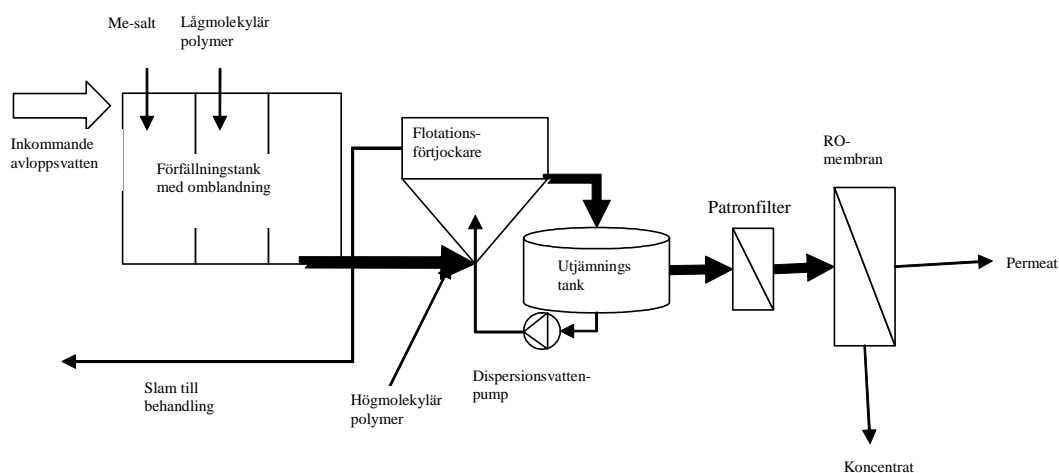


# Kemisk fällning och flockning av avloppsvatten med flotation som förbehandling till omvänd osmos

*Erik Larsson, AP/Stockholms Miljöcenter*



Erik Larsson  
Vårgårdavägen 12A  
125 51 Älvsjö

Tfn: 070-7633973  
E-post: erki\_notchen@hotmail.com

## **Kemisk fällning och flockning av avloppsvatten med flotation som förbehandling till omvänd osmos.**

## Ordlista

<b>COD</b>	Chemical Oxygen Demand Mått på kemisk syreförbrukning (mängd organiskt material)
<b>ESPA-membran</b>	Energy-Saving Polyamide. Membran för lågtrycksfiltrering i RO.
<b>Flockulator (V)HM</b>	1 L kärl med omrörare som använts vid labförsöken (Very) High Molecular, högmolekylär polymer. Molekylvikt ca $20 \cdot 10^6$
<b>Koncentrat</b>	Vätska med föroreningar som inte kommer igenom RO-membranet
<b>LM</b>	Lågmolekylär polymer. Molekylvikt ca $5 \cdot 10^6$
<b>Me-salt</b>	Metallsalt
<b>PAX XL36</b>	Polymeriserad aluminiumklorid, produkt från Kemira
<b>Permeat</b>	Det reade vattnet som passerat igenom RO-membranet
<b>PIX-111</b>	Järn(III)klorid, produkt från Kemira
<b>PO<sub>4</sub>-P</b>	Fosfatfosfor
<b>Purfix 120</b>	Lågmolekylär högladdad stärkelsebaserad polymer
<b>RO</b>	Reverse osmosis, Omvänd osmos. Membranfiltreringsteknik
<b>SS</b>	Suspenderad substans [mg/l]
<b>TS</b>	Total Solids
<b>Turbiditet, FNU</b>	Formazine Nephelometric Unit, Ett mått på ljusabsorbans

## Sammanfattning

Detta examensarbete syftar till att undersöka huruvida kemisk fällning av suspenderat material i inkommande avloppsvatten från Hammarby Sjöstad med efterföljande flotation är tillräckligt för att få ett utgående vatten med så få partiklar att det kan behandlas med omvänd osmos, RO.

Det har tidigare gjorts studier på fällningskemikalier och flockulenter som passar avloppsvattnet från Hammarby Sjöstad. Med dessa studier som grund valdes två metallsalter, en polymeriserad aluminiumklorid (PAX-XL36) och en järn(III)klorid (PIX-111). Som flockningskemikalier valdes en lågmolekylär polymer (LM) (Purfix 120) och en högmolekylär polymer (HM) (SNF Nordfloc C-192).

Metallsalterna användes med två olika doseringar baserat på inkommande fosfatfosforhalt ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ). 1,5:1 och 2,5:1 molförhållande  $\text{Me}:\text{PO}_4\text{-P}$ . Då PAX-XL36 är en redan polymeriserad produkt så testades även molförhållande 3:1 men då utan Purfix 120 och med  $0,5\text{g/m}^3$  av SNF Nordfloc C-192.

Fällnings- och flockningsförsöken genomfördes först i laboratorieskala där sedan de mest lovande konfigurationerna upprepades i pilotskala/fullskala. Från fullskaleförsöken valdes den konfiguration som visat bäst resultat till försök med RO.

Doseringen kunde under fullskaleförsöken inte styras mot den dygnsvarierande inkommande fosfatfosforhalten. Under fullskaleförsöken användes därför ett medelvärde över dygnet på  $8,5\text{ mg PO}_4\text{-P/liter}$ . Vid laboratorieförsöken gjordes fosfatfosforanalyser med Dr. Langekyvetter på det insamlade vatten som skulle användas för att bestämma dosering av Me-salt.

PIX-111 gav i laborietesterna en god fosforreduktion och fosfatfosforhalten i klarfasen låg under  $0,2\text{ mg PO}_4\text{-P}$  då en dos på 2:1 i kombination med Purfix 120 och SNF Nordfloc C-192 användes. Denna kombination gav även god reduktion med avseende på turbiditet (95 %) och god filtrerbarhet. Försöken i fullskala var dock inte framgångsrika och mycket av det suspenderade materialet gick rakt igenom processen. PIX-111 bidrog dessutom till att bilda svarta beläggningar, troligtvis järnsulfid, i fällningskärlen och i flotationsanläggningen.

PAX-XL-36 visade i fullskala resultat i paritet med dem som uppnåddes i försöken i laboratorieskala. PAX-XL36 visade, som väntat, en betydligt bättre partikelreducerande förmåga än PIX-111. PAX-XL36 var, på grund av sin partikelreducerade egenskap, dessutom nästan lika bra på att reducera totalfosfor.

1,5:1 molförhållande PAX-XL36 tillsammans med  $5\text{g/m}^3$  Purfix 120 och  $0,25\text{g/m}^3$  SNF Nordfloc C-192 var den konfiguration som fungerade bäst och användes till det avslutande RO-försöket.

RO-försöket gjordes med avseende på filtrerbarhet för att undersöka ifall membranerna skulle sätta igen på grund av polymerrester i det behandlade vattnet.

Innan vattnet behandlades i RO:n pH-justerades det till 6, liksom övriga RO-försök som gjorts på Sjöstadsverket. Därefter passerade vattnet ett patronfilter med  $20\text{ }\mu\text{m}$  nominell porstorlek.

Under körning visade membranerna ingen tendens till att sätta igen, dock kan mängden filtrerat vatten diskuteras och vidare körningar bör göras för att utvärdera behandlingsmetoden.

## **Förord**

Examensarbetet är utfört för Stockholm Vatten AB på Hammarby Sjöstadsverket under två hektiska månader våren och försommaren -06. Examination utförs av Stockholms Miljöcenter. Ragnhild Eklund, grenansvarig för KY-utbildningen Miljötekniker är examinator för examensarbetet. Samtliga försök och rapport är utförda under vårterminen 2006.

Jag vill tacka min handledare Daniel Hellström, först och främst för att ha låtit mig ta an detta mycket spännande projekt, men också för all värdefull kunskap och coachning.

Jag vill också speciellt tacka Lars Bengtsson, driftchef på Sjöstadsverket, och Jonas Karlsson, mät- och processtekniker, samt alla andra examensarbetare och praktikanter på Sjöstadsverket som muntrat upp och kommit med goda råd när saker och ting sett mörkt ut.

augusti 2006

Erik Larsson

# Innehåll

1	Inledning.....	6
1.1	Syfte/Mål.....	6
1.2	Sjöstadsvattnets karaktär.....	7
1.3	Metodik laboratorieskala.....	7
1.3.1	Försöksplan laboratorieskala.....	7
1.3.2	Genomförande.....	7
1.4	Metodik fullskala.....	8
1.5	Processbeskrivning.....	8
1.6	Analysparametrar.....	9
1.6.1	Screening och laboratorieskala.....	9
1.6.2	Fullskala.....	9
1.6.3	RO-försök.....	9
2	Fällning och flockning.....	10
2.1	Teori.....	10
2.2	Produktval.....	10
2.2.1	PAX-XL36.....	10
2.2.2	PIX-111.....	10
2.2.3	Purfix 120.....	10
2.2.4	SNF 905 VHM.....	10
2.2.5	SNF Nordfloc C-192.....	10
3	Laboratorieförsök.....	11
3.1	Resultat.....	11
3.2	Konfigurationer till fullskala.....	14
3.2.1	PAX-XL36.....	14
3.2.2	PIX-111.....	14
4	Fullskala.....	14
4.1.1	Uppehållstid i förfällning och flockningstank.....	14
4.1.2	Flotationsförtjockare.....	14
4.1.3	Dispersionsvatten.....	15
4.2	Resultat från fullskaleförsök.....	15
4.2.1	Järnanalyser.....	17
4.2.2	Urval till RO-körning.....	17
5	RO-försök.....	18
5.1	Uppkoncentrering.....	19
6	Diskussion.....	20
6.1	Kemikaliekonfiguration.....	20
6.1.1	Driftstörningar.....	20
6.2	Lokalisering.....	20
7	Slutsatser.....	21
7.1	Vidare studier.....	21
	Källor.....	22
	Bilaga 1.....	23
	Bilaga 2.....	24
	Bilaga 3.....	26

# 1 Inledning

Hammarby Sjöstad är en nybyggd stadsdel i södra centrala Stockholm. När hela stadsdelen står färdig är det tänkt att 30 000 personer ska bo i 9000 lägenheter. Stadsdelen är från början ett gammalt hamn- och industriområde. Vid projekteringen av området så bestämdes ett antal åtgärder för att minska miljöpåverkan jämfört med andra nybyggnationer. Det upprättades vid projekteringen en kretsloppsmodell för Hammarby Sjöstad - "Hammarbymodellen", se bild 1. Det fastställdes samtidigt miljömål för avloppsvattnet.

- Det reade avloppsvattnet får inte innehålla mer än 6 mg/l kväve och inte mer än 0,15 mg/l fosfor.
- 95 % av fosfor i BDT-vatten (bad, disk och tvättvatten), urin och fekalier ska återföras till jordbruket.
- Hushållens vattenförbrukning ska vara 50 % mindre än genomsnittet för nyproduktion i innerstaden.

Hammarby Sjöstadsverk är Stockholm Vatten AB:s försöksanläggning för testandet av alternativ avloppsreningsteknik.

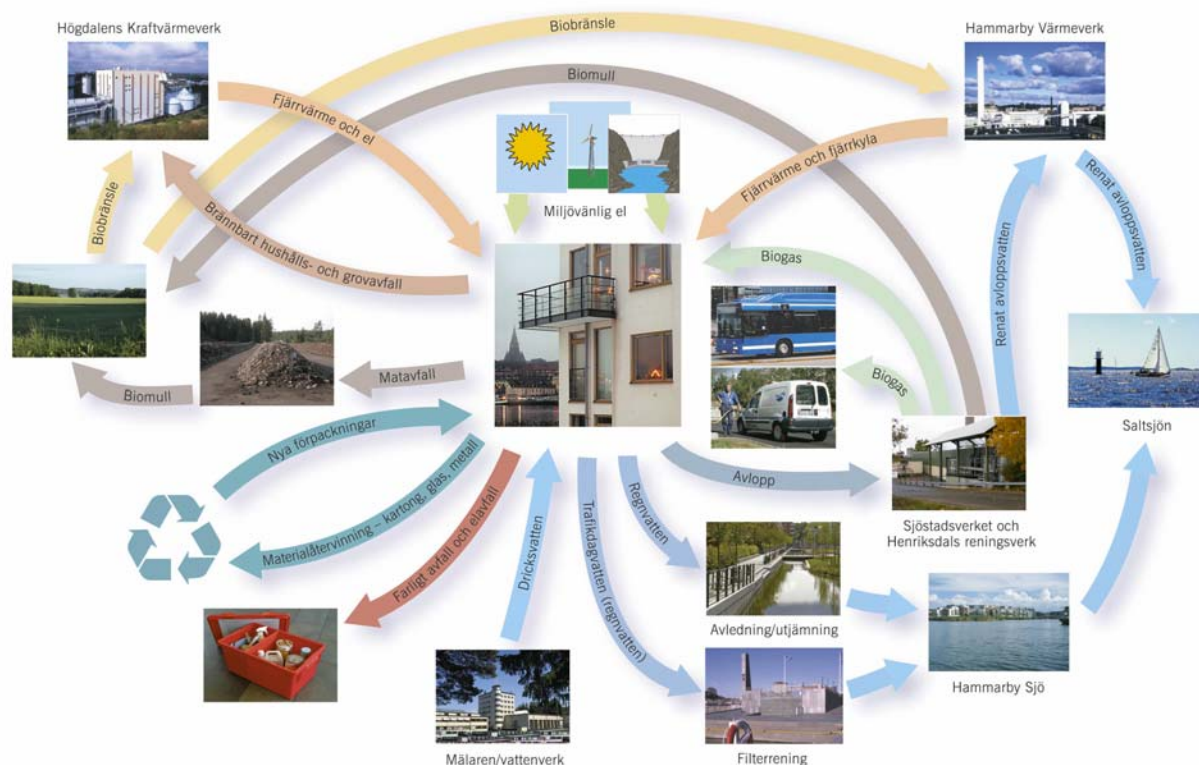


Bild 1. Hammarbymodellen.

## 1.1 Syfte/Mål

Syftet med detta examensarbete var att undersöka huruvida det går att använda kemisk fällning och flotation som enda reningssteg för att erhålla ett utgående vatten med så lite partiklar och suspenderad substans att det går att använda omvänd osmos direkt efter. Fokus har varit att undersöka vattnet genom processen. De olika processparametrars betydelse för slambehandlingen har inte studerats.

## 1.2 Sjöstadsvattnets karaktär

Sjöstadsvattnets karaktär presenteras som det såg ut under perioden då fullskaleförsöken genomfördes. Dygnsproverna är medelvärden på ett antal prover som analyserats på Sjöstadslaboratoriet. Här nämns endast de parametrar som är av intresse för arbetet.

<u>Analys</u>	<u>Dygnsprover (11)</u>
Totalfosfor	8,8 mg/l (11)
Fosfatfosfor	7,9 mg/l (11)
COD <sub>tot</sub>	654 mg/l (7)
COD <sub>löst</sub>	308 mg/l (7)
Suspenderat material	247 mg/l (9)
Turbiditet	264 NTU (10)
Järn	531 µg/l (4)

## 1.3 Metodik laboratorieskala

### 1.3.1 Försöksplan laboratorieskala

Försök	1	2	3	4	5	6	7	8
Polymeriserat Al-produkt, lågmol. polymer	X	X	X	X				
Fe-produkt, lågmol. polymer					X	X	X	X
+ högmolekylär pol.			X	X			X	X

Tabell 1. Försöksplan för laboratorieskala.

Denna försöksplan användes som bas för laboratorieförsöken. Olika doseringar av metallsalt testades tillsammans med LM och HM i kombination eller varför sig efter detta schema, dock testades ej samma dos flera gånger.

### 1.3.2 Genomförande

Samtliga av laboratorieförsöken genomfördes i 1 liters glasbägare med mini-flockulatorer från Bofors. Efter tillsats av fällningskemikalie fick flockulatorn gå i tio minuter innan tillsats av LM gjordes. Detsamma gällde för tillsats av HM. Detta gjordes för att få verklighetstroga inblandningsförhållanden. Inblandningen av metallsalten skedde under snabb omrörning i cirka tio sekunder för att förhindra bildandet av hydroxider (vid användandet av PIX-111) och för att produktens effektivitet ska maximeras (Kemira, 2003). Polymererna blandades in med långsam omrörning då flockarna lätt kan slås sönder. Purfix 120 levereras som en 20 % -ig lösning, men späddes 10 gånger för att bli mer hanterbar, den användes som en 2 % -ig lösning av torr produkt. Nordfloc C-192 och 905 VHM, båda produkter från SNF Nordic, späddes till 0,05 %, för att göra dem mer hanterbara och få en jämnare dosering. Därefter tillsattes 10 % dispersionsvatten, detta för att efterlikna förhållandena i fullskalan så bra som möjligt. Efter som dispersionsvattnet som tillsattes var renvatten minskades mängden fällningskemikalie med 10 %.



## 1.4 Metodik fullskala

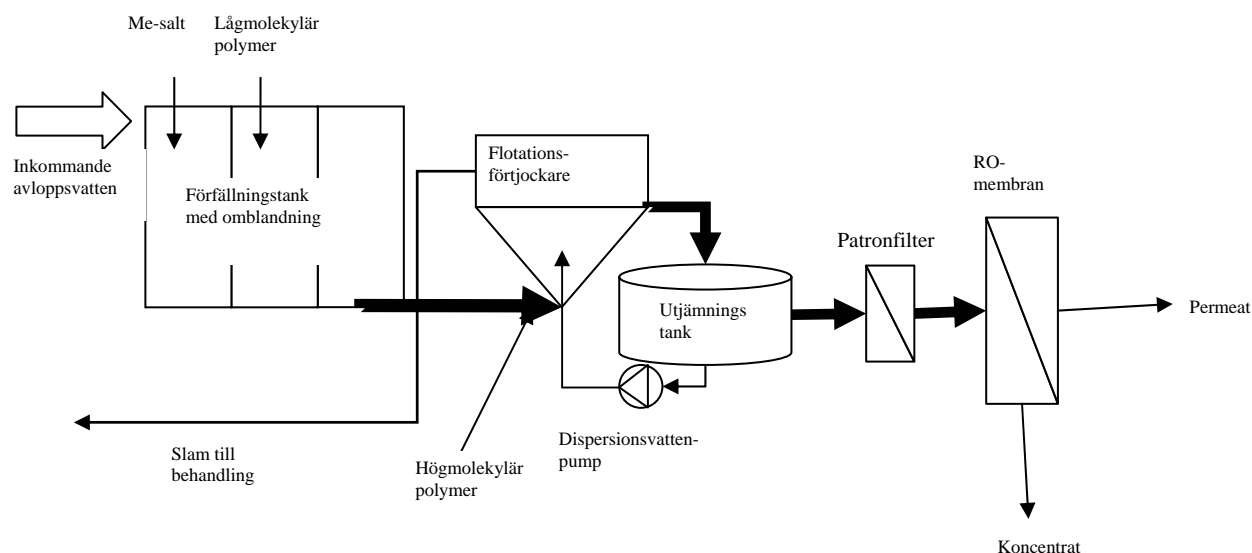
Försöksdag	11-12	13-14	15-16	17-18	19-20	21-22	23-24	25-26
PAX-XL36	X	X	X	X				
PIX-111					X	X	X	X
+ högmolekylär pol.	X	X	X	X	X	X	X	X
Med Purfix 120	X		X		X		X	

Tabell 2. Försöksplan för fullskaleförsöken.

Även för fullskaleförsöken gjordes ett försöksschema. För varje försöksdygn samlades dygnsprov och stickprov in. Stickproverna togs vid ungefär samma tidpunkt, för att bättre kunna jämföras. Till dygnsamlingsprovet togs prov ut var sjätte minut under hela försöksdygnet och förvarades kylt för att undvika förändringar av vattnet. Anledningen till att både dygnsprov och stickprov togs var för att se ifall det förekom några förändringar i reningsgrad under dygnet.

## 1.5 Processbeskrivning

Processen går ut på att med kemisk fällning fälla ut det suspenderade materialet och aggregera så mycket som möjligt till flockar för att sedan avskilja dem medelst flotation. I flotationstanken lyfts det utfällda och flockade materialet med hjälp av små luftbubblor från dispersionsvattnet till ytan där det avlägsnas med en slamskrapa. Slammet går sedan vidare till slambehandling, till exempel rötning. I detta arbete har det inte gjorts någon utredning angående slammets egenskaper. Utgående vatten går sedan till en RO där det genomgår två steg, en lågtrycksdel (maximalt 20 bar) och en högtrycksdel. I lågtrycksdelen koncentreras näringsämnen upp 3-4 gånger för att sedan vidare koncentreras i högtrycksdelen.



Figur 1. Processkiss.

## 1.6 Analytparametrar

### 1.6.1 Screening och laboratorieskala

Vid screening och laboratorieförsöken gjordes analyser m a p:

- Turbiditet
- Fosfatfosfor
- Filtreringstid

Turbiditetsanalyserna gjordes för att på ett snabbt sätt kunna uppskatta och jämföra mängden SS för de olika proverna. Analyserna gjordes med Dr. Lange fotospektrometer på Sjöstadslaboratoriet. Fosfatfosforanalyserna gjordes med Dr. Lange-kyvetter. Filtrierbarhetstesterna gjordes med Munktell 1,6 µm filter. Tanken är att använda membranteknik på utgående vatten, därför gjordes dessa tester för att snabbt kunna eliminera de kemikaliekonfigurationer med dålig filtreringsförmåga.

### 1.6.2 Fullskala

Förutom de analyser som genomfördes på proverna från laboratorieförsöken så utökades analyspaketet med COD<sub>tot</sub> och COD<sub>löst</sub>.

Hela analyspaketet blev:

- Turbiditet
- Fosfatfosfor
- Totalfosfor
- Fe<sup>2+/3+</sup>
- Fe<sub>tot</sub>
- COD<sub>tot</sub>
- COD<sub>löst</sub>
- Filtreringstid
- SS
- TS

Tot-P, PO<sub>4</sub>-P, COD<sub>tot</sub>- och COD<sub>löst</sub>-analyser gjordes samtliga enligt Dr. Lange och avlästes i fotospektrometer.

Eftersom det inte görs någon biologisk rening av vattnet är COD-reduktionen intressant att följa. En så hög reduktion som möjligt är att föredra. Fe<sup>2+/3+/tot</sup> analyser gjordes då PIX-111 användes.

### 1.6.3 RO-försök

Till RO-försöken lades sedan ytterligare analyser till för att kunna följa hur RO-körningarna gått.

- NH<sub>4</sub>-N
- NO<sub>3</sub>
- Totalkväve

Även dessa analyser genomfördes på Sjöstadslaboratoriet enligt Dr. Lange.

## 2 Fällning och flockning

### 2.1 Teori

Tanken med att använda metallsalt och två olika typer av polymerer är att metallsaltet först ska fälla ut och aggregera mycket små partiklar. Dessa utfällningar sätts sedan ihop till större flockar med hjälp av lågmolekylär polymer. För att de ska hålla ihop under omblandningen och transporten till flotationskärlet så tillsätts även en högmolekylär polymer.

Då avloppsvatten har en negativ nettoladdning är metallsaltets aktiva del alltid positivt laddad för att kunna attrahera suspenderad substans. I de allra flesta fall används järn- eller aluminiumsalt på grund av hälsomässiga och ekonomiska skäl. (Kemira AB, 2003)

### 2.2 Produktval

Samtliga produkter och doseringar valdes utifrån resultat av tidigare studier (Bengtsson, 2003 Karlsson 2005). I laboratorieförsöken testades två metallsalter (PAX-XL36 och PIX-111), en lågmolekylär högladdad polymer (Purfix 120), och två högmolekylära polymerer (SNF Nordfloc C-192 och SNF 905 VHM). Skillnaden mellan en lågmolekylär och en högmolekylär polymer är längden på kedjan den är uppbyggd av, antalet ”merer” som satts ihop.

#### 2.2.1 PAX-XL36

Tidigare studier har visat att PAX-XL36 fungerar för Hammarby Sjöstads avloppsvatten (Bengtsson, 2003). PAX-XL36 är en polymeriserad aluminiumklorid som innehåller organisk polymer och 6,9 vikt %  $Al^{3+}$ -joner. PAX-XL36 är främst tänkt att reducera partiklar. Produkten produceras av Kemira AB.

#### 2.2.2 PIX-111

PIX 111 är en järn(III)klorid från Kemira. Mängden Järn<sup>3+</sup>-joner i PIX-111 är 13,6 vikt %. Dess egenskaper lämpar sig för att reducera fosfor (Harding, 2005). I detta arbete har produkten använts med just det syftet i åtanke, att producera ett näringsrikt slam som kan användas för spridning på åkrar. En järnprodukt är att föredra vid rötning av slammet då det har positiva effekter för röttningsprocessen.

#### 2.2.3 Purfix 120

Purfix 120 är en stärkelsebaserad katjonisk högladdad LM polymer (Karlsson, 2005). Purfix 120 användes i doserna  $5g/m^3$  tillsammans med PAX-XL36 och  $7g/m^3$  tillsammans med PIX-111. Purfix 120 användes som första flockningsprodukt efter den kemiska fällningen. PurFix 120 framställs av potatisstärkelse och med Hammarby Sjöstads speciella miljökrav i åtanke är det eftersträvansvärt att använda en produkt av den här typen.

#### 2.2.4 SNF 905 VHM

SNF 905 VHM är en högladdad anjonisk polyakrylamid. Tanken med att använda denna produkt var att Purfix 120 är katjonisk och att på så sätt kunna laddningsneutralisera vattnet och undvika en positiv nettoladdning. Produkten användes dock endast i laboratorieskala då den inte fanns att tillgå i tillräckligt stora mängder för fullskaleförsöken på Sjöstadsverket.

#### 2.2.5 SNF Nordfloc C-192

SNF Nordfloc C-192 är likt 905 VHM en polyakrylamid, dock är denna produkt katjonisk. SNF Nordfloc C-192 används sedan tidigare på Sjöstadsverket som tillsats vid

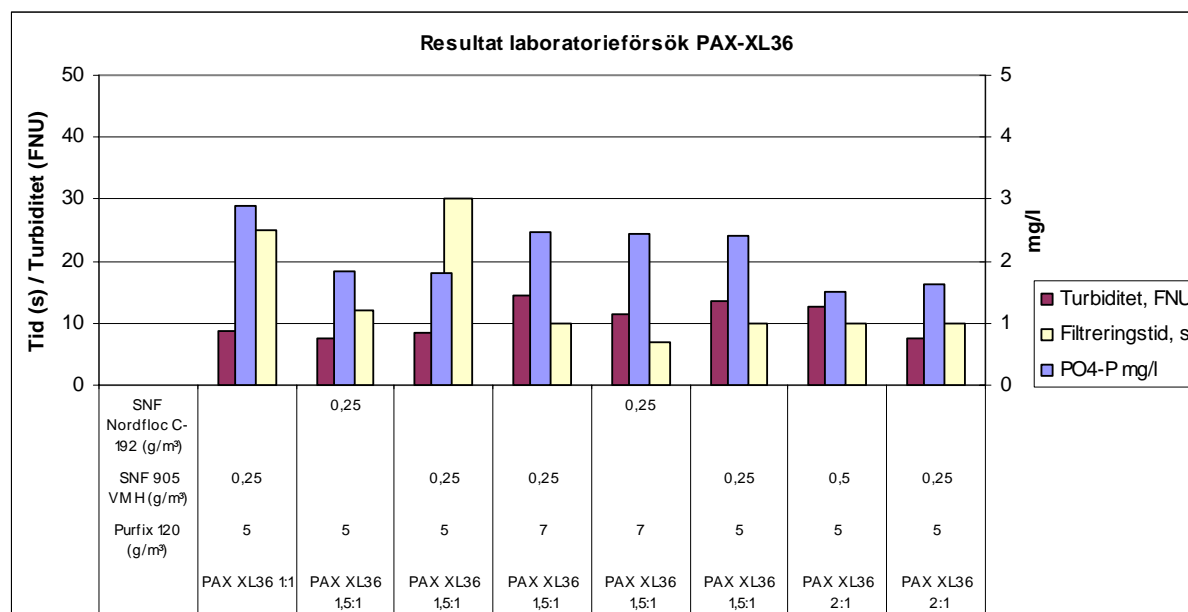
slamcentrifugering. Vid slamcentrifugeringen har denna polymer visat goda egenskaper vad gäller avvattning (ca 20-25 ggr) trots att centrifugens inställningar prioriterar ett rent rejekt framför hög TS i slamkaka.

### 3 Laboratorieförsök

#### 3.1 Resultat

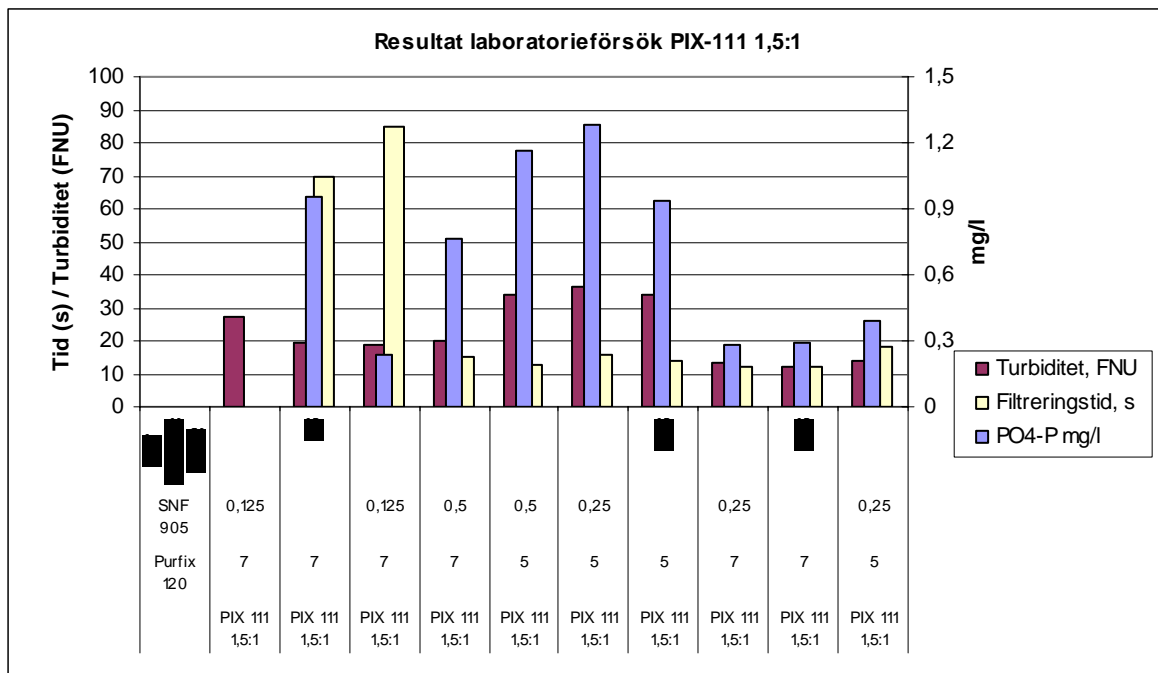
Samtliga försök med PAX-XL36 visade hög turbiditetsreduktion och fosfatreduktion vid högre molförhållanden. Vid lägre molförhållanden kunde samma höga reduktion av turbiditet fås som för högre, dock lämnades mer av fosfor kvar i vattnet. För PAX-XL36 blev filtreringstiden och kemikalieförbrukning de avgörande faktorerna för vilket alternativ som fick gå vidare till fullskalan.

Från försöken med PAX-XL36 var det konfigurationen molförhållande 1,5:1 med 5g/m<sup>3</sup> Purfix 120 och 0,25 g/m<sup>3</sup> Nordfloc C-192 som gav bäst resultat då samtliga parametrar beaktas och valdes ut för fortsatta försök. I Bilaga 1 finns resultat från samtliga försök i laboratorieskala.



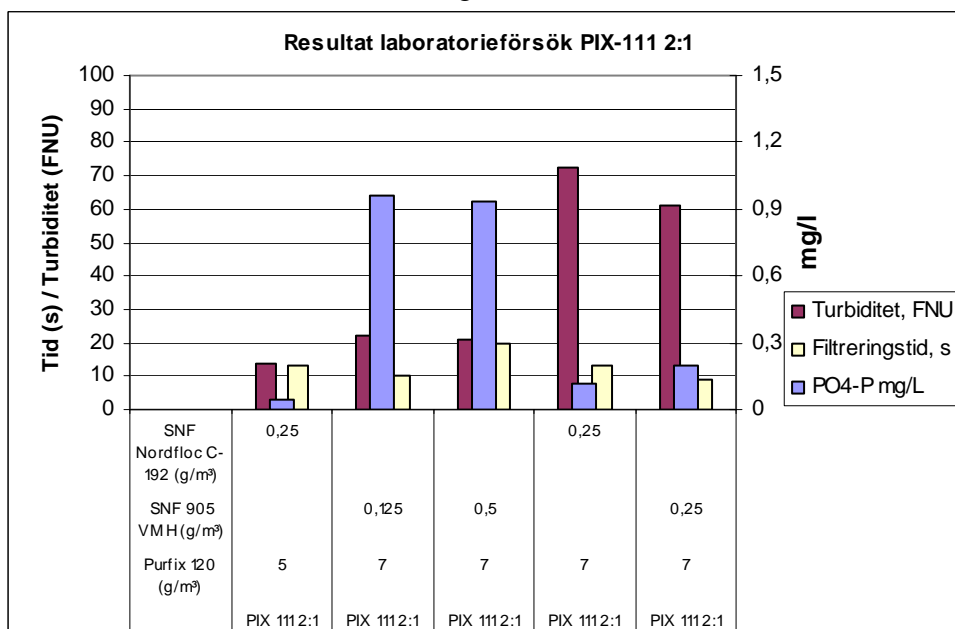
Figur 2. Resultat från försök med PAX-XL36 i laboratorieskala.

I försöken med PIX-111 så var resultaten varierande, men vissa konfigurationer såg ändå ut att ha större potential i fullskala än andra. I första hand valdes konfigurationer med lång filtreringstid bort. Därefter sorterades de konfigurationer som hade högre halter fosfat än de andra ut. I praktiken kunde även de konfigurationer där SNF 905 VMH användes också strykas då det inte fanns tillgängligt på Sjöstadsverket.



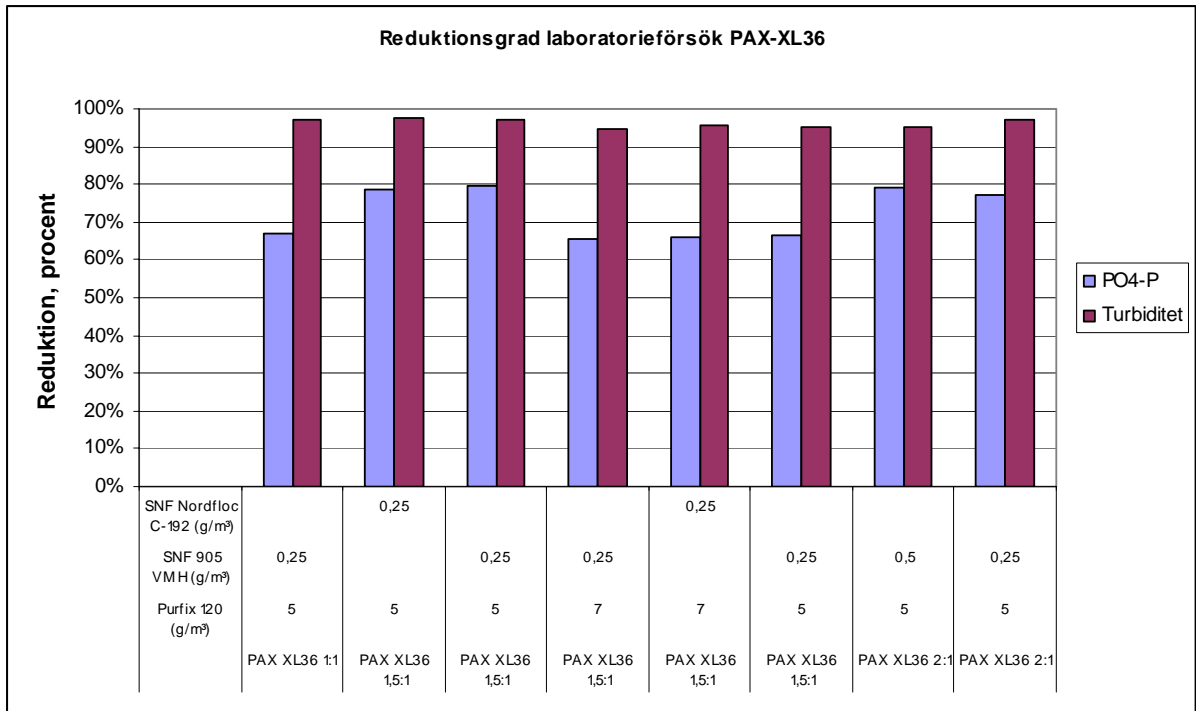
Figur 3. Resultat från laboratorieförsök med PIX-111 1,5:1.

Två resultat stack ut från mängden i försöken med PIX-111 med molförhållande 1,5:1 Me:PO<sub>4</sub>-P. Båda konfigurationerna visade mycket lovande och mycket lika resultat, det vill säga mycket lite fosfatfosfor var kvar i klarfasen och turbiditeten var låg. För båda konfigurationerna gällde att 7g Purfix 120/m<sup>3</sup> doserades, dock skiljde sig valet av HM dem emellan. Dosen HM var däremot den samma, 0,25g/m<sup>3</sup>. I slutändan blev det konfigurationen med SNF Nordfloc C-192 som fick gå vidare till försöken i fullskala.

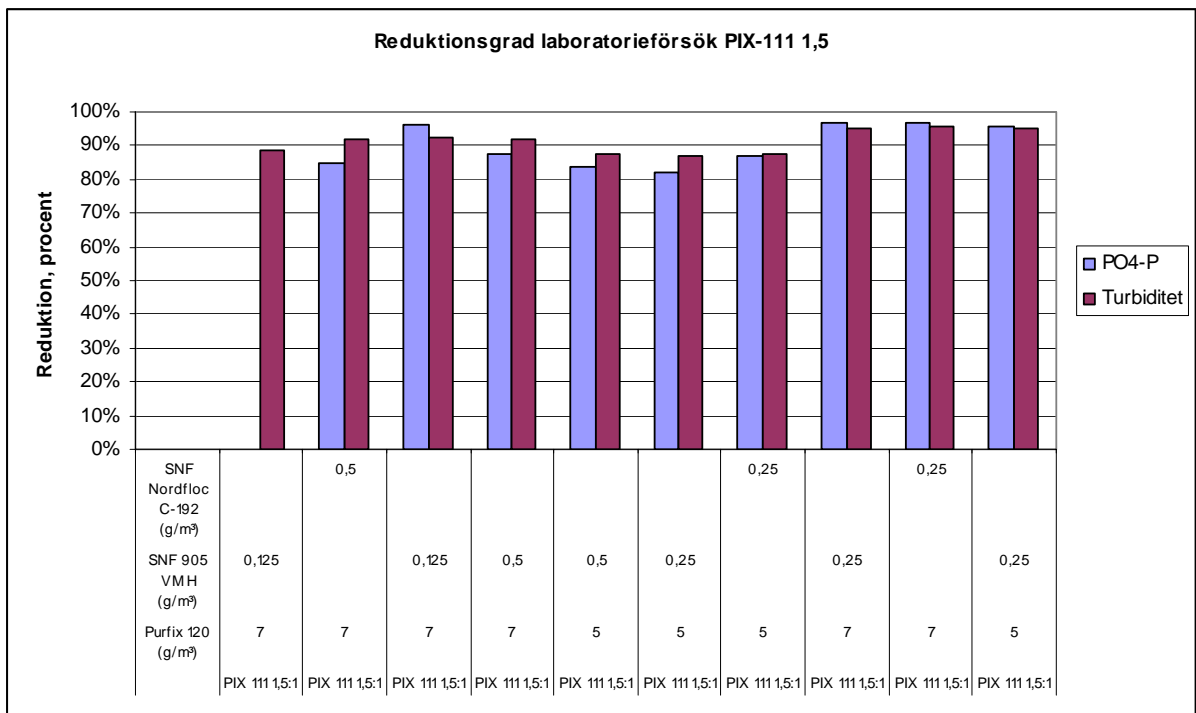


Figur 4. Resultat från laboratorieförsök med PIX-111 2:1.

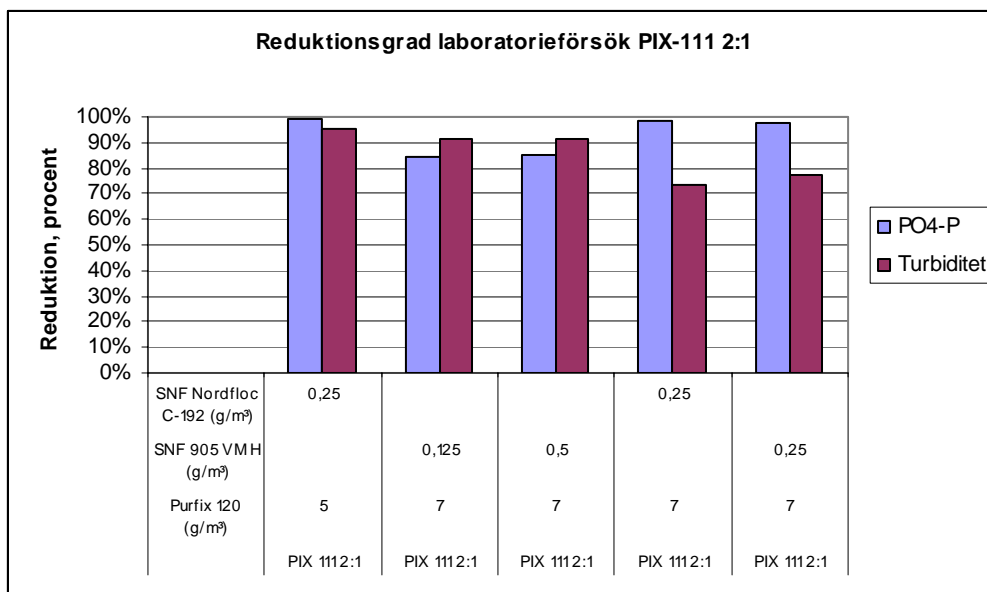
Från försöken med hög dos PIX-111 var det en konfiguration som stack ut resultatmässigt. I detta laboratorieförsök visade en dos Purfix 120 av 5g /m<sup>3</sup> bättre resultat än med 7g/m<sup>3</sup>. Detta i kombination med 0,25 g/m<sup>3</sup> SNF Nordfloc C-192.



Figur 5. Reduktionsgrader i försök med PAX-XL36.



Figur 6. Reduktionsgrader i försök med PIX-111 1,5:1.



Figur 7. Reduktionsgrader i försök med PIX-111 2:1

## 3.2 Konfigurationer till fullskala

### 3.2.1 PAX-XL36

Efter försöken med PAX-XL36 valdes molförhållande 1,5:1 Me: PO<sub>4</sub>-P tillsammans med 5g/m<sup>3</sup> Purfix 120 och 0,25g/m<sup>3</sup> SNF Nordfloc C-192. Dessutom testades molförhållande 3:1 utan dosering av Purfix 120 och med 0,5g/m<sup>3</sup> SNF Nordfloc C-192.

### 3.2.2 PIX-111

Kvar efter utsortering blev, vid låg dos PIX, molförhållande 1,5:1 Me:PO<sub>4</sub>-P PIX tillsammans med 7 g/m<sup>3</sup> Purfix 120 och 0,25 g/m<sup>3</sup> SNF Nordfloc C-192. Vid hög dosering PIX valdes senare istället 2,5:1, samma dosering för LM och HM behövs. I Bilaga 1 finns samtliga laborieförsök med resultat.

## 4 Fullskala

### 4.1.1 Uppehållstid i förfällning och flockningstank

Flödet in i anläggningen har hela tiden hållits konstant på 0,5 m<sup>3</sup>/h, uppehållstiderna gäller för samtliga försök i fullskala.

Förfällnings- och flockningstanken volym är 0,8 m<sup>3</sup> totalt sett, alla tre fack i den är lika stora. Flotationstankens volym är 0,2m<sup>3</sup> och efterföljande utjämningsstank är lika stor.

Uppehållstiden i förfällnings- och flockningstanken blir 0,8/0,5 h, dvs. 96 minuter.

Inblandningstiden för varje kemikalie blir drygt 30 minuter vilket är fullt tillräckligt för att få stabila flockar.

### 4.1.2 Flotationsförtjockare

Inkommande vatten som vid inträde i flotationsförtjockaren är behandlat med de aktuella kemikalierna förs in i nedre delen av flotationstanken där det blandas med dispersionsvattnet. Luftbubblorna som fälls ut ur dispersionsvattnet då trycket släpper lyfter upp flockarna till ytan där det sedan förtjockas och förs vidare till slambehandling.

### 4.1.3 Dispersionsvatten

Dispersionsvatten är vatten som man med hjälp av tryck löser luft i. När trycket sedan släpper så bildas mycket små luftbubblor som sedan lyfter fast material till ytan. Dispersionsvattnet tas från det utgående vattnet och flödet bör ligga mellan 10-20 % av inkommande vattenflöde för att anses effektivt.

En svårighet i att kontrollera flödet har funnits under hela perioden. Tillflödet sker genom en nålventil som manuellt måste regleras för att få rätt flöde. Dispersionsvattenpumpen styr mot en viss nivå i tryckkärlet och en större öppningsgrad på nålventilen innebär att flödet till tryckkärlet ökar, följaktligen ökar cirkulationen. Under fullskaleförsöken har dispersionsflödet varit betydligt över rekommendationer, flödet halverades under det dygn då vatten för att köra RO:n med samlades in.

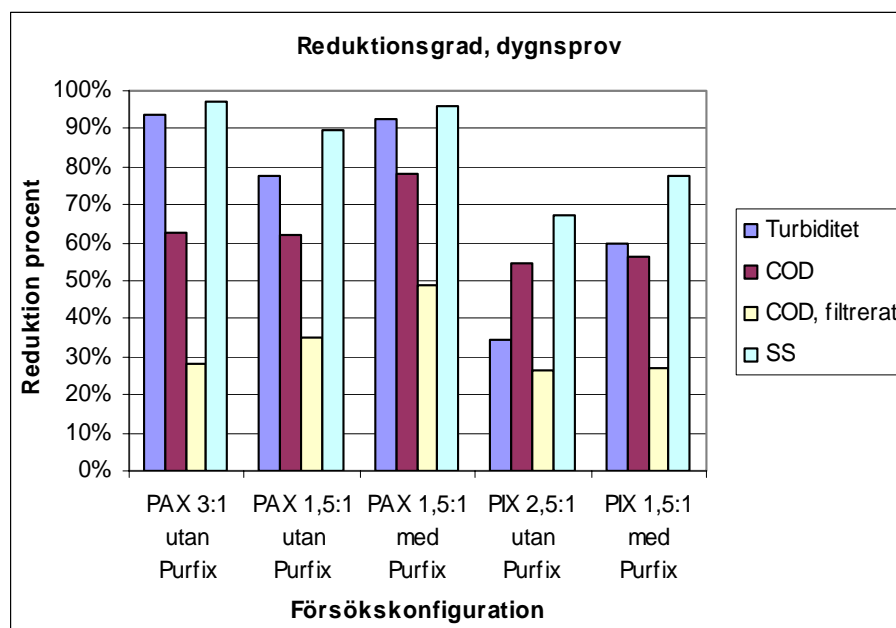
Dispersionsflöde fullskala	
Max	110%
Min	13%
Med	65%
St.av.	18%
Antal	244

Tabell 3. Dispersionsflöde för samtliga fullskaleförsöksdygn, timmedelvärden.

Dispersionsflöde RO	
Max	54%
Min	21%
Med	31%
St.av.	9%
Antal	26

Tabell 4. Dispersionsflöde under RO-körning, timmedelvärden.

## 4.2 Resultat från fullskaleförsök

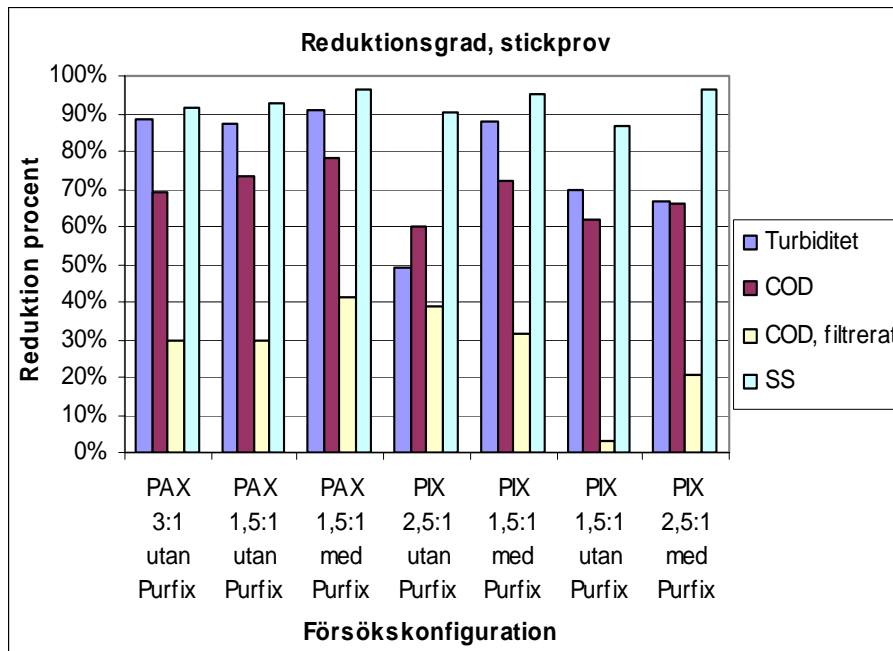


Figur 8. Reduktionsgrad i dygnsprov beräknat mot inkommande vatten för olika konfigurationer under fullskaleförsöken.

Provtagaren som användes för insamlandet av dygnsprover upphörde att fungera under två av försöksdygnen varför två av konfigurationerna ej finns redovisade i diagrammet. Två av konfigurationerna hade inte testats i laboratorieskala, men ansågs ändå intressanta att prova eftersom Purfix 120 helt utslöts. Idén var att det i laboratorieskala var svårt att tillsätta dispersionsvatten på det sätt som det tillsätts i fullskala, kontinuerligt. Det ansågs därför möjligt att partiklarna skulle flota likt det var tänkt med en jämn inströmning av dispersionsvatten och inte satsvis som i laborieförsöken. Ett dygn testades 3:1

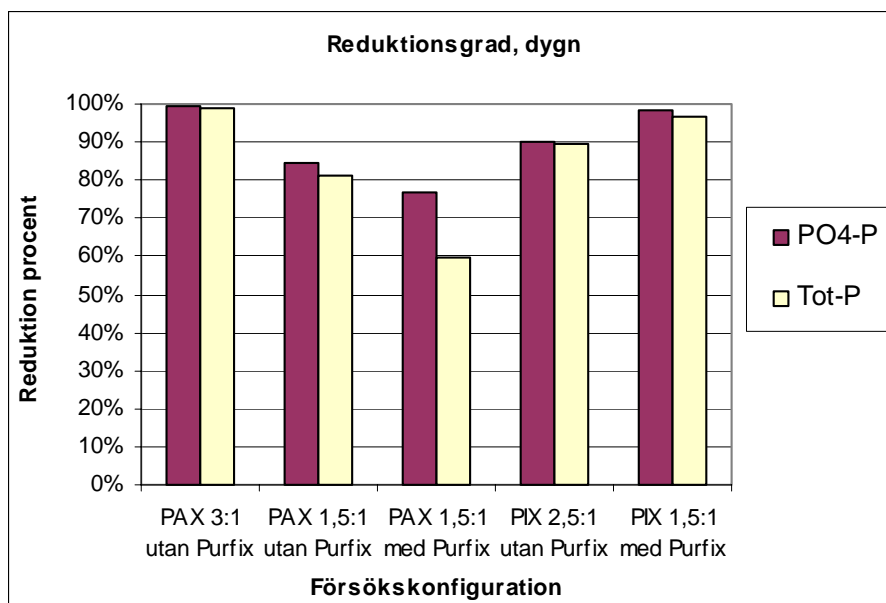


molförhållande med PAX, som redan är polymeriserad, då erhöles reduktion av SS och turbiditet i paritet med den som molförhållande 1,5:1 med 5g/m<sup>3</sup> Purfix 120 gav. Dessutom blev PO<sub>4</sub>-P och Tot-P reduktionen i detta fall hög. Analyser för inkommande och utgående vatten finns i Bilaga 2. Den andra konfigurationen som testades var PIX 1,5:1 utan Purfix 120 och med 0,25 g/m<sup>3</sup> SNF Nordfloc C-192.

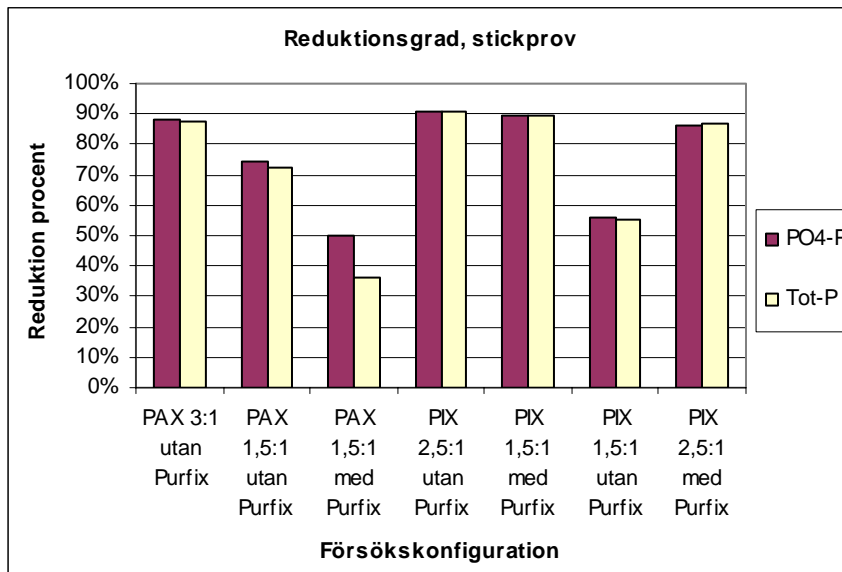


Figur 9. Reduktionsgrad i stickprov för olika konfigurationer beräknat mot inkommande vatten under fullskaleförsöken.

Alla konfigurationer visade god SS-reducerande förmåga, dock var reduktionen av löst COD i regel dålig vid användande av PIX. Att SS reduktionen var hög, men att majoriteten av den lösta COD:n finns kvar tyder på att PIX har svårt att fälla ut de allra minsta partiklarna. Den enda konfiguration som inte nådde över 90% reduktion av SS var låg dos PIX-111 utan Purfix 120.



Figur 10. Reduktionsgraden i dygnsprov gällande fosfor för olika konfigurationer beräknat mot inkommande vatten under fullskaleförsöken.



Figur 11. Reduktionsgraden i stickprov gällande fosfor för olika konfigurationer beräknat mot inkommande vatten under fullskaleförsöken.

#### 4.2.1 Järnanalyser

När PIX-111 användes i fullskaleförsöken så gjordes analyser för järn(II), järn(III) och totalt järn i inkommande och utgående vatten. Analyserna gjordes som en indikation på om det doserades för mycket PIX-111 vid låga utgående SS-halter. Nu var  $SS_{ut}$  ganska hög för samtliga försök med PIX-111 så järnanalyserna blev i viss mån överflödiga.

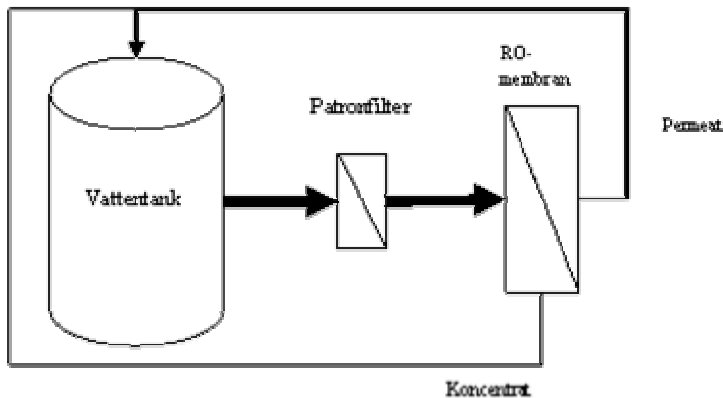
Försök	Inkommande, dygn			Utgående, dygn		
	Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	Fe-tot	Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	Fe-tot
1,5:1, 7g LM, 0,25 g HM	0,645	0,097	0,742	0,327	1,8	2,127
1,5:1, 0,25 g HM	0,397	0,002	0,399	0,366	0,411	0,777
2,5:1, 7g LM, 0,25 g HM	0,519	0,108	0,627	0,419	1,03	1,449
2,5:1, 0,25 g HM	0,849		0,849	0,524	1,97	2,494

Tabell 4. Järnanalyser på inkommande och utgående vatten från flotation under försök i fullskala med PIX-111.

#### 4.2.2 Urval till RO-körning

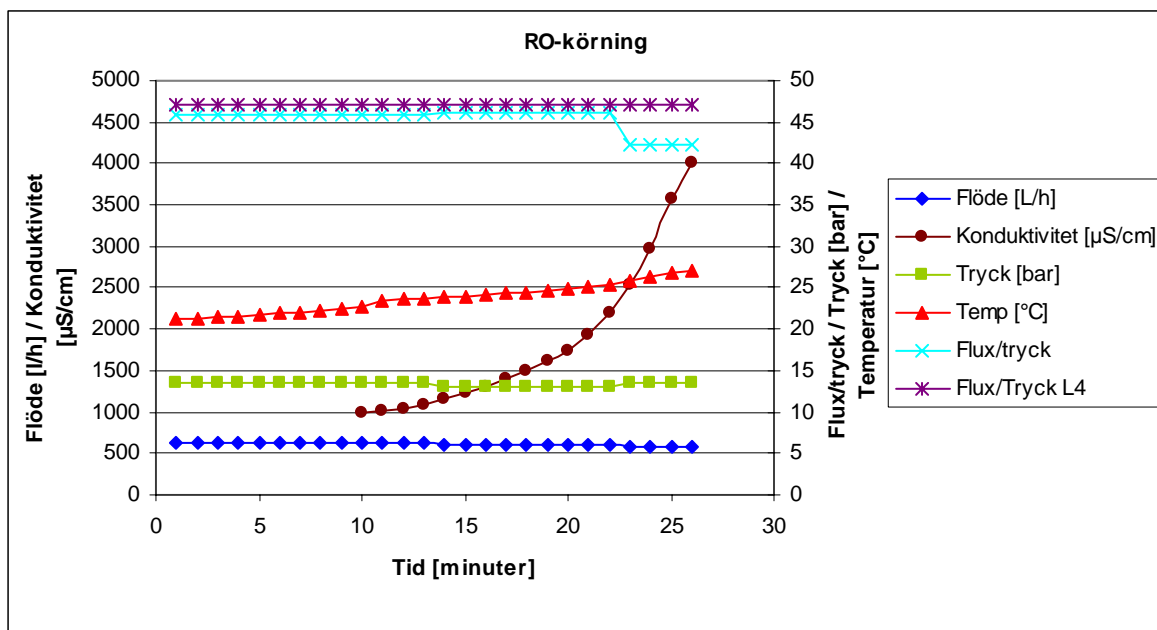
Vid val av konfiguration som fick gå vidare till försök i lågtrycks-RO togs förutom SS och  $COD_{tot}$  reduktion även fosforreduktionen i beaktande. En allt för hög reduktion var just i detta fall inte önskvärt. Anledningen till att en hög fosforreduktion inte är önskligt är för att tillvaratagandet av fosfor är av intresse vid en RO-filtrering för att kunna skapa en näringsrik produkt.

## 5 RO-försök



Figur 12. *Schema över RO-process.*

Det gjordes två tester med RO-körning, båda på samma kemikaliekonfiguration. Försöken gjordes i lågtrycksdel, dvs. trycket blir aldrig högre än 20 bar. Membranen i RO-enheten är av typen ESPA (Energy-Saving Polyamide), vilket är en typ av membran för lågtrycksfiltrering. De ska enligt specifikationer garantera  $<20\mu\text{S}/\text{cm}$  i permeatet (www, HOH). Membranstacken har måtten  $580*580*1600$  mm och porstorlek på  $0,45\mu\text{m}$ . Enligt tillverkaren ska denna modell (HOH 1920/1940) kunna filtrera 600-1000 l/h. I likhet med övriga RO-körningar på Sjöstadsverket så pH-justerades vattnet till 6 innan körning. I första RO-försöket pH-justerades utgående vatten med en blandning av fosfor- och salpetersyra. Inga analyser på koncentrat och permeat genomfördes vid detta försök. Vid det andra försöket hade utgående vatten från flotation pH 7,71. För att justera pH användes 98 % -ig svavelsyra som späts fyra gånger. Den valdes på grund av att RO-körningarna på L4 också pH-justerade med svavelsyra vid tidpunkten och förutsättningarna då blev så identiska som möjligt. pH-justeringen görs för att förhindra utfällningar på membranerna och därigenom orsaka igensättning. De första 10 minuterna kördes precis som processbilden i figur 12 visar, under uppkoncentreringen så cirkulerades permeatet inte längre utan endast koncentratet. I Bilaga 3 redovisas värden för konduktivitet, temperatur, tryck och flöde under hela körningen.



Figur 13. Mätresultat från RO-körning, uppkoncentrering påbörjad efter 10 minuters drift. Flödet och trycket från körningen med vattnet ut från flotationen jämfördes med vatten utgående från linje 4. Flödet var drygt 200 liter/h mer med linje 4 vatten och trycket ca 5 bar högre.

### 5.1 Uppkoncentrering

Efter att ha provkört RO:n med recirkulation av både koncentrat och permeat under 10 minuter så fortsatte testet med uppkoncentrering. I detta skede recirkulerar man koncentratet medan permeatet körs ut ur systemet. Konduktiviteten ger en bra bild av hur stor uppkoncentreringen blir. En ökning av konduktiviteten med 100% innebär en halvering av volymen, följaktligen en dubblering av koncentrationen.

I fullskala är tanken att den omvända osmosen ska köras i två steg. Först med en lågtrycksdel där näringsämnena koncentreras 4-5 gånger, för att sedan vidare behandlas i en högtrycksdel för vidare koncentrering upp till 50-60 gånger.

Tabell 5. Inkommande värden till RO-körning. Värden i mg/l

	Inkommande flotation	Utgående flotation	Reduktion
PO4-P	6,12	1,2	80,4%
Tot-P	6,53	1,47	77,5%
SS	254	5	98,0%
SS, dygn	246	2,7	98,9%

Tabell 6. Mätvärden för permeat utgående vid slutet av RO-körningen. Värden i mg/l.

	Utgående flotation/In RO	Koncentrat	Permeat
PO4-P	1,2	8,1	-
Tot-P	1,47	8,55	-
NH4		146	2,86
NO3		3,51	0,434
Tot-N		309	11,1

## 6 Diskussion

### 6.1 Kemikaliekonfiguration

Att undvika polymerrester i utgående vatten är viktigt då det kan leda till igensättning av membranerna i RO-steget. Överdoserings av framför allt polymererna är därför viktigt att förhindra. Noterbart är att Purfix 120 visade sig ha inverkan på reduktionen av COD, i och med avsaknaden av ett biosteg i denna process är det intressant att reducera COD i mesta möjliga mån. I samtliga försök med Purfix 120 steg COD-reduktionen med 4-16 % än utan. Vid hög dosering (3:1 Me:P) av PAX-XL36 försvann nästan all fosfor ur vattnet och det försvårar producerandet av vattnet som en tänkbar produkt, dock blir slammet i detta fall mer intressant ur näringsynpunkt. PIX-111 uppvisade dåliga egenskaper och bör därför undvikas, trots järnets positiva egenskaper vid en eventuell rötning. Filtrierbarheten i detta fall jämfört med halva dosen PAX med Purfix 120, var den dubbla vid mätningar i Sjöstadslaboratoriet. pH-justeringen vid RO-körningarna kan göras med fosfor- och salpetersyra för att öka mängden fosfor och kväve i koncentratet.

Analysresultaten på reduktionen av COD<sub>löst</sub> motiverar användandet av PAX-XL36 framför PIX-111. Då det inte är någon efterföljande biologisk rening av vattnet är en hög reduktion av COD i utgående vatten högt prioriterat. COD:n är dessutom av intresse vid rötning av slammet. Detta var emellertid inte det enda som talade emot PIX-111. Järnkloriden var helt enkelt inte tillräckligt effektiv som fällningskemikalie. Över hela dygnet sett gick allt för mycket suspenderat material igenom processen och vidare till utgående vatten.

#### 6.1.1 Driftstörningar

Vid användande av PIX-111 så blev resultatet i fullskala inte motsvarande de som uppnåddes i laboratorieskala. Järnet reagerade med svavel i avloppsvattnet och den järnsulfid som bildades lade sig som ytbeläggning på större delen av insidan i anläggningen. Järnsulfiden bidrog till igensättning av utloppet från flotationstanken. Att stor del av den lösta COD:n finns kvar i vid användande av PIX-111, trots hög SS reduktion tyder på att PIX-111 inte reagerar så som det är tänkt vid tillsättandet och att det inte aggregerar partiklar i den grad det är önskvärt.

### 6.2 Lokalisering

Processen kan troligtvis användas vid anläggningar med särskilda krav på att recirkulera näringsämnen till jordbruket.

Då inga beräkningar av processkostnader genomförts går det inte att säga huruvida processen är hållbar rent ekonomiskt (kemikaliekostnader, utrustning m.m.) samt energi- och miljömässigt. Processen har dock fördelar:

- Den är kompakt.
- Koncentrat från RO.
- Ett slam med relativt högt fosforinnehåll och som kan rötas och bli till biogas för till exempel gasspisar och drift av fordon.

### 6.3 RO-försök

Det gjordes två körningar med RO:n, men det gjordes bara mätningar på en av dessa. Den första gjordes som ett test, med precis samma konfiguration, för att se om membranerna skulle sätta igen och att noggrannare studier då skulle bli överflödiga.

## **7 Slutsatser**

Som svar på frågeställningen; ”Går det att använda kemisk fällning och flotation som förbehandling till RO?” är svaret: Ja. Ingenting tydde under körningen på att membranerna skulle sätta igen. Flödet försämrades visserligen något under uppkoncentreringen, däremot ökade inte trycket.

### **7.1 Vidare studier**

Fortsatta testkörningar under längre perioder för att se hur processen fungerar under kontinuerlig drift bör göras för att undersöka om dessa resultat är tillfälliga. Dispersionsvattenmängden bör noggrannare kontrolleras för att närmare simulera ett troligt driftscenario. Att beräkna kostnader för driften av processen får anses som högtintressant då det är ett koncept med potential sett till produkter som kan tillverkas genom driften.

## Källor

Bengtsson, Jessica, *Förbehandling av kommunalt avloppsvatten före anaerob behandling*, examensarbete i ekosystemteknik, Avdelningen för Vattenförsörjnings- och avloppsteknik, Lund, juni 2003.

Harding, Mila, *Utvärdering av förfällning vid Sjöstadsverkets anaeroba UASB-linje*, examensarbete, Stockholms Miljöcenter, Stockholm, maj 2005

Karlsson, Jonas, *Optimering av trumfilter för behandling av avloppsvatten*, examensarbete i miljö- och vattenteknik, Uppsala, maj 2005.

Gillberg, Lars m.fl. *Konsten att rena vatten*, Kemira Kemwater, Helsingborg 2003

### Muntlig konversation och mailkontakt

Hellström, Daniel, Stockholm Vatten AB  
Bengtsson, Lars, Stockholm Vatten AB  
Karlsson, Jonas, Stockholm Vatten AB  
Olsson, Lars-Erik Anox Kaldnes, Lund.

### Internet

2006-05-22

[http://www.hammarbysjostad.se/miljo/pdf/bilaga\\_1.pdf](http://www.hammarbysjostad.se/miljo/pdf/bilaga_1.pdf)

2006-05-29

Produktdatablad PIX-111

<http://www.kemira.com/NR/rdonlyres/2F41C1B9-5AF4-4B74-9E12-4DA7AA92D65F/0/20060502PIX111.pdf>

2006-06-08

[http://www.hammarbysjostad.se/miljo/pdf/Hammarbymodellen\\_sve.pdf](http://www.hammarbysjostad.se/miljo/pdf/Hammarbymodellen_sve.pdf)

2006-06-28

[http://www.hoh.dk/DK\\_PDF/03\\_4\\_3\\_ro1900\\_DK.pdf](http://www.hoh.dk/DK_PDF/03_4_3_ro1900_DK.pdf)

## Bilaga 1

	Datum	Molförhållande	Purfix 120 (g/m3)	SNF 905 VHM (g/m3)	SNF Nordfloc C-1	Ink. PO4-P (mg/L)	Ink. Turbiditet	PO4-Put (mg/L)	PO4-P reduktion %	Turbiditet (NTU)	Turb. red. %	Filt. tid
PAX XL36	2006-04-04	1,0	7	0,125		6,21	246		100,00%	15	93,90%	
	2006-04-04	1,0	7	0,5		6,21	246		100,00%	19,3	92,15%	
	2006-04-04	1,5	7		0,5	6,21	246		100,00%	15,7	93,62%	
	2006-04-04	1,5	7	0,5		6,21	246		100,00%	15,8	93,58%	
PIX 111	2006-04-04	1,5	7	0,125		6,21	246		100,00%	27,5	88,82%	
	2006-04-04	1,5	7		0,5	6,21	246	0,954	84,64%	19,6	92,03%	70
	2006-04-04	1,5	7	0,125		6,21	246	0,239	96,15%	18,9	92,32%	85
	2006-04-04	1,5	7	0,5		6,21	246	0,767	87,65%	20,2	91,79%	15
	2006-04-04	2,0	7	0,125		6,21	246	0,961	84,52%	21,9	91,10%	10
	2006-04-04	2,0	7	0,5		6,21	246	0,931	85,01%	21,1	91,42%	20
	2006-04-05	1,5	7	0,25		7,18	274	2,46	65,74%	14,5	94,71%	10
	2006-04-05	1,5	7		0,25	7,18	274	2,45	65,88%	11,5	95,80%	7
	2006-04-05	1,5	5	0,25		7,18	274	2,4	66,57%	13,5	95,07%	10
	2006-04-05	2,0	5	0,5		7,18	274	1,51	78,97%	12,8	95,33%	10
	2006-04-05	2,0	5	0,25		7,18	274	1,63	77,30%	7,47	97,27%	10
	2006-04-05	2,0	7		0,25	7,18	274	0,116	98,38%	72,6	73,50%	13
	2006-04-05	2,0	7	0,25		7,18	274	0,194	97,30%	61,2	77,66%	9
	2006-04-05	1,5	5	0,5		7,18	274	1,16	83,84%	33,8	87,66%	13
	2006-04-05	1,5	5	0,25		7,18	274	1,28	82,17%	36,3	86,75%	16
	2006-04-05	1,5	5		0,25	7,18	274	0,939	86,92%	33,7	87,70%	14
	2006-04-11	1,0	5	0,25		8,74	288	2,9	66,82%	8,67	96,99%	25
	2006-04-11	1,5	5		0,25	8,74	288	1,85	78,83%	7,66	97,34%	12
	2006-04-11	1,5	5	0,25		8,74	288	1,8	79,41%	8,37	97,09%	30
	2006-04-11	1,5	7	0,25		8,74	288	0,283	96,76%	13,4	95,35%	12
	2006-04-11	1,5	7		0,25	8,74	288	0,295	96,62%	12,4	95,69%	12
	2006-04-11	1,5	5	0,25		8,74	288	0,39	95,54%	13,7	95,24%	18
	2006-04-11	2,0	5		0,25	8,74	288	0,042	99,52%	13,9	95,17%	13



## Bilaga 2

PIX-111 1,5:1 utan Purfix 120			
	Inkommande	Utgående	Reduktion
Turb. [FNU]	258	77,5	69,96%
Turb, dygn	264		
PO4-P [mg/L]	6,12	2,7	55,88%
PO4-P dygn [mg/L]	7,63		
Tot-P [mg/L]	6,53	2,9	55,59%
Tot-P dygn [mg/L]	8,52		
COD [mg/L]	595	228	61,68%
COD, dygn [mg/L]	565		
COD, filt [mg/L]	193	187	3,11%
COD, filt, dygn [mg/L]	281		
SS [mg/L]	272	37	86,40%
SS, dygn [mg/L]	250	80	68,00%
PIX-111 2,5:1 med Purfix 120			
	Inkommande	Utgående	Reduktion
Turb. [FNU]	200	67,2	66,40%
Turb, dygn			
PO4-P [mg/L]	6,06	0,848	86,01%
PO4-P dygn [mg/L]	7,53		
Tot-P [mg/L]	6,75	0,901	86,65%
Tot-P dygn [mg/L]	8,48		
COD [mg/L]	543	184	66,11%
COD, dygn [mg/L]	484		
COD, filt [mg/L]	215	171	20,47%
COD, filt, dygn [mg/L]	296		
SS [mg/L]	286	10	96,50%
SS, dygn [mg/L]	250		

PIX-111 1,5:1 med Purfix 120			
	Inkommande	Utgående	Reduktion
Turb. [FNU]	300	36,2	87,93%
Turb, dygn	288	116	59,72%
PO4-P [mg/L]	6,59	0,676	89,74%
PO4-P dygn [mg/L]	7,4	0,132	98,22%
Tot-P [mg/L]	7,32	0,784	89,29%
Tot-P dygn [mg/L]	8,58	0,293	96,59%
COD [mg/L]	674	189	71,96%
COD, dygn [mg/L]	689	300	56,46%
COD, filt [mg/L]	244	167	31,56%
COD, filt, dygn [mg/L]	309	226	26,86%
SS [mg/L]	254	12	95,28%
SS, dygn [mg/L]	252	56	77,78%
PIX-111 2,5:1 utan Purfix 120			
	Inkommande	Utgående	Reduktion
Turb. [FNU]	224	114	49,11%
Turb, dygn	222	145	34,68%
PO4-P [mg/L]	9,83	0,923	90,61%
PO4-P dygn [mg/L]	10,5	1,02	90,29%
Tot-P [mg/L]	10,9	1,02	90,64%
Tot-P dygn [mg/L]	11,6	1,19	89,74%
COD [mg/L]	718	289	59,75%
COD, dygn [mg/L]	710	322	54,65%
COD, filt [mg/L]	257	157	38,91%
COD, filt, dygn [mg/L]	335	246	26,57%
SS [mg/L]	222	21	90,54%
SS, dygn [mg/L]	190	62	67,37%

PAX-XL36 1,5:1 med Purfix 120			
	Inkommande	Utgående	Reduktion
Turb. [FNU]	302	26,8	91,13%
Turb, dygn	256	18,9	92,62%
PO4-P [mg/L]	6,67	3,34	49,93%
PO4-P dygn [mg/L]	7,63	1,76	76,93%
Tot-P [mg/L]	9,55	6,08	36,34%
Tot-P dygn [mg/L]	11,2	4,51	59,73%
COD [mg/L]	762	164	78,48%
COD, dygn [mg/L]	735	162	77,96%
COD, filt [mg/L]	258	151	41,47%
COD, filt, dygn [mg/L]	305	156	48,85%
SS [mg/L]	298	11	96,31%
SS, dygn [mg/L]	232	9	96,12%
PAX-XL36 3:1 utan Purfix 120			
	Inkommande	Utgående	Reduktion
Turb. [FNU]	239	27,6	88,45%
Turb, dygn	238	14,9	93,74%
PO4-P [mg/L]	5,85	0,686	88,27%
PO4-P dygn [mg/L]	7,69	0,044	99,43%
Tot-P [mg/L]	6,33	0,785	87,60%
Tot-P dygn [mg/L]	8,21	0,077	99,06%
COD [mg/L]	568	174	69,37%
COD, dygn [mg/L]	601	224	62,73%
COD, filt [mg/L]	220	154	30,00%
COD, filt, dygn [mg/L]	286	205	28,32%
SS [mg/L]	218	19	91,28%
SS, dygn [mg/L]	194	6	96,91%

PAX-XL36 1,5:1 utan Purfix 120			
	Inkommande	Utgående	Reduktion
Turb. [FNU]	268	33,4	87,54%
Turb, dygn	254	56,7	77,68%
PO4-P [mg/L]	6,93	1,78	74,31%
PO4-P dygn [mg/L]	8,03	1,24	84,56%
Tot-P [mg/L]	7,36	2,04	72,28%
Tot-P dygn [mg/L]	8,83	1,66	81,20%
COD [mg/L]	704	186	73,58%
COD, dygn [mg/L]	623	236	62,12%
COD, filt [mg/L]	233	164	29,61%
COD, filt, dygn [mg/L]	296	193	34,80%
SS [mg/L]	284	20	92,96%
SS, dygn [mg/L]	246	25	89,84%

## Bilaga 3

Analyser RO-körning					
Tid [min]	Flöde [L/h]	Tryck [bar]	Kond. [ $\mu$ S/cm]	pH	Temp [°C]
1	620	13,5		5,97	21,2
2	620	13,5		5,98	21,3
3	620	13,5		5,97	21,5
4	620	13,5		5,95	21,6
5	620	13,5		5,95	21,8
6	620	13,5		5,97	21,9
7	620	13,5		5,97	22,1
8	620	13,5		5,96	22,2
9	620	13,5		5,97	22,4
10	620	13,5		5,97	22,6
	Uppkoncentrering		996	5,95	23,2
11	620	13,5	1020	5,9	23,5
12	620	13,5	1041	5,9	23,6
13	620	13,5	1097	5,92	23,7
14	600	13	1162	5,95	23,8
15	600	13	1230	5,99	24
16	600	13	1308	5,97	24,2
17	600	13	1392	5,9	24,3
18	600	13	1495	5,85	24,5
19	600	13	1630	5,87	24,7
20	600	13	1750	5,91	24,9
21	600	13	1940	5,93	25,1
22	600	13	2190	5,93	25,4
23	570	13,5	2527	6	25,9
24	570	13,5	2970	5,84	26,3
25	570	13,5	3575	5,93	26,8
26	570	13,5	4000	5,99	27,1

## Lokalt reningsverk för Hammarby Sjöstad, etapp 1 – Projektpublikationer

- Nr 1 Förstudie av aerobera processer
- Nr 2 Förstudie av anaeroba processer
- Nr 3 Förstudie av membranteknik
- Nr 4 Informationsteknologi inom VA-sektorn
- Nr 5 Förstudie av mätstation för avloppsvatten
- Nr 6 Förutsättningar för biologisk fosforrening i avloppsvatten från Hammarby Sjöstad - en förstudie, examensarbete av Linus Dagerskog
- Nr 7 Förbehandling av kommunalt avloppsvatten före anaerob behandling, examensarbete av Jessica Bengtsson
- Nr 8 A new wastewater treatment plant for Hammarby Sjöstad  
Comparative study between four alternatives, examensarbete av Joost Paques
- Nr 9 Sammansättning på hushållspillvatten från Hammarby Sjöstad, examensarbete av Joel Magnusson
- Nr 10 Mikrosilning som förbehandlingsmetod av hushållsavloppsvatten, examensarbete av Fredrik Petterson
- Nr 11 Anaerob psykofil behandling av hushållsavloppsvatten i UASB, examensarbete av Frida Hesselgren
- Nr 12 Aeroba processer Delrapport 1 - Linje 1 Period 0 Henriksdalsprocess med Henriksdalsvatten, Berndt Björleinius, Peter Magnusson, Mats Ek
- Nr 13 Aeroba processer Delrapport 2 - Linje 1 Period 1 Henriksdalsprocess med Sjöstadsvatten, Berndt Björleinius, Peter Magnusson, Mats Ek
- Nr 14 Aeroba processer Delrapport 1 - Linje 2 Period 1 Funktionstest av utrustningen, Berndt Björleinius, Peter Magnusson, Mats Ek
- Nr 15 Teknisk broschyr om Hammarby Sjöstads reningsverk, Berndt Björleinius
- Nr 16 Förbättrad avskiljning med trumfilter av suspenderat material, examensarbete av Jonas Karlsson
- Nr 17 Hydrolys av primärslam för förbättrande av biologisk fosforreduktion vid behandling av hushållsavloppsvatten, examensarbete av Erik Elfving
- Nr 18 Återvinning av näringsämnen från hushållspillvatten med omvänd osmos, examensarbete av Kristina Blennow
- Nr 19 En undersökning av efterfällning i ett sandfilter, examensarbete av Anders Wester

Fortsättning innersidan



**STOCKHOLM VATTEN AB, 106 36 STOCKHOLM**  
**TELEFON 08-522 120 00 TELEFAX 08-522 120 02**  
**E-POST: [stockholm.vatten@stockholmvatten.se](mailto:stockholm.vatten@stockholmvatten.se)**  
**[www.stockholmvatten.se](http://www.stockholmvatten.se)**  
**BESÖKSADRESS: Torsgatan 26**

- Nr 20 **Utvärdering av anaerob behandling av hushållspillvatten och tekniker för efterbehandling, examensarbete av Catharina Gannholm**
- Nr 21 **Avloppsvattenrening i anaerob membranbioreaktor med VSEP-enhet, examensarbete av Andreas Carlsson**
- Nr 22 **Avloppsvattenbehandling med anaerob membranbioreaktor – En jämförande systemanalys avseende exergi, miljöpåverkan samt återföring av närsalter, examensarbete av Cecilia Hessel**
- Nr 23 **Utvärdering av förfällning vid Sjöstadsverkets anaeroba UASB-linje, examensarbete av Mila Harding**
- Nr 24 **Utvärdering av fluidiserad bädd – kartläggning av orsaker till sandflykt, projektarbete av Jonas Karlsson**
- Nr 25 **Behandling av svartvatten och matavfall med anaerob membranbioreaktor och omvänd osmos, examensarbete av Karoline Andersson och Marie Castor**
- Nr 26 **Hammarby Sjöstads reningsverk - en praktikrapport, praktikarbete av Mila Harding**
- Nr 27 **Investigation of sludge treatment. Report from sludge line 2, projektarbete av Luiza Gut**
- Nr 28 **Rent avlopp. Hammarby Sjöstad. En studie om avloppsvattnet från den miljöinriktade stadsdelen Hammarby Sjöstad och om information kan påverka hushållens bidrag av främmande ämnen till avloppet, Karin Lindh**
- Nr 29 **Rening av avloppsvatten med anaerob membranbioreaktor och omvänd osmos. Wastewater treatment with anaerobic membrane bioreactor and reverse osmosis, examensarbete av Jonas Grundestam**
- Nr 30 **Utvärdering av behandling av hushållspillvatten med anaeroba reaktorer (UASB) och omvänd osmos för närsaltåtervinning och höggradig rening, examensarbete av Jessica Jansson**
- Nr 31 **Methane Dissolved in Wastewater Exiting UASB Reactors: Concentration Measurement and Methods for Neutralisation. Metan löst i avloppsvatten utgående från UASB-reaktorer: Koncentrationsmätning och metoder för neutralisering, examensarbete av Nils Brown**
- Nr 32 **Environmental Systems Analysis of New Developing Wastewater Treatment. Local Solutions in Transition Areas, examensarbete av Henrik Löfqvist**
- Nr 33 **Återvinning av fosfor från avloppsvatten som behandlas med biologisk fosforrening: En studie i att fälla ut struvit ur rejektivatten från rötat bio-P-slam, examensarbete av David Heldt**
- Nr 34 **A reverse osmosis (RO) plant for sewage treatment and nutrient recovery - the influence of pre-treatment methods, examensarbete av Anna Kieniewicz**
- Nr 35 **A rotary drum filter as pre-treatment for a membrane bioreactor - operation, evaluation and optimization, examensarbete av Katarzyna Karczewska**
- Nr 36 **Analys av system för rening av avloppsvatten i en anaerob membranbioreaktor. Analysis of systems for treatment of wastewater in an anaerobic membrane bioreactor, examensarbete av Tove Sundberg**
- Nr 37 **Kemisk fällning och flockning av avloppsvatten med flotation som förbehandling till omvänd osmos, examensarbete av Erik Larsson**