., Cripps S.J., Liltved H., (1998). *A system for the treatment of sludge from land-based fish-farms*. Norwegian Institute for Water Research

Bratby J., (1980). *Coagulation and Flocculation*. Uplands Press, Cryodon, Cambridge

Grén U., Theliander H., (2001). *Kemisk apparatteknik*. Chalmers tekniska högskola, Göteborg

Hesselgren F., (2004). *Anaerob psykrofil behandling av hushållsavloppsvatten i UASB*. Examensarbete i miljö- och vattenteknik, Uppsala universitet, UPDOK W04 016

Holmquist J., (2004). Tummen upp för: Behovsanpassad dosering av fällningskemikalier. *Vattenspegeln*, No 3, Bilaga

Magnusson J., (2003). *Sammansättning på hushållsspillvatten från Hammarby Sjöstad*. Examensarbete i samhällsbyggnadsteknik, Luleå tekniska universitet, 2003:292 CIV

Nyberg U., Larsson Å., (1996). *Introduktion till avloppstekniken*. Kommentus Förlag AB, Stockholm

Olausson M., (1992). *Statistisk försöksplanering Faktor försök*. IVF, Katrineholm

Olsson G., Newell B., (1999). *Wastewater treatment Systems*. IWA Publishing, London

Papavasiliopoulos E.N., Bache D.H., Zhao Y.Q., (1998). Clogging of Filter Medium by Excess Polymer During Alum Sludge Filtration. *Filtration & Separation*, December, 947-950

Petterson F., (2004). *Mikrosilning som förbehandlingsmetod av hushållsavloppsvatten*. Examensarbete i väg- och vattenteknik, Kungliga tekniska högskolan, Institutionen för mark- och vattenteknik

Tchobanoglous G., Burton F.L., Stensel H.D., (2003). *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*. Metcalf & Eddy, Crawfordsville

Åström K.J., Hägglund T., (1994). *PID-Controllers Theory, Design, and Tuning*. Research Triangle Park, North Carolina

9.2 Elektroniska

Hydrotech (2001). Artikel, www.hydrotech.se/news/Sdr%20Vissing%20EN.pdf (2004-09-02)

Hydrotech (2001). Artikel, www.hydrotech.se/news/Carlsberg.pdf (2004-09-02)

Hydrotech (2001). Artikel, www.hydrotech.se/brochures/wwtp.pdf (2004-09-02)

9.3 Personlig kommunikation

Andersson Catharina., Archemi AB, september 2004. e-brev.

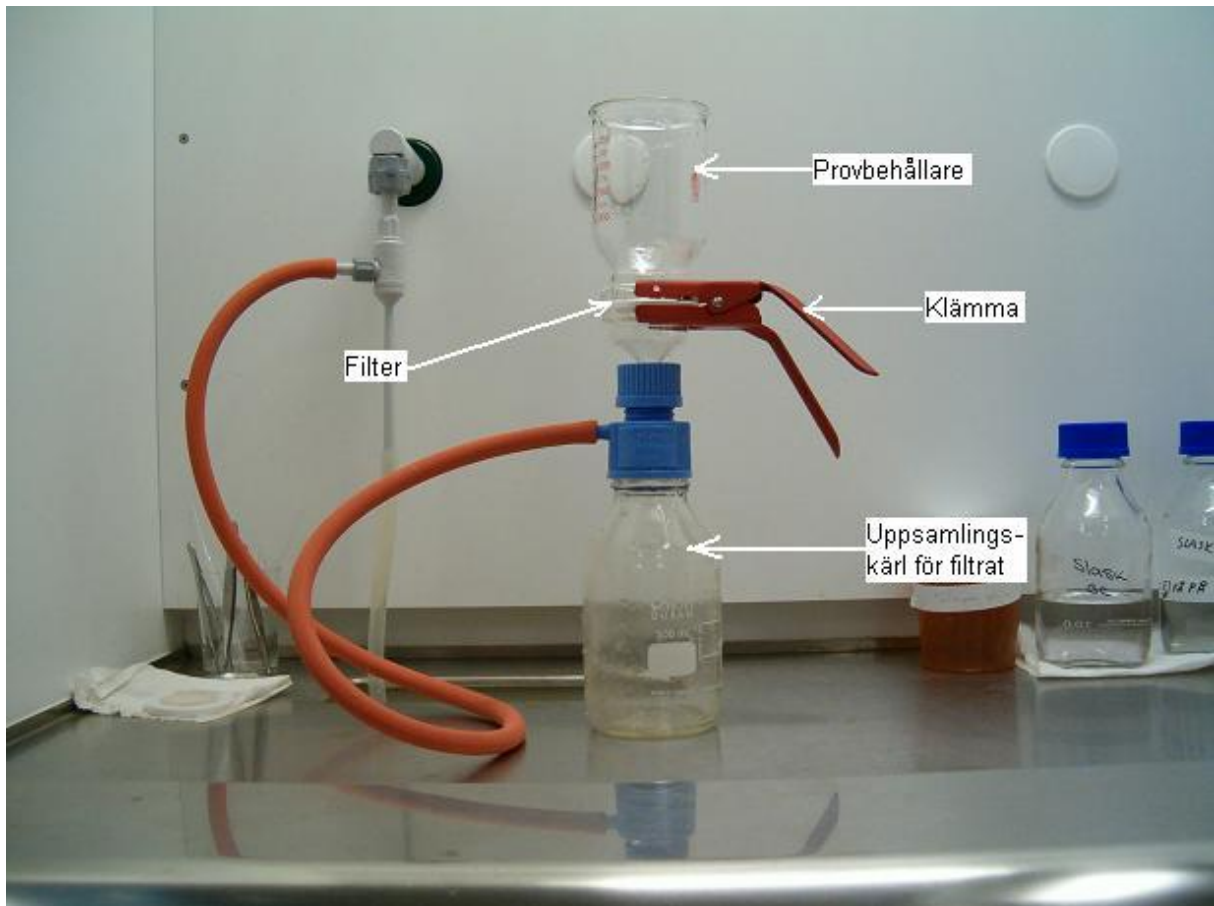
Petterson Fredrik., september 2004. samtal.

Bengtsson Jonas., CDM AB, oktober 2004. demonstration av mätutrustning.

Bilaga A Mätningförfarande

A.1. Mätning av suspenderad substans

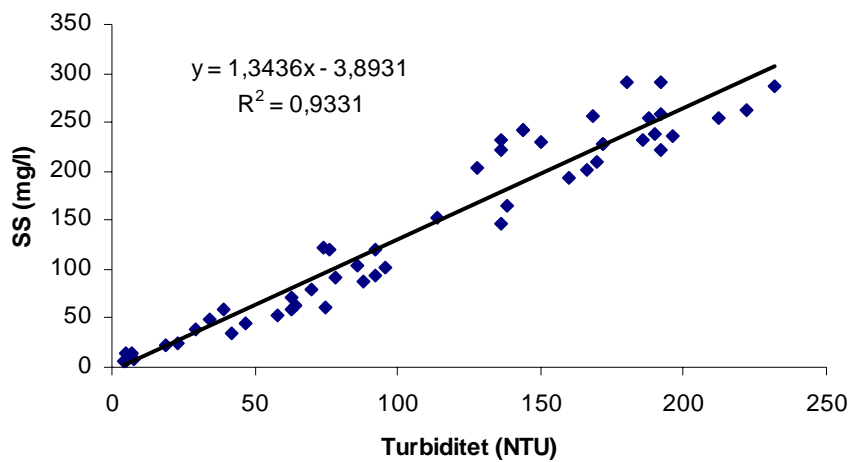
Mängden suspenderad substans mäts vanligen genom sugfiltrering av prov genom 1,6 μm glasfiberfilter (MGA). Mätning går till på följande sätt: ett prov med känd volym filtreras genom ett filterpapper med känd vikt, se fig1. Filterpapper med slamkaka bestående av partiklar större än 1,6 μm torkas sedan i ugn vid en temperatur av 105 °C i minst 3 timmar. Provet med filter vägs efter torkning och avsvälning varefter halten suspenderad substans kan beräknas. Mängden suspenderad substans anges vanligen i enheten mg/l.



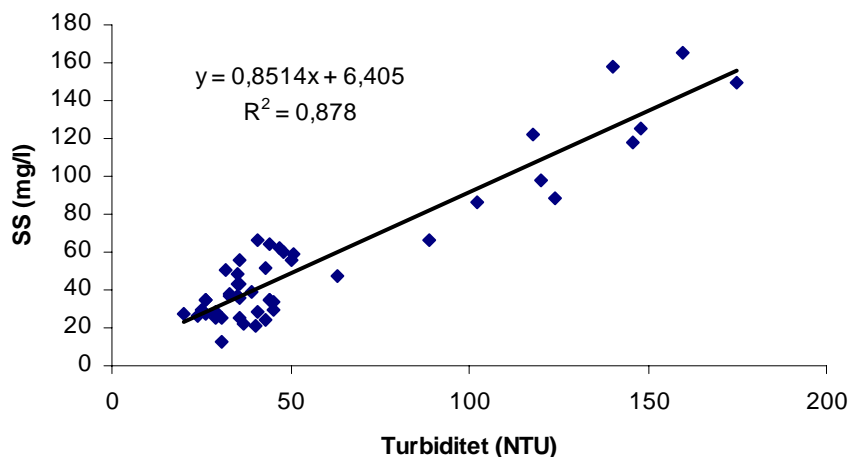
Figur 1. Utrustning för mätning av suspenderad substans.

Ett snabbt och enkelt sätt att mäta SS vore att relatera halten SS till turbiditet. Sådana jämförelser har gjorts (SMHI) och de visar på ett samband mellan turbiditet och halten SS. Nedan visas figurer med regressioner mellan SS och turbiditet utifrån mätdata på avloppsvatten från Hammarby Sjöstad. Källdata till nedanstående regressioner är hämtade från studien, "Förbehandling av kommunalt avloppsvatten före anaerob behandling" (Bengtsson, 2003). Figur 2 visar data från mätningar på obehandlat avloppsvatten samt avloppsvatten med tillsats av fällningskemikalie, dock ej polymer. Figur 3 visar data på avloppsvatten behandlat med polymer. Från figur 2 syns ett tydligt samband mellan turbiditet och SS. I figur 3 finns också ett tydligt samband men lutningskoefficienten skiljer sig markant. Detta verkar tyda på att polymertillsats har större inverkan på turbiditet jämfört med SS vilket kan bero på att polymeren även flockar en del kolloidalt material som ej räknas in i SS men ändå påverkar vattnets turbiditet. Om turbiditetsmätning skall användas för att

bestämma SS bör detta göras med försiktighet eftersom tillsats av olika flockningsmedel kraftigt påverkar sambandet mellan SS och turbiditet.



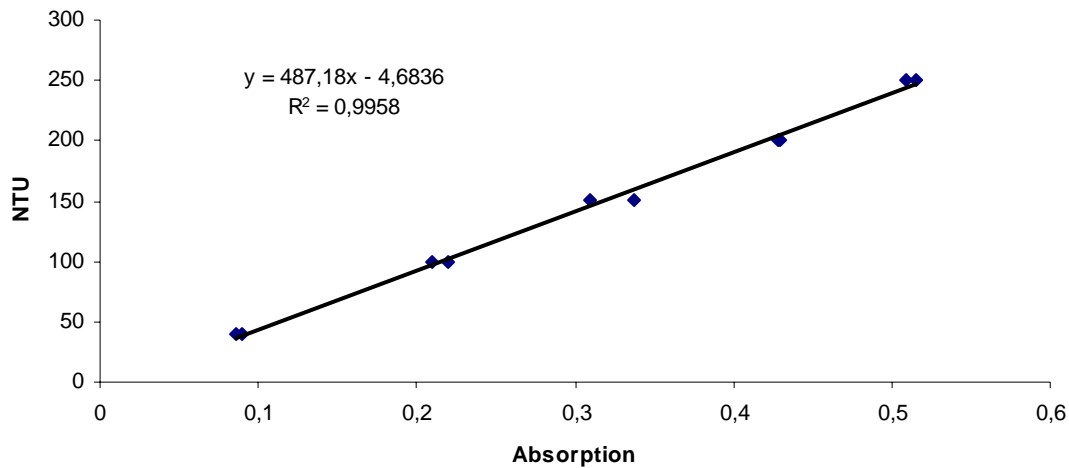
Figur 2. Regression mellan SS och turbiditet utan polymertillsats.



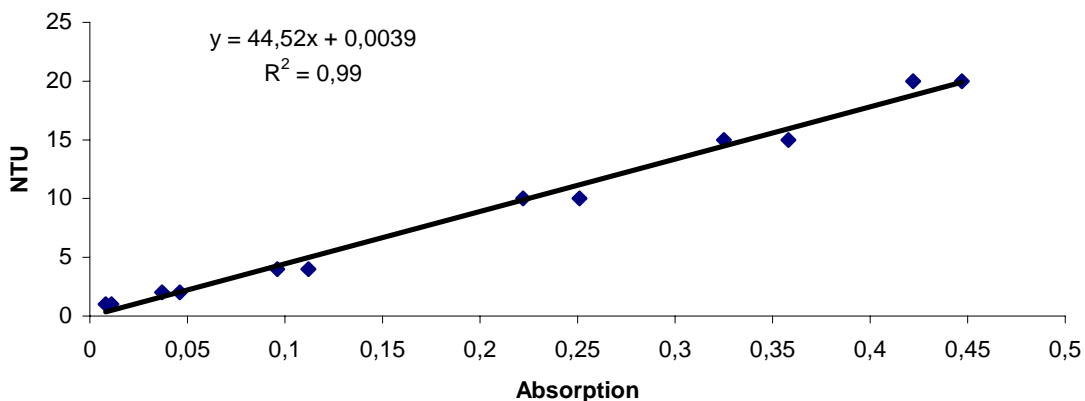
Figur 3. Regression mellan SS och turbiditet med polymertillsats.

A.2. Mätning av turbiditet

Tidigare mätningar på inkommande avloppsvatten till Sjöstadsverket har visat att turbiditeten i medeltal ligger kring 200 NTU. På grund av begränsad tillgång på turbiditetsmätare togs ett samband fram mellan turbiditet (absorptionsmätning) och turbiditet. Linjära regressioner gjordes för två olika mätintervall, 40 - 250 NTU samt 1 - 20 NTU, där absorption mättes för olika standardlösningar (formazin) med känd turbiditet fig 4 och 5. Regressionen visar tydliga samband mellan turbiditet och absorption. De linjära sambanden programmerades sedan på en spektrofotometer. Metoden är inte exakt, då turbiditet inte mäts på samma sätt som absorption, men kan ändå fungera som ett relativt mått vid jämförelse av många olika prov vid t.ex. screeningförsök.



Figur 4. Turbiditet som funktion av absorption, 10 mm kyvett har använts.



Figur 5. Turbiditet som funktion av absorption, 50 mm kyvett har använts.

A.3. Mätning av fosfatfosfor

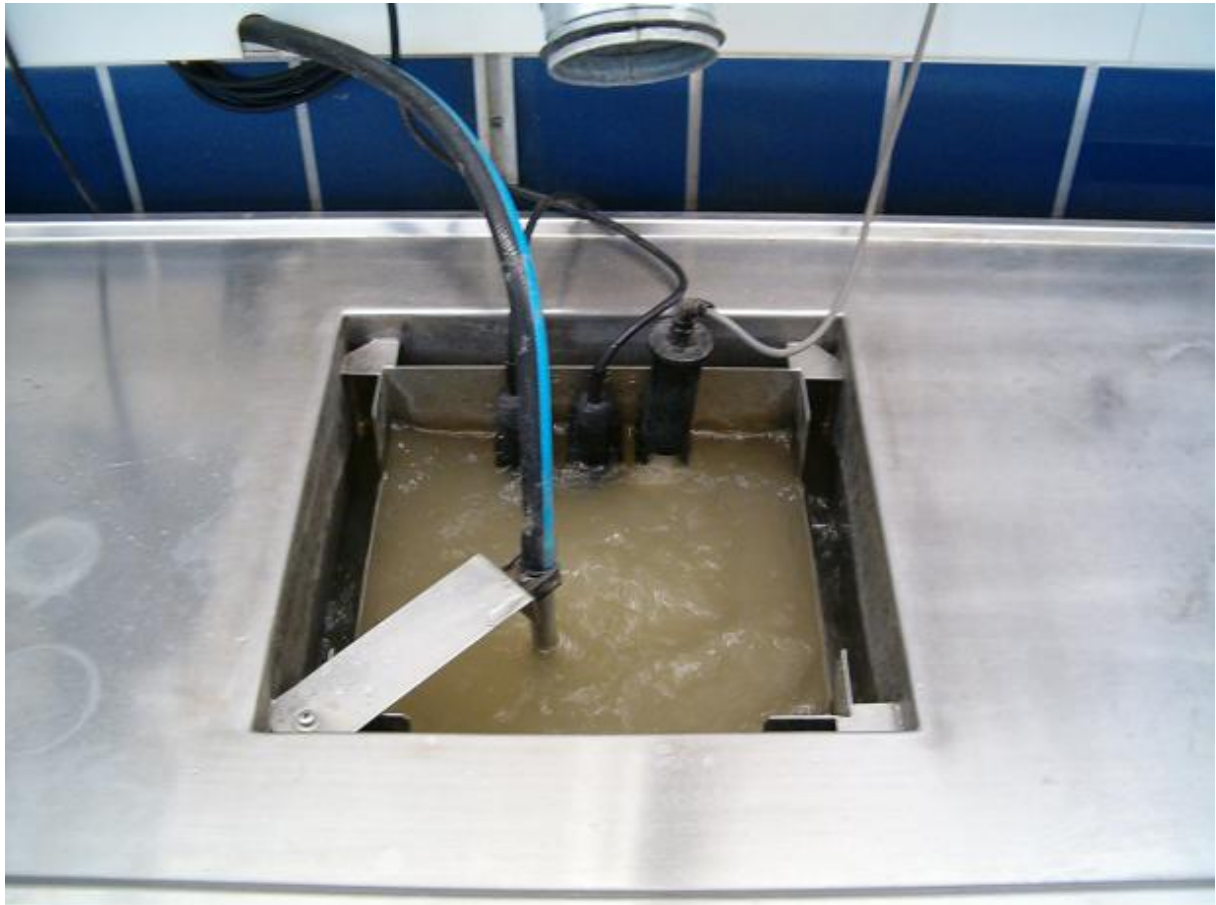
För screening- och optimeringsförsök används kyvett-tester från Lange. Metoden är spektrofotometrisk. Vid mätning av totalfosfatfosfor kokas proverna i en timme för att lösa ut den partikulärt bundna fosfatfosfor.

A.4. Mätning av katjonbehov

Prov som skall analyseras filtreras först genom ett melittafilter innan laddningen hos provet analyseras. 10 ml av filtratet överförs till laddningsmätarens mätkyvett. Sedan doseras en standardlösning bestående av en katjonisk polymer (polydamac). Doseringen pågår tills laddningen är noll. Mängden doserad standardlösning avläses på dosersprutan och denna volym är ett mått på provets katjonbehov. Genom en känd faktor kan mängd fällningskemikalie (ml/m^3 alt g/m^3) som krävs för att neutralisera vattnet beräknas. För högmolekylär polymer (HM) är faktorn 4, för lågmolekylär polymer (LM) är faktorn 40 och för metallsalt 400 relaterat till den standardpolymer som används (Bengtsson, 2004).

Bilaga B Provtagning

Provtagning av inkommande vatten görs från en provtagningsbänk inne på Sjöstadsverket (figur 1). Eftersom avloppsvattnet ändrar sammansättning och koncentration under dygnet tas en stor provvolym ut för varje screening- och optimeringsförsök. Detta för att en rättvis jämförelse skall kunna göras mellan de olika flocknings- och filtreringsförsöken under en screening. Provvolymer, 30 – 50 liter samlas upp i hinkar. Proven förvaras i reningsanläggningen vid en temperatur av 18 grader under maximalt 12 timmar. Detta för att inte biologisk aktivitet, fysikaliska och kemiska mekanismer ska förändra provets sammansättning.



Figur 1. Provtagningsbänk, inkommande vatten, Sjöstadsverket.

Provtagning på inkommande vatten till trumfiltret i linje 4 görs genom att öppna en ventil på inloppsröret till trumfiltret och tappar upp vattnet i hinkar. Även här tas en provvolym 30 – 50 liter ut vid varje provtagningstillfälle.

Bilaga C Ordlista

Förkortningar

TF	trumfilter
L2	processlinje 2
L4	processlinje 4
SS	suspenderad substans [mg/l]
TS	torrsubstanshalt [%]
Turb	turbiditet [NTU]
HM	högmolekylär polymer
LM	Lågmolekylär polymer
M342	Magnafloc 342
Kond	konduktivitet [μ S/cm]
Redox-pot	redoxpotential [mV]
z-pot	z-potential [mV]
PO4-P	fosfatfosfor
Me	metall

Ord

Flockulator	1 l kärl med omrörare som används vid labförsöken.
Biohud	geléartad beläggning av mikroorganismer
Denitrifierare	mikroorganismer som omvandlar nitrat till kvävgas
Filterkaka	bildas när partiklar avsätts på filtermedium
Slamkaka	här: samma som filterkaka
Högmolekylär polymer	polymer med en molekylvikt av ca $20 \cdot 10^6$
Lågmolekylär polymer	polymer med en molekylvikt av ca $5 \cdot 10^6$
Hydrocol S H	slurry med bentonit, tillverkad av CDM
Cedesorb 100	slurry med bentonit, tillverkad av CDM
Rörblandare	statisk mixer med bafflar som ökar turbulensen hos det vatten som passerar och därmed förbättrar omblandningen

Bilaga D Laborieförsök

D.1. Screening

Tabell 1. Resultat från flockningsförsök med inkommande vatten till TF L2 (3 sidor)

Datum	Flockningsmedel 1	Konc.Me [mg/ml]	Volym [ml]	Flockningsmedel 2	Konc. [mg/l]	Volym [ml]	Filterduk
2004-10-12	Ekoflock 91	90,7	0,05				60 um
2004-10-12	ALSextra	52	0,05				60 um
2004-10-12	PAX-XL350	91,7	0,05				60 um
2004-10-12	PAX-XL63	71,7	0,05				60 um
2004-10-12	PAS 418	73,2	0,05				60 um
2004-10-12	PIX-115extra	149,4	0,05				60 um
2004-10-12	Ekoflock 91	90,7	0,09				60 um
2004-10-12	ALSextra	52	0,09				60 um
2004-10-12	PAX-XL350	91,7	0,09				60 um
2004-10-12	PAX-XL63	71,7	0,09				60 um
2004-10-12	PAS 418	73,2	0,09				60 um
2004-10-12	PIX-115extra	149,4	0,09				60 um
2004-10-12	Ekoflock 91	90,7	0,05	Zetag 7125	10	0,4	60 um
2004-10-12	ALSextra	52	0,05	Zetag 7125	10	0,4	60 um
2004-10-12	PAX-XL350	91,7	0,05	Zetag 7125	10	0,4	60 um
2004-10-12	PAX-XL63	71,7	0,05	Zetag 7125	10	0,4	60 um
2004-10-12	PAS 418	73,2	0,05	Zetag 7125	10	0,4	60 um
2004-10-12	PIX-115extra	149,4	0,05	Zetag 7125	10	0,4	60 um
2004-10-12	Ekoflock 91	90,7	0,09	Zetag 7125	10	0,4	60 um
2004-10-12	ALSextra	52	0,09	Zetag 7125	10	0,4	60 um
2004-10-12	PAX-XL350	91,7	0,09	Zetag 7125	10	0,4	60 um
2004-10-12	PAX-XL63	71,7	0,09	Zetag 7125	10	0,4	60 um
2004-10-12	PAS 418	73,2	0,09	Zetag 7125	10	0,4	60 um
2004-10-12	PIX-115extra	149,4	0,09	Zetag 7125	10	0,4	60 um
2004-10-12	Ekoflock 91	90,7	0,05	Purfix 120	10,6	0,4	60 um
2004-10-12	ALSextra	52	0,05	Purfix 120	10,6	0,4	60 um
2004-10-12	PAX-XL350	91,7	0,05	Purfix 120	10,6	0,4	60 um
2004-10-12	PAX-XL63	71,7	0,05	Purfix 120	10,6	0,4	60 um
2004-10-12	PAS 418	73,2	0,05	Purfix 120	10,6	0,4	60 um
2004-10-12	PIX-115extra	149,4	0,05	Purfix 120	10,6	0,4	60 um
2004-10-12	Ekoflock 91	90,7	0,09	Purfix 120	10,6	0,4	60 um
2004-10-12	ALSextra	52	0,09	Purfix 120	10,6	0,4	60 um
2004-10-12	PAX-XL350	91,7	0,09	Purfix 120	10,6	0,4	60 um
2004-10-12	PAX-XL63	71,7	0,09	Purfix 120	10,6	0,4	60 um
2004-10-12	PAS 418	73,2	0,09	Purfix 120	10,6	0,4	60 um
2004-10-12	PIX-115extra	149,4	0,09	Purfix 120	10,6	0,4	60 um

Datum	Turb. inkommande [NTU]	Turb. filtrat [NTU]	Reduktion av turb. [%]	Filtratvolym [ml]	Tid till igensättning [s]
2004-10-12	164	118	28,0	850	140
2004-10-12	164	118	28,0	1000	190
2004-10-12	164	120	26,8	850	110
2004-10-12	164	109	33,5	650	120
2004-10-12	164	116	29,3	800	180
2004-10-12	164	141	14,0	900	140
2004-10-12	164	118	28,0	550	100
2004-10-12	164	99	39,6	800	170
2004-10-12	164	112	31,7	800	140
2004-10-12	164	110	32,9	800	100
2004-10-12	164	121	26,2	950	140
2004-10-12	164	158	3,7	900	100
2004-10-12	164	106	35,4	700	100
2004-10-12	164	94	42,7	700	120
2004-10-12	164	97,5	40,5	800	120
2004-10-12	164	94,8	42,2	650	120
2004-10-12	164	89,4	45,5	700	100
2004-10-12	164	134	18,3	850	90
2004-10-12	164	89,4	45,5	600	100
2004-10-12	164	77,3	52,9	750	100
2004-10-12	164	77,3	52,9	700	80
2004-10-12	164	81,6	50,2	600	100
2004-10-12	164	94,1	42,6	750	90
2004-10-12	164	113	31,1	850	100
2004-10-12	164	89,1	45,7	600	90
2004-10-12	164	72,9	55,5	800	130
2004-10-12	164	72,1	56,0	750	110
2004-10-12	164	60,3	63,2	700	70
2004-10-12	164	87,9	46,4	700	100
2004-10-12	164	112	31,7	850	110
2004-10-12	164	55	66,5	750	80
2004-10-12	164	45,3	72,4	800	70
2004-10-12	164	72,6	55,7	750	90
2004-10-12	164	60,9	62,9	650	110
2004-10-12	164	91	44,5	800	90
2004-10-12	164	125	23,8	900	80

Datum	medelflöde [m3/h]	teoretisk backspolningsfrekvens [ggr/h]
2004-10-12	1,8	23
2004-10-12	1,6	19
2004-10-12	2,3	23
2004-10-12	1,6	30
2004-10-12	1,3	24
2004-10-12	1,9	21
2004-10-12	1,7	35
2004-10-12	1,4	24
2004-10-12	1,7	24
2004-10-12	2,4	24
2004-10-12	2,0	20
2004-10-12	2,7	21
2004-10-12	2,1	28
2004-10-12	1,8	28
2004-10-12	2,0	24
2004-10-12	1,6	30
2004-10-12	2,1	28
2004-10-12	2,8	23
2004-10-12	1,8	32
2004-10-12	2,3	26
2004-10-12	2,6	28
2004-10-12	1,8	32
2004-10-12	2,5	26
2004-10-12	2,6	23
2004-10-12	2,0	32
2004-10-12	1,8	24
2004-10-12	2,0	26
2004-10-12	3,0	28
2004-10-12	2,1	28
2004-10-12	2,3	23
2004-10-12	2,8	26
2004-10-12	3,4	24
2004-10-12	2,5	26
2004-10-12	1,8	30
2004-10-12	2,7	24
2004-10-12	3,4	21

Sida 3 av 3

Tabell 2. Resultat från flockningsförsök med inkommande vatten till TF L4 (2 sidor)

Datum	Flockningsmedel 1	Konc. Me [mg/ml]	Volym [ml]	Flockningsmedel 2	Volym [ml]	Filterduk [filteröppning]	Turb. inkommande [NTU]	Turb. filtrat [NTU]	Reduktion av turb. [%]
2004-10-15						30 um	101	32,5	68
2004-10-15	PAX-XL60	96,4	0,04			30 um	101	31,65	69
2004-10-15	ALS	57,2	0,04			30 um	101	35	65
2004-10-15	Ekoflock 71	127,9	0,04			30 um	101	35,6	65
2004-10-15	PurFal 362	109,6	0,04			30 um	101	38,15	62
2004-10-15	PIX111	189	0,04			30 um	101	41,45	59
2004-10-15	PAX-XL60	96,4	0,025	Magnafloc 342	1,5	30 um	101	17,25	83
2004-10-15	ALS	57,2	0,025	Magnafloc 342	1,5	30 um	101	19,45	81
2004-10-15	Ekoflock 71	127,9	0,025	Magnafloc 342	1,5	30 um	101	19,1	81
2004-10-15	PurFal 362	109,6	0,025	Magnafloc 342	1,5	30 um	101	20,8	79
2004-10-15	PIX111	189	0,025	Magnafloc 342	1,5	30 um	101	20,8	79
2004-10-18						30 um	76,6	45,05	41
2004-10-18	PAX-XL60	96,4	0,04	Magnafloc 342	1,5	30 um	76,6	20,2	74
2004-10-18	ALS	57,2	0,04	Magnafloc 342	1,5	30 um	76,6	27,95	64
2004-10-18	Ekoflock 71	127,9	0,04	Magnafloc 342	1,5	30 um	76,6	22,75	70
2004-10-18	PurFal 362	109,6	0,04	Magnafloc 342	1,5	30 um	76,6	24,95	67
2004-10-18	PIX111	189	0,04	Magnafloc 342	1,5	30 um	76,6	25,55	67
2004-10-18	PAX-XL60	96,4	0,025	Magnafloc 919	1,5	30 um	76,6	29,3	62
2004-10-18	ALS	57,2	0,025	Magnafloc 919	1,5	30 um	76,6	28,65	63
2004-10-18	Ekoflock 71	127,9	0,025	Magnafloc 919	1,5	30 um	76,6	27,95	64
2004-10-18	PurFal 362	109,6	0,025	Magnafloc 919	1,5	30 um	76,6	30,65	60
2004-10-18	PIX111	189	0,025	Magnafloc 919	1,5	30 um	76,6	33,3	57
2004-10-18	PAX-XL60	96,4	0,04	Magnafloc 919	1,5	30 um	76,6	29,2	62
2004-10-18	ALS	57,2	0,04	Magnafloc 919	1,5	30 um	76,6	29,05	62
2004-10-18	Ekoflock 71	127,9	0,04	Magnafloc 919	1,5	30 um	76,6	30,15	61
2004-10-18	PurFal 362	109,6	0,04	Magnafloc 919	1,5	30 um	76,6	29,6	61
2004-10-18	PIX111	189	0,04	Magnafloc 919	1,5	30 um	76,6	33,5	56

Datum	PO4-P inkommande [mg/l]	PO4-P i filtrat [mg/l]	Filtratvolym [ml]	Tid till igensättning [s]	Medelflöde [m3/h]	Teoretisk backspolningsfrekvens [ggr/h]	PO4-P-reduktion [%]	Molförhållande [mol Me/mol P]
2004-10-15	8,31	7,79	300	80	1,1	48	6	0
2004-10-15	8,31	2,85	200	80	0,8	72	66	0,81
2004-10-15	8,31	3,11	200	60	1,0	72	63	0,51
2004-10-15	8,31	2,88	200	50	1,2	72	65	1,08
2004-10-15	8,31	2,73	250	60	1,3	58	67	0,56
2004-10-15	8,31	2,71	200	50	1,2	72	67	0,75
2004-10-15	8,31	2,96	150	50	0,9	96	64	0,52
2004-10-15	8,31	2,97	100	40	0,8	144	64	0,31
2004-10-15	8,31	3,08	200	50	1,2	72	63	0,70
2004-10-15	8,31	2,67	300	80	1,1	48	68	0,35
2004-10-15	8,31	2,98	200	50	1,2	72	64	0,49
2004-10-18	10,82	10,1	250	50	1,5	58	7	0
2004-10-18	10,82	7,21	200	40	1,5	72	33	1,23
2004-10-18	10,82	7,65	200	40	1,5	72	29	0,83
2004-10-18	10,82	7,47	280	40	2,1	52	31	1,75
2004-10-18	10,82	7,61	330	45	2,2	44	30	0,97
2004-10-18	10,82	7,25	220	40	1,7	66	33	1,17
2004-10-18	10,82	7,7	220	40	1,7	66	29	0,89
2004-10-18	10,82	7,63	330	50	2,0	44	29	0,51
2004-10-18	10,82	7,64	300	50	1,8	48	29	1,15
2004-10-18	10,82	7,81	340	50	2,0	42	28	0,65
2004-10-18	10,82	7,49	280	40	2,1	52	31	0,79
2004-10-18	10,82	7,45	160	40	1,2	90	31	1,31
2004-10-18	10,82	7,75	300	60	1,5	48	28	0,86
2004-10-18	10,82	7,59	260	50	1,6	56	30	1,82
2004-10-18	10,82	7,68	330	50	2,0	44	29	0,99
2004-10-18	10,82	7,52	220	50	1,3	66	30	1,27

D.2. Optimering

Tabell 3. Resultat från flockningsförsök med inkommande vatten till TF L2 (2 sidor)

Datum	Flockningsmedel 1	Volym [ml]	Flockningsmedel 2	Volym [ml]	Filterduk	SS inkommande [mg/l]	SS i filtrat [mg/l]	Filtratvolym [ml]	Tid till igensättning [s]
2004-10-14					60 um	191,1	108,1	950	110
2004-10-14					30 um	191,1	98,4	850	140
2004-10-14	ALSextra	0,04	Purfix 120	0,3	60 um	191,1	130,6	950	120
2004-10-14	PAX-XL63	0,04	Purfix 120	0,3	60 um	191,1	118,0	800	90
2004-10-14	PIX-115extra	0,04	Purfix 120	0,3	60 um	191,1	139,0	900	110
2004-10-14	ALSextra	0,06	Purfix 120	0,3	60 um	191,1	122,0	850	90
2004-10-14	PAX-XL63	0,06	Purfix 120	0,3	60 um	191,1	103,9	850	110
2004-10-14	PIX-115extra	0,06	Purfix 120	0,3	60 um	191,1	145,1	950	90
2004-10-14	ALSextra	0,04	Purfix 120	0,3	30 um	191,1	112,2	650	100
2004-10-14	PAX-XL63	0,04	Purfix 120	0,3	30 um	191,1	100,0	600	100
2004-10-14	PIX-115extra	0,04	Purfix 120	0,3	30 um	191,1	132,7	700	100
2004-10-14	ALSextra	0,06	Purfix 120	0,3	30 um	191,1	101,9	500	90
2004-10-14	PAX-XL63	0,06	Purfix 120	0,3	30 um	191,1	105,0	500	80
2004-10-14	PIX-115extra	0,06	Purfix 120	0,3	30 um	191,1	135,4	600	90
2004-10-21					30 um	161,5	89,7	900	70
2004-10-21	ALSextra	0,06	Purfix 120 + 10 ml slam	0,3	60 um	161,5	142,9	500	100
2004-10-21	ALSextra	0,06	Purfix 120 + 20 ml slam	0,5	60 um	161,5	63,6	600	140
2004-10-21	ALSextra	0,06	Purfix 120	0,5	60 um	161,5	163,9	900	50
2004-10-21	ALSextra	0,06	Purfix 120 + 10 ml slam	0,5	30 um	161,5	55,9	260	120
2004-10-21	ALSextra	0,06	Purfix 120 + 20 ml slam	0,5	30 um	161,5	29,0	420	190
2004-10-21	ALSextra	0,06	Purfix 120	0,5	30 um	161,5	134,0	700	50

Datum	medelflöde [m3/h]	teoretisk backspolningsfrekvens [ggr/h]	SS-reduktion [%]
2004-10-14	2,6	20	43
2004-10-14	1,8	23	49
2004-10-14	2,4	20	32
2004-10-14	2,7	24	38
2004-10-14	2,5	21	27
2004-10-14	2,8	23	36
2004-10-14	2,3	23	46
2004-10-14	3,2	20	24
2004-10-14	2,0	30	41
2004-10-14	1,8	32	48
2004-10-14	2,1	28	31
2004-10-14	1,7	39	47
2004-10-14	1,9	39	45
2004-10-14	2,0	32	29
2004-10-21	3,9	21	44
2004-10-21	1,5	39	12
2004-10-21	1,3	32	61
2004-10-21	5,4	21	-1
2004-10-21	0,7	74	65
2004-10-21	0,7	46	82
2004-10-21	4,2	28	17

Sida 2 av 2

Tabell 4. Resultat från flockningsförsök med inkommande vatten till TF L4 (3 sidor)

Datum	Flockningsmedel 1	Volym [ml]	Flockningsmedel 2	Volym [ml]	Filterduk	SS inkommande [mg/l]
2004-10-20						43,5
2004-10-20	PurFal 362	0,05	Magnafloc 342	0,5	30 um	43,5
2004-10-20	PurFal 362	0,075	Magnafloc 342	0,5	30 um	43,5
2004-10-20	PurFal 362	0,1	Magnafloc 342	0,5	30 um	43,5
2004-10-20	PurFal 362	0,125	Magnafloc 342	0,5	30 um	43,5
2004-10-20	PurFal 362	0,15	Magnafloc 342	0,5	30 um	43,5
2004-10-20	PurFal 362	0,05	Magnafloc 342	1	30 um	43,5
2004-10-20	PurFal 362	0,075	Magnafloc 342	1	30 um	43,5
2004-10-20	PurFal 362	0,1	Magnafloc 342	1	30 um	43,5
2004-10-20	PurFal 362	0,125	Magnafloc 342	1	30 um	43,5
2004-10-20	PurFal 362	0,15	Magnafloc 342	1	30 um	43,5
2004-10-20	PurFal 362	0,05	Magnafloc 342	1,5	30 um	43,5
2004-10-20	PurFal 362	0,075	Magnafloc 342	1,5	30 um	43,5
2004-10-20	PurFal 362	0,1	Magnafloc 342	1,5	30 um	43,5
2004-10-20	PurFal 362	0,125	Magnafloc 342	1,5	30 um	43,5
2004-10-20	PurFal 362	0,15	Magnafloc 342	1,5	30 um	43,5
2004-10-22					30 um	64,2
2004-10-22	PurFal 362	0,05	Magnafloc 342	0,5	30 um	64,2
2004-10-22	PurFal 362	0,075	Magnafloc 342	0,5	30 um	64,2
2004-10-22	PurFal 362	0,05	Magnafloc 342	1,5	30 um	64,2
2004-10-22	PurFal 362	0,075	Magnafloc 342	1,5	30 um	64,2

Datum	Flockningsmedel 1	Volym [ml]	Flockningsmedel 2	Volym [ml]	Filterduk	Turb. inkommande [NTU]
2004-12-17						65,1
2004-12-17					30 um	65,1
2004-12-17	PurFal 362	0,075	M 342	0,4	30 um	65,1
2004-12-17	PurFal 362	0,075	M 342 + Hydrocol SH	0,4 + 0,2	30 um	65,1
2004-12-17	PurFal 362	0,075	M 342 + Hydrocol SH	1 + 1	30 um	65,1
2004-12-17	PurFal 362	0,075	M 342 + Cedesorb100	0,4 + 0,2	30 um	65,1
2004-12-17	PurFal 362	0,075	M 342 + Cedesorb100	1 + 1	30 um	65,1
2004-12-17	PurFal 362	0,075	M 342 + slam	0,4 + 20	30 um	65,1
2004-12-17	PurFal 362	0,075	M 342 + slam	1 + 40	30 um	65,1
2004-12-17	PurFal 362	0,075	M 342 + slam	1 + 80	30 um	65,1

Datum	SS filtrat [mg/l]	PO4-P inkommande [mg/l]	PO4-P i filtrat [mg/l]	Filtratvolym [ml]	Tid till igensättning [s]
2004-10-20	30,8	8,8	8,68	600	90
2004-10-20	38,1	8,8	8,72	500	90
2004-10-20	41,5	8,8	7,76	360	70
2004-10-20	48,4	8,8	7,58	370	80
2004-10-20	44,8	8,8	5,76	230	60
2004-10-20	37,9	8,8	5,02	130	50
2004-10-20	8,3	8,8	8,5	440	70
2004-10-20	36,8	8,8	7,92	320	70
	För liten				
2004-10-20	volym	8,8	7,28	30	40
2004-10-20	33,3	8,8	6,06	230	50
	För liten				
2004-10-20	volym	8,8	3,82	40	40
2004-10-20	16,4	8,8	8,36	370	70
2004-10-20	33,0	8,8	8,08	200	70
2004-10-20	53,8	8,8	7,62	100	50
	För liten				
2004-10-20	volym	8,8	4,78	40	40
	För liten				
2004-10-20	volym	8,8	3,62	30	40
2004-10-22	29,1	10,36	9,26	640	110
2004-10-22	37,4	10,36	8,78	440	70
2004-10-22	45,8	10,36	8,06	340	80
2004-10-22	28,4	10,36	8,8	390	70
2004-10-22	38,3	10,36	8,02	250	40

Datum	Turb. filtrat [NTU]	PO4-P i inkommande [mg/l]	PO4-P i filtrat [mg/l]	Filtratvolym [ml]	Tid till igensättning [s]
2004-12-17		7,56	ej uppmätt		
2004-12-17	33	7,56	ej uppmätt	200	60
2004-12-17	23,9	7,56	6,28	50	20
2004-12-17	32,5	7,56	ej uppmätt	50	20
2004-12-17	19,3	7,56	4,46	30	10
2004-12-17	21,4	7,56	ej uppmätt	50	20
2004-12-17	13,2	7,56	3,7	30	10
2004-12-17	24,6	7,56	ej uppmätt	100	30
2004-12-17	17,3	7,56	5,38	200	60
2004-12-17	14,5	7,56	4,32	180	50

Sida 2 av 3

Datum	Medelflöde [m ³ /h]	Teoretisk backspolningsfrekvens [ggr/h]	Förhållande [mol Me/mol P]	PO4-P-reduktion [%]	SS-reduktion [%]
2004-10-20	2,0	24	0,00	1	29
2004-10-20	1,7	29	48,80	1	12
2004-10-20	1,5	40	5,63	12	4,5
2004-10-20	1,4	39	6,40	14	
2004-10-20	1,2	63	3,21	35	
2004-10-20	0,8	111	3,10	43	13
2004-10-20	1,9	33	13,01	3	81
2004-10-20	1,4	45	6,65	10	15
2004-10-20	0,2	481	5,14	17	
2004-10-20	1,4	63	3,56	31	23
2004-10-20	0,3	361	2,35	57	
2004-10-20	1,6	39	8,87	5	62
2004-10-20	0,9	72	8,13	8	24
2004-10-20	0,6	144	6,62	13	
2004-10-20	0,3	361	2,43	46	
2004-10-20	0,2	481	2,26	59	
2004-10-22	1,7	23	0,00	11	55
2004-10-22	1,9	33	2,47	15	42
2004-10-22	1,3	42	2,55	22	29
2004-10-22	1,7	37	2,50	15	56
2004-10-22	1,9	58	2,50	23	40

Datum	Medelflöde [m ³ /h]	Teoretisk backspolningsfrekvens [ggr/h]	Förhållande [mol Me/mol P]	PO4-P-reduktion [%]	Turb. reduktion [%]
2004-12-17					
2004-12-17	1	72			49
2004-12-17	0,75	289	4,57	17	63
2004-12-17	0,75	289			50
2004-12-17	0,9	481	1,89	41	70
2004-12-17	0,75	289			67
2004-12-17	0,9	481	1,52	51	80
2004-12-17	1	144			62
2004-12-17	1	72	2,69	29	73
2004-12-17	1,08	80	1,81	43	78

Sida 3 av 3

Bilaga E Resultat från katjonbehovsmätning

E.1. Vatten från biopolering, linje 4

Tabell 1. Resultat från katjonbehovsmätning samt övriga uppmätta faktorer under dygnsprovtagning 2004-12-21

Tid	z-pot [-mV]	Katjonbehov [ml]	pH	Redox-pot [-mV]	PO4-P [mg/l]	Konduktivitet [uS/cm]	Turbiditet [NTU]	SS [mg/l]
8	161	1,12	8,75	195	7,66	499	104	109
10	157	0,9	8,58	181	7,65	517	104	95
12	141	0,91	8,6	177	7,86	509	103	93
14	129	0,94	8,56	167	7,61	517	117	104
16	150	0,79	8,52	167	8,78	512	114	109
18	153	0,77	8,23	162	7,87	509	117	112
20	145	0,89	8,27	175	7,79	507	121	117
22	148	0,9	8,25	167	7,69	489	117	111
24	149	0,82	8,3	167	7,82	491	119	108
2	141	0,89	8,35	162	7,53	493	112	104
4	143	0,91	8,4	162	8,06	486	120	108
6	146	0,94	8,57	160	7,77	484	116	114

Meddelande "rengör kyvett" vid spektrofotometrisk analys

E.2. Inkommande vatten, linje 2

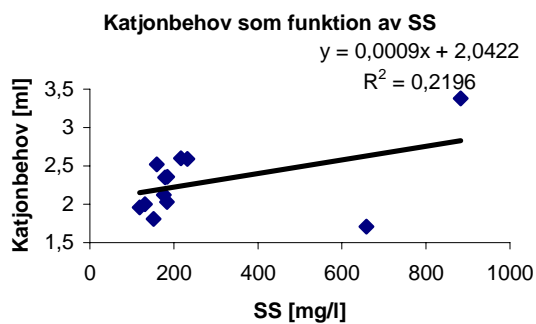
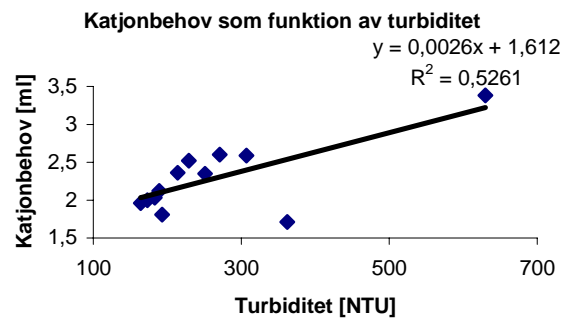
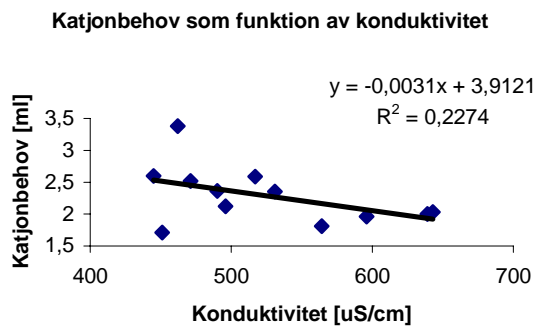
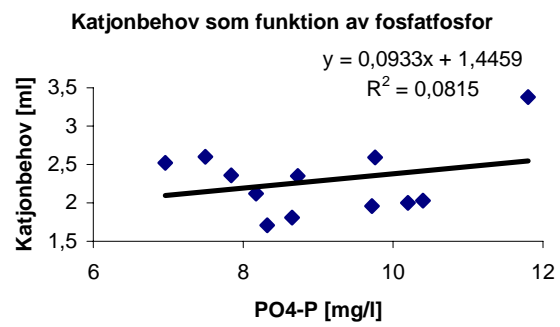
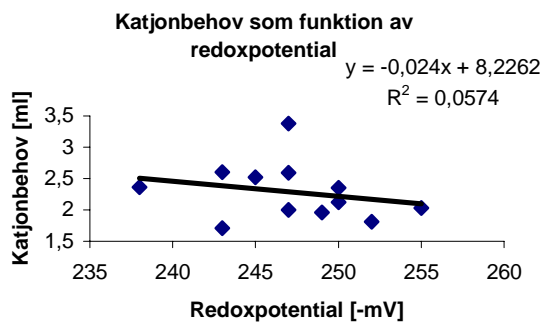
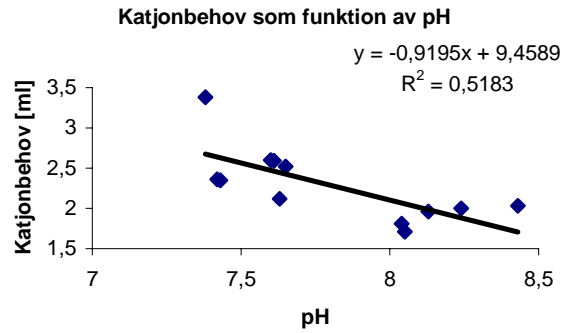
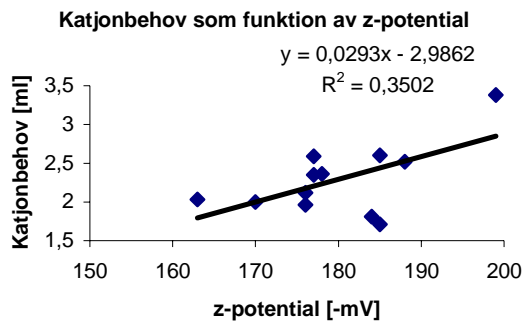
Tabell 2. Resultat från katjonbehovsmätning samt övriga uppmätta faktorer under dygnsprovtagning 2004-12-21

Tid	z-pot [-mV]	Katjonbehov [ml]	pH	Redox-pot [-mV]	PO4-P [mg/l]	Konduktivitet [uS/cm]	Turbiditet [NTU]	SS [mg/l]
8	185	1,71	8,05	243	8,32	451	362	658
10	199	3,38	7,38	247	11,8	462	630	882
12	185	2,6	7,6	243	7,50	445	271	217
14	188	2,52	7,65	245	6,96	471	229	159
16	177	2,59	7,61	247	9,76	517	307	232
18	177	2,35	7,43	250	8,73	531	251	179
20	178	2,36	7,42	238	7,84	490	214	184
22	176	2,12	7,63	250	8,17	496	189	176
24	184	1,81	8,04	252	8,65	564	193	152
2	176	1,96	8,13	249	9,72	596	164	118
4	170	2	8,24	247	10,2	639	173	131
6	163	2,03	8,43	255	10,4	643	183	183

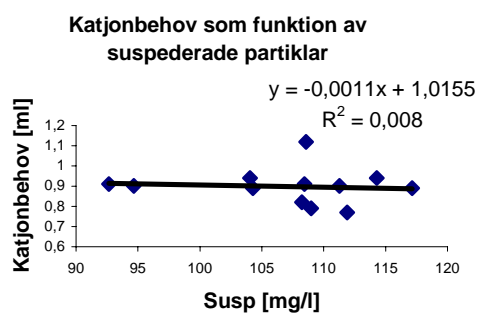
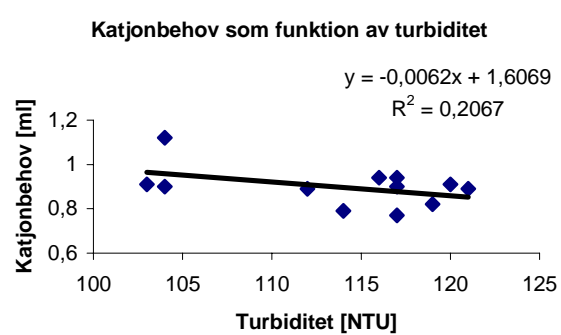
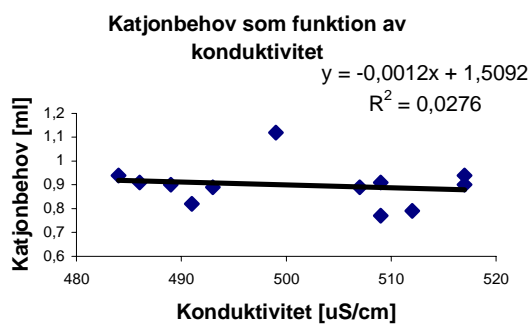
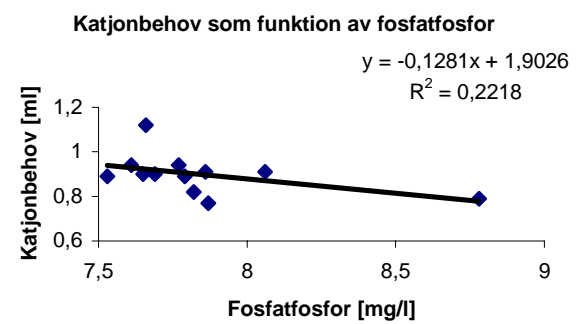
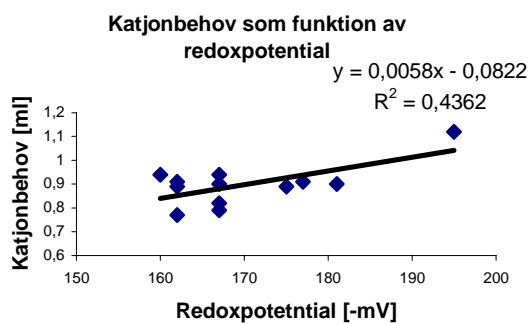
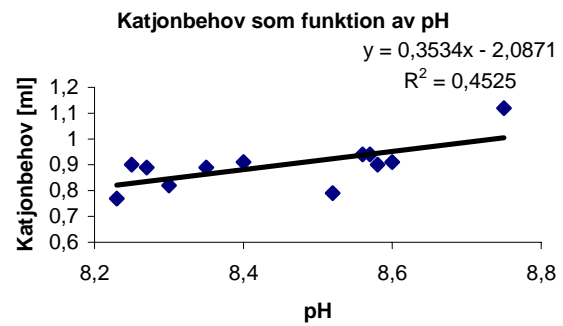
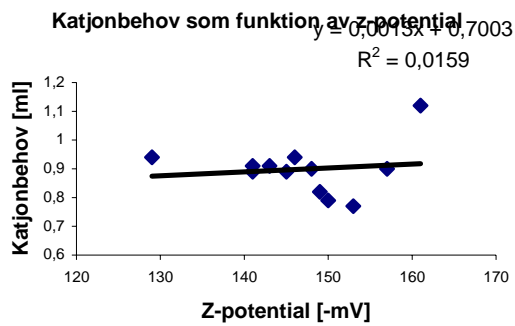
Meddelande "rengör kyvett" vid spektrofotometrisk analys

Meddelande "över mätområde" vid spektrofotometrisk analys

E.3 Linjär regression, katjonbehov inkommande vatten L2



E.4 Linjär regression, katjonbehov biopoleringen L4



Bilaga F Resultat från fullskaleförsök

F.1. Resultat från fullskaleförsök, TF L2

Tabell 1. Resultat från dygnsprovtagning utan tillsats av slam eller flockningsmedel 2004-12-29

Klockslag	SS in [mg/l]	SS ut från TF [mg/l]	SS-reduktion [%]	SS-reduktion [mg/l]	SS in / SS ut	Backspolning [ggr/6min]
9	204,8	75,7	63,0	129,1	2,71	1,37
10	207,2	104,0	49,8	103,3	1,99	1,13
11	281,8	118,0	58,1	163,8	2,39	1,60
12	229,4	124,3	45,8	105,1	1,85	1,57
13	187,1	134,2	28,3	52,9	1,39	1,50
14	197,0	134,8	31,6	62,2	1,46	1,10
15	161,8	158,9	1,8	2,9	1,02	1,20
16	167,1	147,7	11,6	19,4	1,13	1,50
17	191,6	151,8	20,8	39,8	1,26	1,22
18	205,9	173,9	15,5	32,0	1,18	1,68
19	217,9	186,0	14,6	31,9	1,17	1,50
20	182,5	174,5	4,4	8,0	1,05	1,20
21	176,1	169,0	4,0	7,1	1,04	1,40
22	182,2	186,8		-4,6	0,98	1,12
23	165,8	222,5		-56,7	0,74	1,18
24	181,1	136,8	24,5	44,3	1,32	1,30
1	140,7	107,6	23,5	33,1	1,31	1,00
2	97,5	91,4	6,2	6,1	1,07	1,10
3	132,5	94,3	28,9	38,3	1,41	1,42
4	177,8	75,8	57,4	102,0	2,34	0,67
5	156,4	81,8	47,7	74,7	1,91	0,70
6	137,0	86,1	37,2	50,9	1,59	0,42
7	93,4	89,3	4,4	4,1	1,05	1,22
8	164,3	81,8	50,2	82,6	2,01	1,38

Tabell 2. Resultat från dygnsprovtagning med tillsats av slam och flockningsmedel 2004-12-30

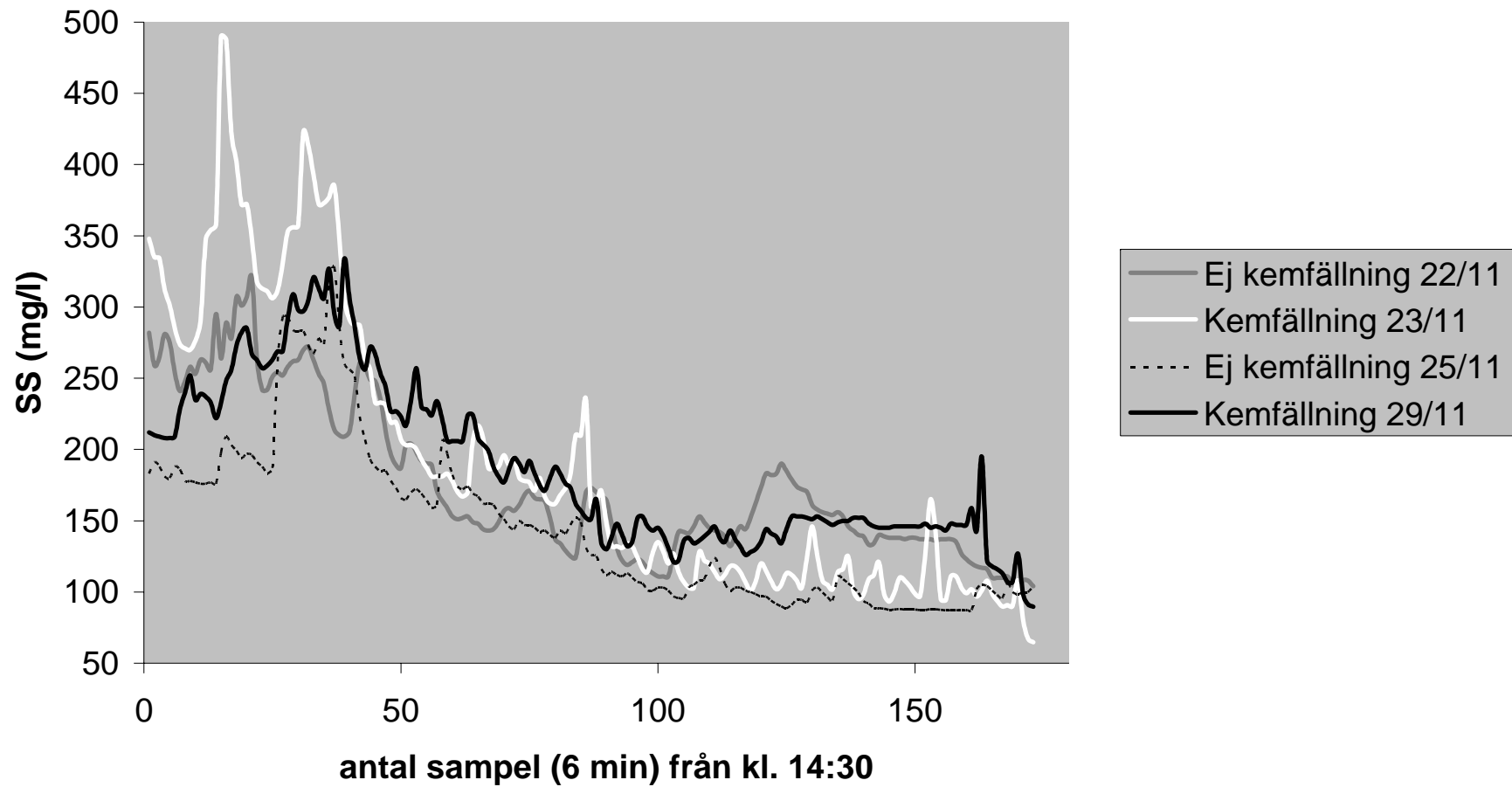
Klockslag	SS in [mg/l]	SS ut från TF [mg/l]	SS-reduktion [%]	SS-reduktion [mg/l]	SS in / SS ut	Backspolning [ggr/6min]
9	198,4	76,8	61,3	121,6	2,58	1,20
10	184,6	75,9	58,9	108,7	2,43	1,32
11	245,6	102,7	58,2	142,9	2,39	1,48
12	302,0	167,4	44,6	134,6	1,80	1,52
13	193,9	112,6	41,9	81,3	1,72	1,60
14	184,7	113,2	38,7	71,5	1,63	1,30
15	182,6	144,2	21,0	38,4	1,27	1,30
16	169,0	135,7	19,7	33,3	1,25	1,30
17	195,1	184,4	5,5	10,7	1,06	1,60
18	210,5	185,3	12,0	25,2	1,14	1,30
19	220,0	160,5	27,0	59,5	1,37	1,00
20	184,1	131,1	28,8	53,0	1,40	1,00
21	191,8	129,2	32,6	62,6	1,48	1,20
22	188,1	126,1	32,9	62,0	1,49	1,30
23	145,5	118,1	18,8	27,4	1,23	1,10
24	162,3	113,8	29,9	48,5	1,43	1,50
1	148,6	90,3	39,3	58,4	1,65	1,30
2	130,4	87,3	33,0	43,1	1,49	1,40
3	131,3	100,8	23,2	30,4	1,30	1,70
4	155,3	90,5	41,7	64,8	1,72	1,40
5	152,9	87,8	42,6	65,1	1,74	1,50
6	125,3	84,8	32,3	40,5	1,48	1,50
7	138,8	85,7	38,3	53,1	1,62	1,10
8	122,0	79,1	35,1	42,8	1,54	1,80

Tabell 3. Resultat från dygnsprovtagning 050119 - 050125. Tre försök: ej dosering, dosering av metallsalt samt dosering av metallsalt och polymer.

Datum	SS in [mg/l]	SS ut [mg/l]	SS reduktion [%]	PO4-P in [mg/l]	PO4-P ut [mg/l]	PO4-P reduktion [%]	SS ut (on-line) [mg/l]
2005-01-19 18:00	349,3	138,0	60,5	6,92	7,08	-2,3	
2005-01-19 21:00	287,3	143,6	50,0	9,89	7,00	29,2	
2005-01-20 00:00	232,4	95,1	59,1	7,25	6,90	4,8	
2005-01-20 03:00	172,1	76,5	55,6	7,60	7,39	2,8	
2005-01-20 06:00	178,5	72,2	59,5	8,21	8,08	1,6	
2005-01-20 09:00	237,3	64,4	72,8	7,80	8,62	-10,5	
2005-01-20 12:00	230,2	141,7	38,4	6,24	7,45	-19,4	
2005-01-20 15:00	240,6	111,5	53,6	6,82	6,39	6,3	
2005-01-20 18:00	293,9	136,7	53,5	7,25	5,93	18,2	161,1
2005-01-20 21:00	230,8	146,4	36,5	6,93	4,35	37,2	136,6
2005-01-21 00:00	184,8	115,7	37,4	6,90	3,84	44,3	110,4
2005-01-21 03:00	126,4	104,7	17,2	7,59	4,45	41,4	82,4
2005-01-21 06:00	133,8	120,2	10,2	7,76	5,97	23,1	81,6
2005-01-21 09:00	193,2	97,6	49,5	8,14	5,92	27,3	76,2
2005-01-21 12:00	341,0	153,7	54,9	6,22	4,62	25,7	112,0
2005-01-21 15:00	207,5	160,0	22,9	5,73	4,32	24,6	163,4
2005-01-24 17:00	213,8	198,8	7,0	6,70	4,51	32,7	177,6
2005-01-24 20:00	311,9	197,2	36,8	7,22	4,49	37,8	186,0
2005-01-24 23:00	206,6	149,4	27,7	6,90	4,32	37,4	131,3
2005-01-25 02:00	136,9	108,4	20,8	7,04	4,85	31,1	76,4
2005-01-25 05:00	143,1	102,5	28,3	8,34	5,93	28,9	69,2
2005-01-25 08:00	164,3	89,3	45,6	8,38	6,54	22,0	60,0
2005-01-25 11:00	279,7	122,9	56,1	6,18	4,08	34,0	97,8
2005-01-25 14:00	275,8	187,7	31,9	5,90	4,01	32,0	161,6

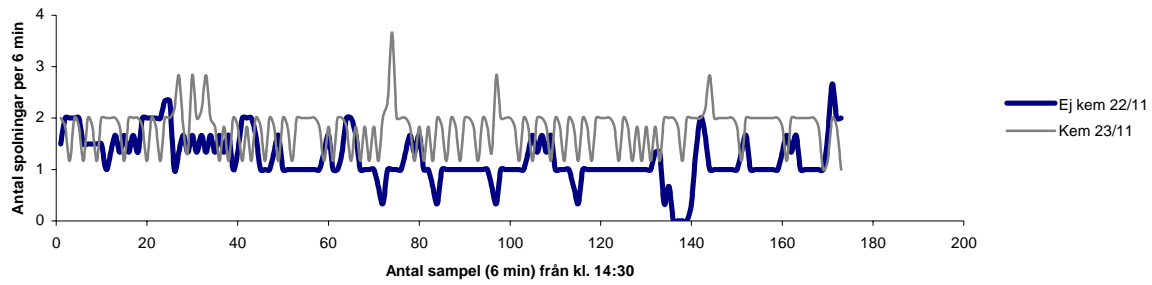
Tillsats av metallsalt

Tillsats av metallsalt och polymer

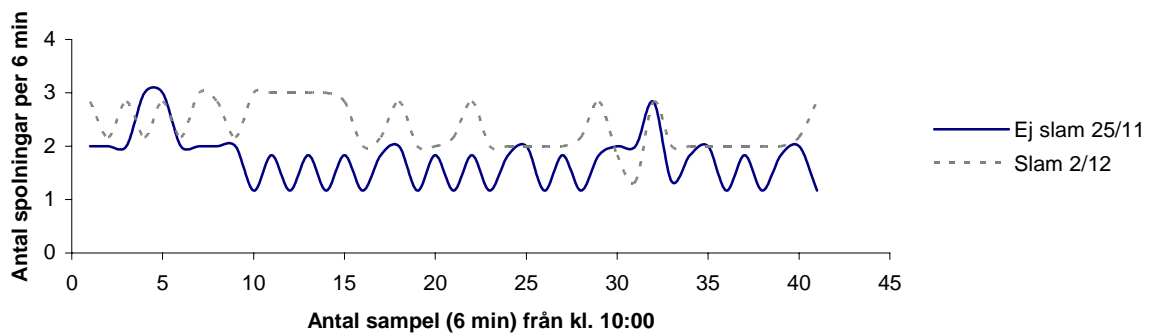


Figur 1. Utgående halter SS vid fyra försök utförda olika vardagar mellan kl. 14:30 och 07:45.

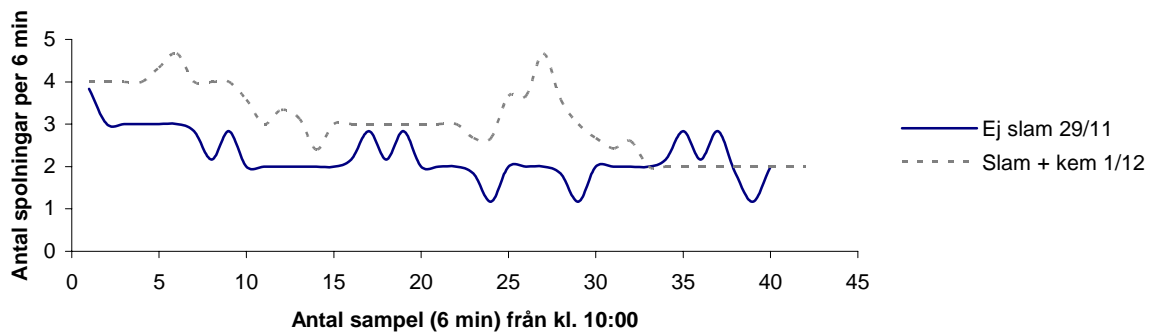
F.2. Backspolningsfrekvens vid olika dosering



Figur 2. Backspolningsfrekvens vid 2 olika försök kl. 14:30 till 07:45.



Figur 3. Backspolningsfrekvens under 4 timmar för 2 olika försök.



Figur 4. Backspolningsfrekvens under 4 timmar för 2 olika försök.

Tabell 4. Medelvärde av backspolningsfrekvens

Slamdosering kl. 10 - 14

	Ej slam 25/11	Slam 2/12	Ej slam 29/11	Slam + kem 1/12
Summa	72	97	92	126
Medel	1,7	2,3	2,2	3,0
% ökning		34		38

Kemdosering 14:30 - 07:45

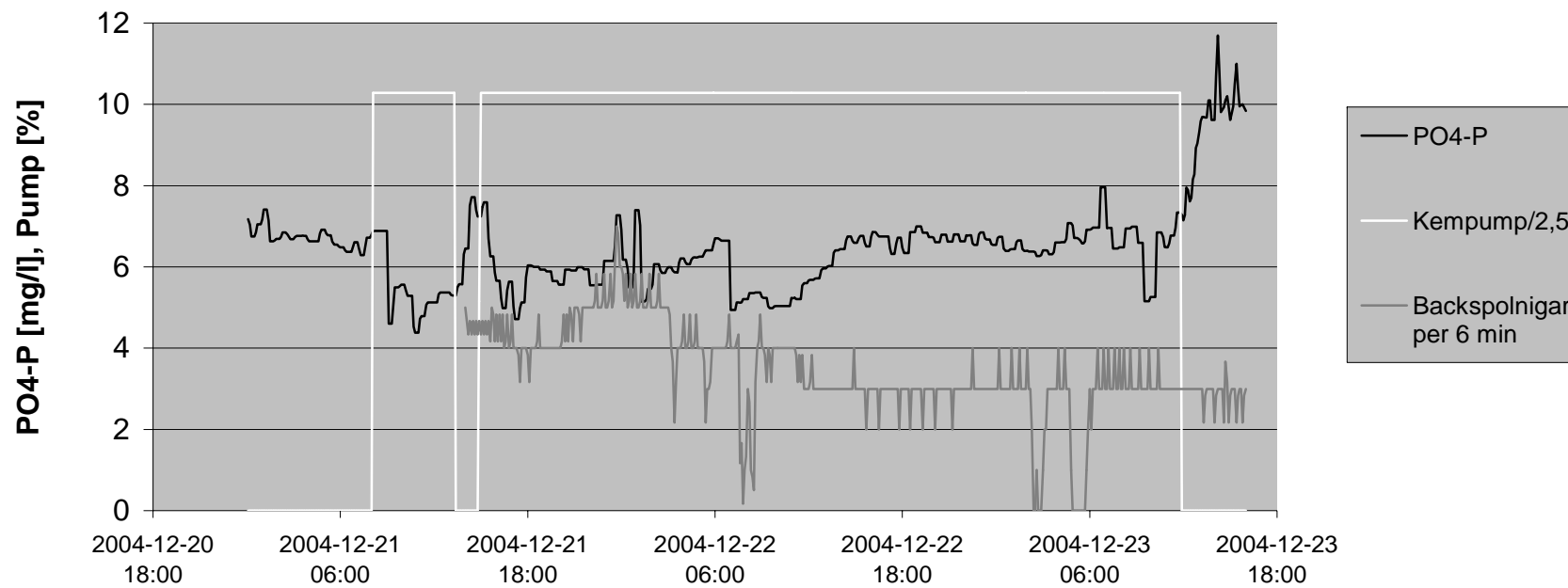
	Ej kem 22/11	Kem 23/11	Ej kem 25/11	Kem 29/11
Summa	211	309	227	319
Medel	1,2	1,8	1,4	1,9
% ökning		46		41

F.3. Resultat från fullskaleförsök, TF L4

Tabell 4. Resultat från dygnsprovtagning med start kl. 12:00 2004-12-21

Klockslag	PO4-P [mg/l]	Turbiditet [NTU]	Turb./5	Turb. (biopolering)	PO4-P (biopolering)	Reduktion turb. (%)	Turb. (biopolering)/10	Reduktion PO4-P [%]
13	5,01	69	13,8	103	7,86	33,0	10,3	36,3
14	6,43	71,9	14,4	103	7,86	30,2	10,3	18,2
15	8,35	74,8	15,0	117	7,61	36,1	11,7	-9,7
16	9,09	70,9	14,2	117	7,61	39,4	11,7	-19,4
17	4,71	72,4	14,5	114	8,78	36,5	11,4	46,4
18	7,26	75	15,0	114	8,78	34,2	11,4	17,3
19	6,25	73,2	14,6	117	7,87	37,4	11,7	20,6
20	7,99	76,2	15,2	117	7,87	34,9	11,7	-1,5
21	6,39	77,8	15,6	121	7,79	35,7	12,1	18,0
22	5,8	75,6	15,1	121	7,79	37,5	12,1	25,5
23	8,11	74,2	14,8	117	7,69	36,6	11,7	-5,5
24	5,65	74,7	14,9	117	7,69	36,2	11,7	26,5
1	6,7	79,1	15,8	119	7,82	33,5	11,9	14,3
2	6,69	87,3	17,5	119	7,82	26,6	11,9	14,5
3	4,88	91,5	18,3	112	7,53	18,3	11,2	35,2
4	5,05	89,5	17,9	112	7,53	20,1	11,2	32,9
5	10	83,1	16,6	120	8,06	30,8	12	-24,1
6	6,35	84,2	16,8	120	8,06	29,8	12	21,2
7	5,81	86,5	17,3	116	7,77	25,4	11,6	25,2
8	5,17	67,5	13,5	116	7,77	41,8	11,6	33,5
9	5,15	65,5	13,1	Inga data	Inga data			
10	7,93	58,7	11,7	Inga data	Inga data			
11	6,2	59	11,8	Inga data	Inga data			
12	6,04	62,1	12,4	Inga data	Inga data			

Ej kemfällning dessa tider



Figur 5. Fosfatfosfor, backspolningsfrekvens samt doserpumpsignal (% av max) från försök med flödesproportionell kemdosering.

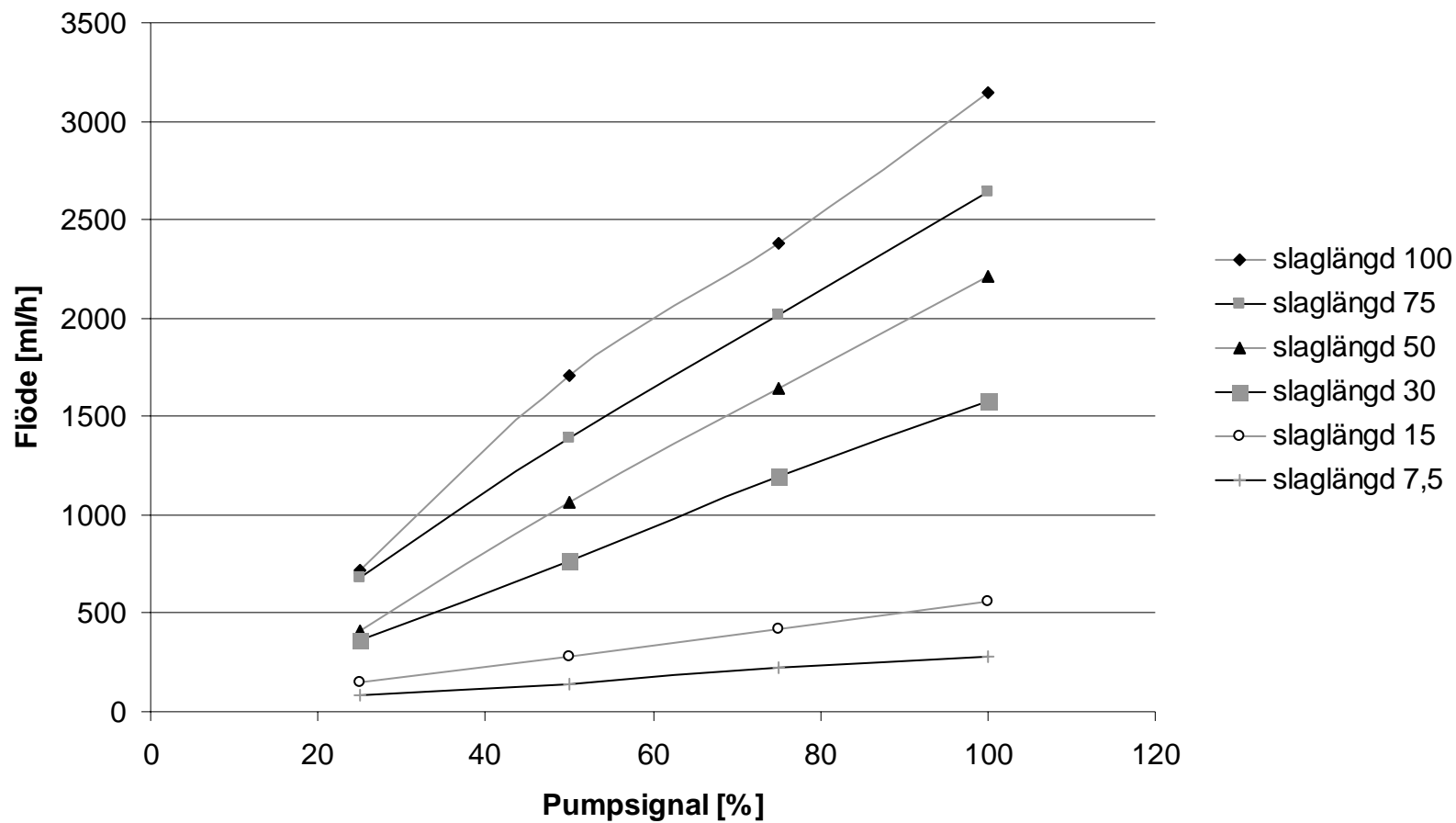
Bilaga G Resultat från bräddningsförsök, TF L2

Tabell 1. Resultat från bräddningsförsök, trumfilter processlinje 2

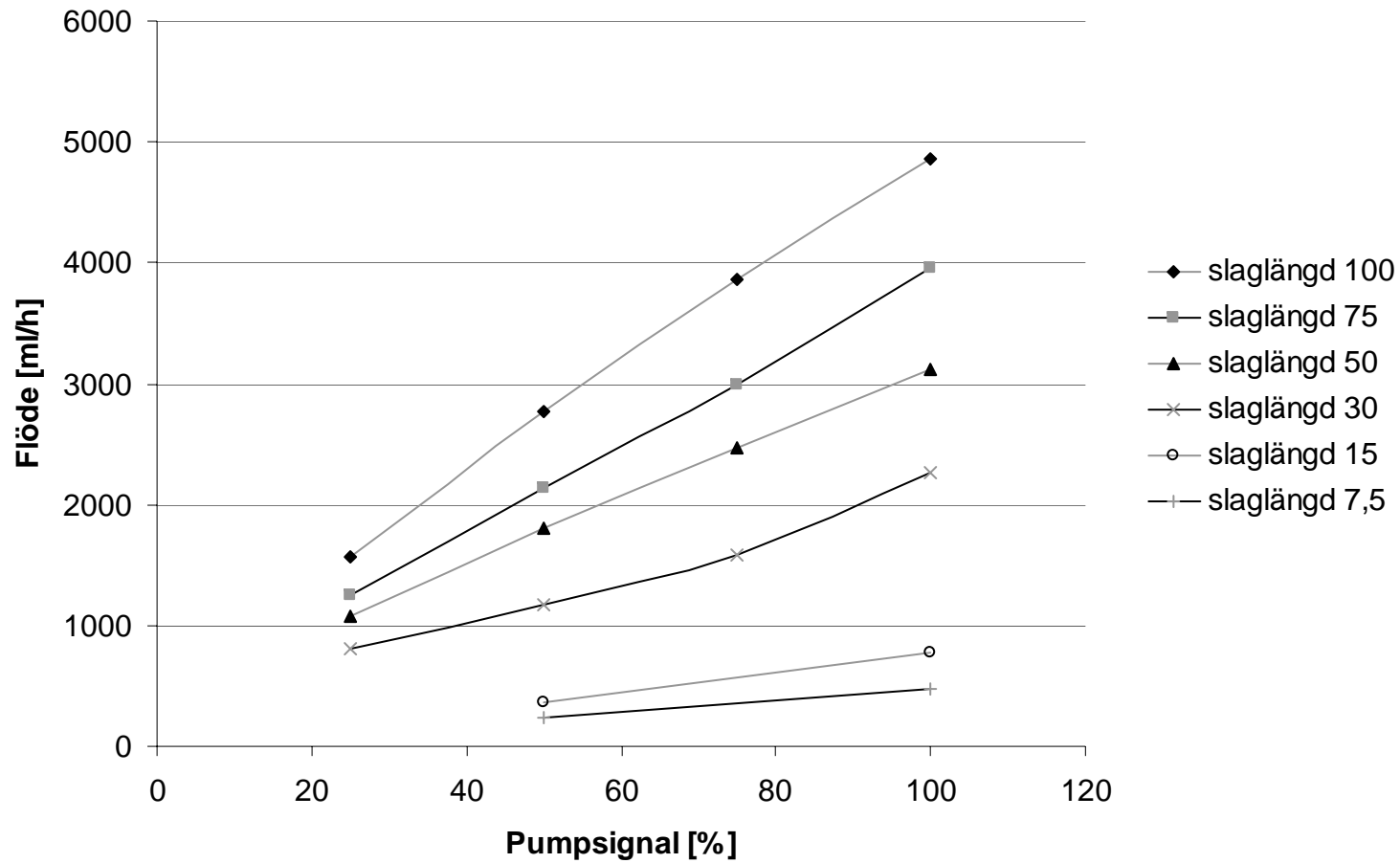
	Tid till bräddning [s]	Tid till bräddning [s]	Tid till bräddning (medel) [s]
Ej dosering	362	315	338,5
Slamdosering	332	311	321,5
Slam + kem	345	297	321

Inkommande SS ca 230 - 250 mg/l under bräddningsförsöket
Ingen tömning av rejektvatten under bräddningsförsöket, dvs. ingen
ökad belastning på filtret

Bilaga H Flödeskapacitet för de använda doserpumparna

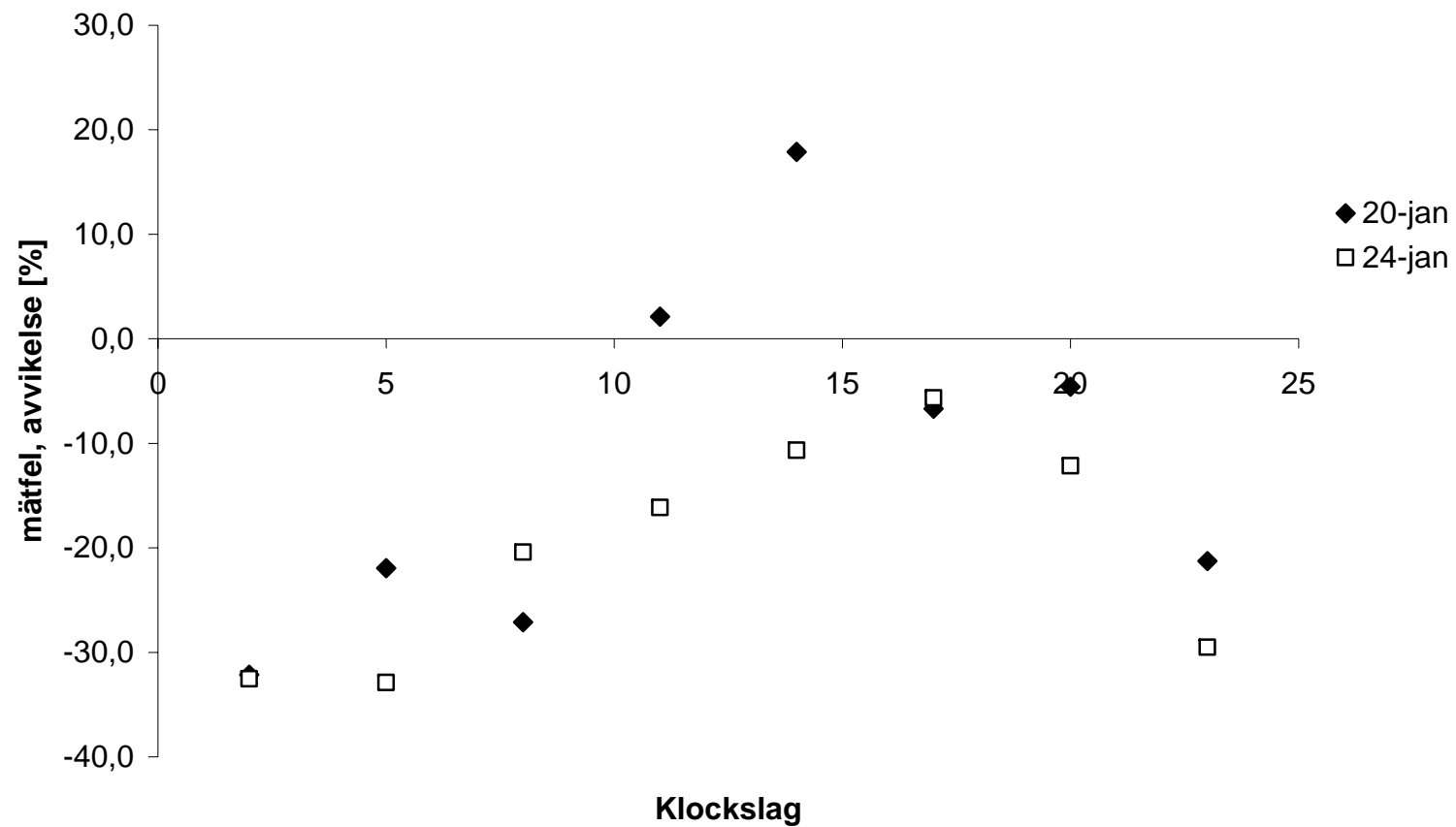


Figur 1. Flöden vid olika slaglängd och pumpsignal för pump K5.P05 (metallsalt).



Figur 2. Flöden vid olika slaglängd och pumpsignal för pump K4.P03 (polymer).

Bilaga i Mätfel för SS on-line givare. Jämförelse med labdata



Figur 1. Mätfel (%) hos on-line SS-mätare jämfört med labdata under två provtagningsdygn.