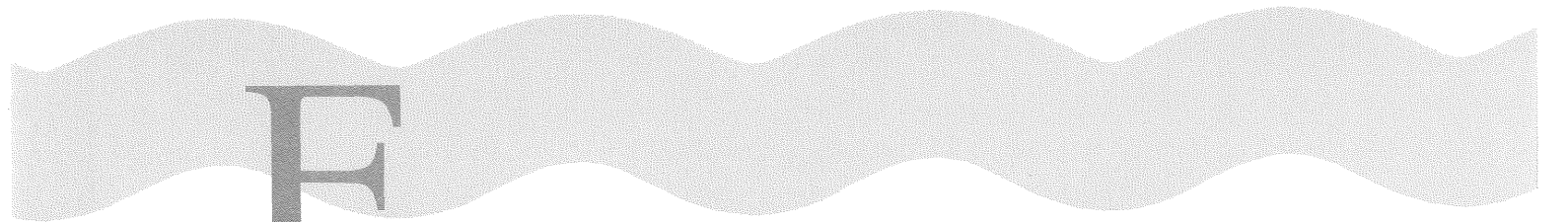




CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Institutionen för Vattenförsörjnings- och Avloppsteknik

A wide, light grey wavy line with three distinct humps, spanning the width of the page.

# E

XAMENSARBETE

## Optimering av avloppsvattenrening vid BIM Kemi

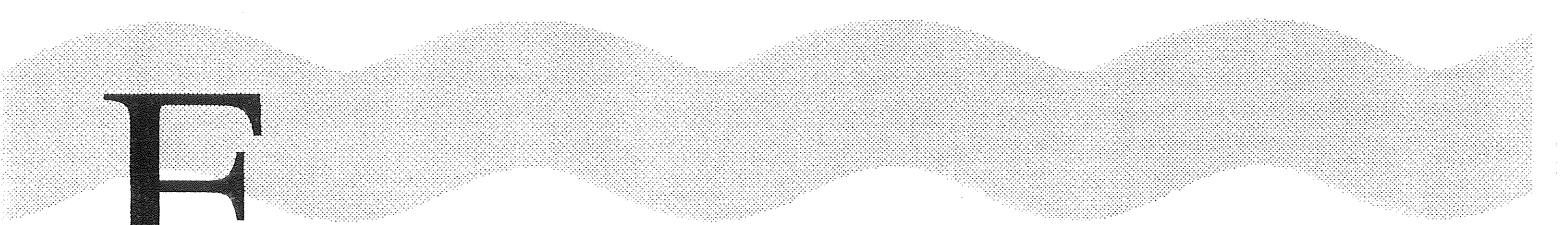
MARCUS FABIANSOON OCH CAMILLA NORBERG

Examensarbete 1995:3



CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Institutionen för vattenförsörjnings- och avloppsteknik  
412 96 GÖTEBORG  
Tel 031 - 772 10 00

Nyckelord: **industriell vattenrening**  
**dispersions destabilisering**  
**papperskemikalier**  
**wax**  
**sedimentationsanläggning**

A decorative wavy line graphic spanning the width of the page, positioned above the title.

# **E**XAMENSARBETE

Optimering av avloppsvattenrening vid BIM kemi

MARCUS FABIANSOON OCH CAMILLA NORBERG

Examensarbete 1995:3

## FÖRORD

Detta examensarbete grundar sig på mycket praktik. Efter en omfattande litteratursökning fann vi att lite arbete har gjorts som direkt kunde tillämpas i vårt arbete. Bland annat saknas forskning kring destabilisering av högkoncentrerade dispersioner. För att förstå de mekanismer som styr reningen av ett sådant vatten krävs studier inom flera områden, från emulsionsteori och polymervetenskap till ren teknisk vattenbehandlingsteknik. Trots en grundläggande förståelse av avloppsvattnets egenskaper fann vi att i praktiken var allt mycket mer komplicerat än i teorin. En stor del av vårt arbete bygger därför på "trial and error".

Vi vill tacka alla som hjälpte oss att dra rätt slutsatser om våra bitvis underliga resultat: Evy Axén och Gabriella Kaffehr som hjälpte oss med all utrustning och sedan tålmodigt såg på medan vi smutsade ner den med BIMs tillsynes oborttagbara klistervatten. All BIM Kemis personal i produktionen och på laboratoriet som hjälpte oss reda ut diverse avloppsvattenmysterier. Speciellt vill vi tacka Jonny Helm och Mikael Lindén.

Mest av allt vill vi tacka Torsten Hedberg, vår examinator, Mikael Alfridsson, handledare på BIM Kemi och Kjell Abrahamsson som tålmodigt stod ut med alla våra frågor. Till sist vill vi tacka Enn Päärt för att vi fick utföra detta intressanta examensarbete.

## SAMMANFATTNING

Under senare år har myndigheterna skärpt kraven på industrins utsläpp. Fler och fler företag har fått installera egna anläggningar för omhändertagande av luft- och vattenföroreningar. BIM Kemi i Stenkullen blev i början av 1994 ålagd av Koncessionsnämnden för miljöskydd att senast den 1 november 1994 ha ett avloppsvattenreningsverk installerat och i drift. BIM anlät då Recoverent, en firma som specialiserat sig på att bygga mindre reningsverk. Recoverent konstruerade och installerade en genomströmningsanläggning med kemisk fällning och lamellsedimentering. Det är optimeringen av denna anläggning som beskrivs i denna rapport.

BIMs avloppsvatten består av produktrester från rengöring av produktionskärl och transporttankar. Den största mängden föroreningar är vaxdispersioner, men även tensider och andra ämnesgrupper förekommer. Avloppsvattnet utgör ett komplicerat kemikaliesystem. Det innehåller höga halter föroreningar och varierar i sammansättning vilket gör det svårt att bestämma ett enhetligt system för rening.

Efter att flera problem med driften av anläggningen var lösta fungerar reningsprocessen tillfredställande. Ett av de största problemen var en kraftig luftinblandning. Små luftbubblor bildades då i vattnet som floterade flockarna och hindrade dem från att sedimentera. Trots att detta problem är löst krävs en mycket hög kemikalietillsats för att uppnå en stabil rening. Då laddningen varierar från katjonisk till anjonisk i flockningsbassängen måste flockningshjälpmedlet anpassas efter omständigheterna.

## SUMMARY

The environmental authorities have steadily increased their demands on companies to reduce their own industrial air and water pollution. BIM Kemi in Stenkullen was in the beginning of 1994 ordered by The National Licensing Board for Environmental Protection to have an industrial wastewater treatment plant installed and running by the first of November 1994. BIM then employed Recoverent, a company specializing in building smaller wastewater treatment plants. Recoverent constructed and installed a wastewater plant based on the principle of chemical precipitation with lamella sedimentation. It is the optimization of this plant that is described in this report.

BIMs wastewater contains diluted products from the cleaning of production reactors and transport containers. The effluents are mostly dispersions of waxes, but also include surfactants and other substances. The wastewater is a complicated chemical system. It contains high concentrations of effluents and varies in composition which makes it hard to recommend a uniform method for treatment.

After several problems with operating the plant were solved, the treatment process worked well. One of the biggest problems was that air was being churned into the water. Small air bubbles in the water were then caught in the flocks and hindered them from sedimentation. Although this problem was solved huge amounts of chemicals are needed to maintain a stable treatment process. The particle charge varies in the flocculation basin which also means that the flocculation agent has to be customized to suit the wastewater quality.

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

|                                                                                  |           |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Inledning.....</b>                                                            | <b>1</b>  |
| Beskrivning av examensarbetet.....                                               | 2         |
| Skillnader mellan BIM Kemis reningsanläggning<br>och en kommunal anläggning..... | 2         |
| <b>Reningsprocessen.....</b>                                                     | <b>3</b>  |
| Beskrivning av reningsanläggningen.....                                          | 4         |
| Kemikaliesystemet.....                                                           | 7         |
| <b>Laborationer.....</b>                                                         | <b>9</b>  |
| Planering av laborationer.....                                                   | 10        |
| Utformning av försök.....                                                        | 12        |
| Genomförande av försök.....                                                      | 13        |
| Undersökning av polymer.....                                                     | 16        |
| Vilket ämne försämrade reningsresultatet mest ?.....                             | 16        |
| Inverkan av fällningshjälpmedel.....                                             | 17        |
| Bimex inverkan.....                                                              | 17        |
| Är bimex det enda ämnet som försämrar vattenreningen.....                        | 17        |
| Undersökning av blandning .....                                                  | 18        |
| Undersökning av renat avloppsvatten från laborationer.....                       | 18        |
| <b>Resultat från laborationer.....</b>                                           | <b>20</b> |
| Sammanfattning av laborationsresultaten.....                                     | 25        |
| Felkällor.....                                                                   | 26        |
| <b>Fullskaleförsök.....</b>                                                      | <b>27</b> |
| Optimering av reningsanläggning i fullskala.....                                 | 27        |
| Slutsatser av optimering i fullskala.....                                        | 32        |
| <b>Kemikaliehantering.....</b>                                                   | <b>34</b> |
| <b>Synpunkter på reningsanläggningen.....</b>                                    | <b>36</b> |
| Tidigare forskning på avloppsvatten med parafinemulsioner.....                   | 38        |
| <b>Kostnadsuppskattning.....</b>                                                 | <b>39</b> |
| <b>Referenser.....</b>                                                           | <b>41</b> |
| <b>Bilagaor</b>                                                                  |           |
| Bilaga 1-9                                                                       |           |
| Ritning på reningsanläggningen                                                   |           |

## INLEDNING

BIM Kemi AB är ett företag som huvudsakligen utvecklar, tillverkar och marknadsför pappersmassa- och vattenkemikalier. Företaget bildades 1973 och har ca 75 anställda. Verksamheten bedrivs huvudsakligen i Stenkullen som ligger cirka två mil öster om Göteborg. De produkter som BIM Kemi producerar består i huvudsak av mer eller mindre kemiskt aktiva dispersioner.

För närvarande tillverkas ca 15 000 ton produkt per år i ett antal reaktorer. Rengöring av dessa reaktorer är viktigt för att få en bra produkt. Ett problem är dock att det processavloppsvatten som släpps ut innehåller partiklar, som orsakar beläggningar i rörsystemet till kommunens reningsverk. Detta har lett till att koncessionsnämnden för miljöskydd har ställt vissa krav på avloppsvattnet från BIM Kemi.

Koncessionsnämnden beslutade den 12 januari 1994 bland annat att BIM Kemi senast den 1 november 1994 skulle ha installerat en reningsanläggning. Reningseffekten i denna med avseende på suspenderade ämnen skall vara mer än 80 %. Avloppsvattnets pH skall som riktvärde ligga mellan 6,5 och 10 och halten mineralolja får som riktvärde högst vara 50 mg/l.

Det bestämdes också att vatten från rengöring av returemballage skall tas om hand i reningsanläggningen. Dagvatten som förorenats av produkter eller råvaror skall också kunna ledas till anläggningen och renas. Det skall också installeras en flödesmätare och en flödesproportionell vattenprovtagare för mätning av det utgående avloppsvattnet.

För att tillgodose de krav som koncessionsnämnden ställt införskaffades en sedimentationsanläggning från Recoverent AB. För att ytterligare få bukt med avloppsreningsproblemet inrättades ett antal examensarbeten från Chalmers Tekniska Högskola, varav ett blev att optimera den reningsanläggning som Recoverent AB levererat och att få den så effektiv som möjligt. Det är på så sätt som detta examensarbete uppstått.

## BESKRIVNING AV EXAMENSARBETET

Målsättningen med examensarbetet var att optimera reningsanläggningen. Detta skulle ske genom teoretiska och praktiska studier av sedimentering, fällningskemi/ fällningskemikalier, flockningskemikalier, mekaniska enhetsoperationer inom kemisk vattenbehandling och analysmetoder för karakterisering av avloppsvatten.

Efter att ha undersökt och bekantat oss med BIM Kemi och deras avloppsvatten gjordes en uppdelning av examensarbetet i tre faser. Den första fasen bestod i att finna litteratur som behandlade den teori som kunde vara aktuell. Exempel på fördjupningsämnen var: fällningskemi, vaxdispersioner och destabilisering av dessa, tensider, polymerer samt vid vilka förhållanden de kemikalier som används vid reningen fungerar bäst.

Efter att ha sökt information och funnit svar på de flesta av frågorna inleddes fas två. Denna fas av examensarbetet var att i laboratorieskala undersöka hur reningseffektiviteten av ämnena i avloppsvattnet varierade då man ändrade koncentrationer av dels föroreningar och dels reningskemikalier. Olika fällning- och flockningskemikalier prövades för att få fram det effektivaste reningssystemet.

Fas tre var försök i fullskala, där man på den befintliga anläggningen från Recoverent varierade ett antal parametrar, till exempel kemikaliemängd och omrörningshastighet, för att få bästa reningsresultat. Efter att ha arbetat med reningsanläggningen i fullskala och kommit fram till vilken mängd kemikalier som erfordras, gjordes en kostnadskalkyl.

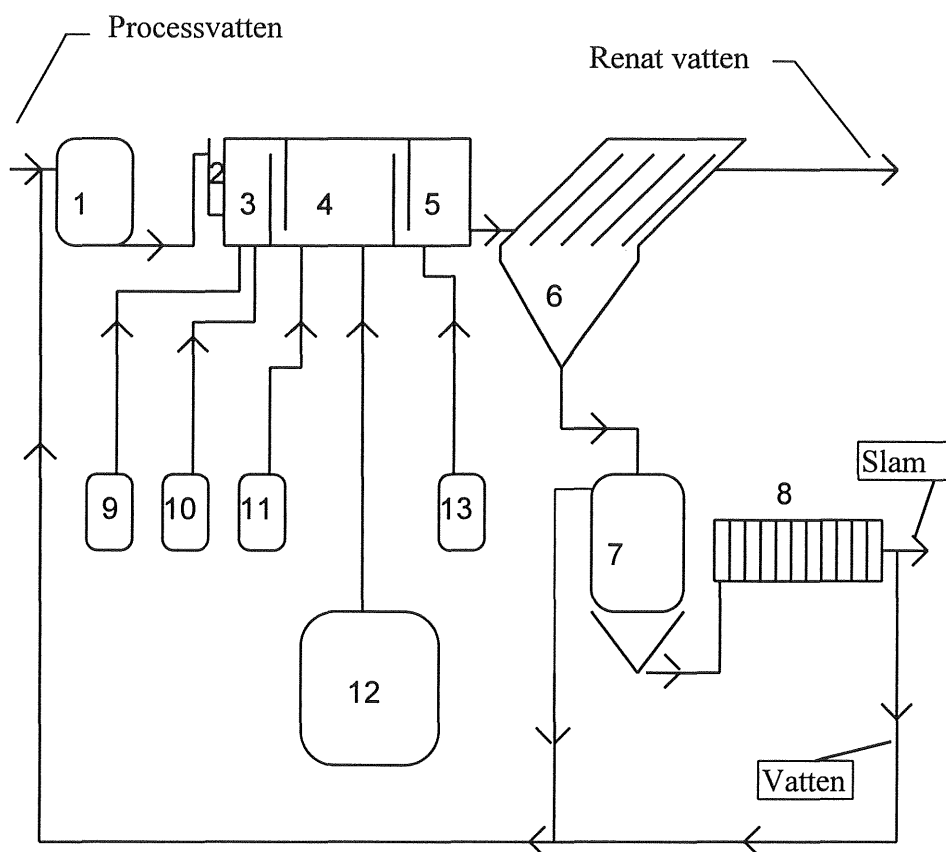
## SKILLNADER MELLAN BIMS RENINGSANLÄGGNING OCH EN KOMMUNAL ANLÄGGNING.

Något som försvårar arbetet med reningsanläggningen på BIM Kemi är att den i ett flertal avseenden skiljer sig från konventionella kommunala reningsverk och erfarenhet med liknande reningsoperationer är ovanlig. Stora kommunala reningsverk renar många olika ämnen, men i låga koncentrationer och har i huvudsak liknande avloppsvatten varje dag. I BIM Kemis anläggning renas ett fåtal ämnen i mycket hög koncentration och med mycket varierande sammansättning.

Något som är viktigt att ha i åtanke är att BIMs renade avloppsvatten inte släpps direkt ut i naturen. Efter reningen släpps vattnet ut i det kommunala avloppsnätet och renas sedan en gång till i Lerums kommunala reningsverk. Detta gör att reningskraven ej behöver vara lika höga som de är hos reningsverk i kommunal regi.

# RENINGSPROCESSEN

## FLÖDESSCHEMA

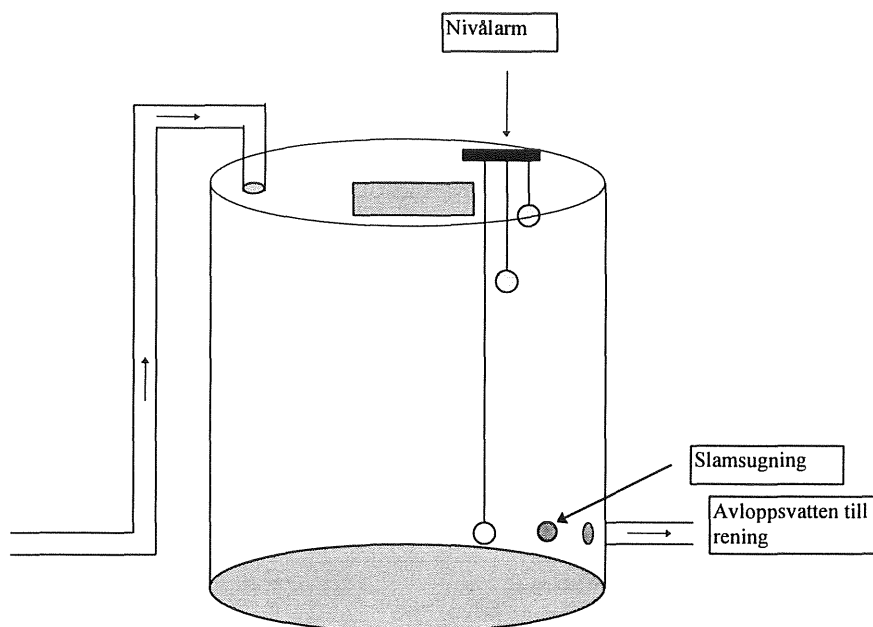


Figur 7: Flödesschema på reningsanläggningen

1. Bufferttank
2. Skimmer
3. Normalisering (Dispersionsdestabilisering)
4. Neutralisering (Koagulering)
5. Flockning
6. Lamellsedimentering
7. Slamförtjockare
8. Kammarfilterpress
9. Järnkloridlösning
10. Svavelsyra
11. Fällningshjälpmedel
12. Släckt kalk
13. Polymer

## BESKRIVNING AV RENINGSANLÄGGNINGEN

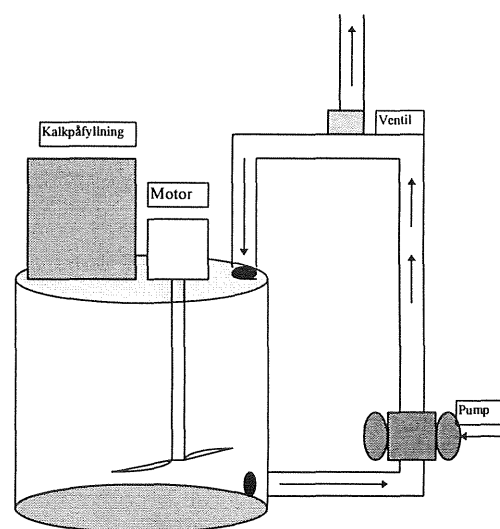
Reningsanläggningen består av ett flertal olika enheter. Dessa är på olika sätt sammankopplade med plaströr och pumpar. Varje separat del bidrar på olika sätt till rening eller förvaring av avloppsvatten. Anläggningen dimensionerades för att rena totalt  $20 \text{ m}^3$  per dygn vilket motsvarar ett föde på  $2.5 \text{ m}^3$ .



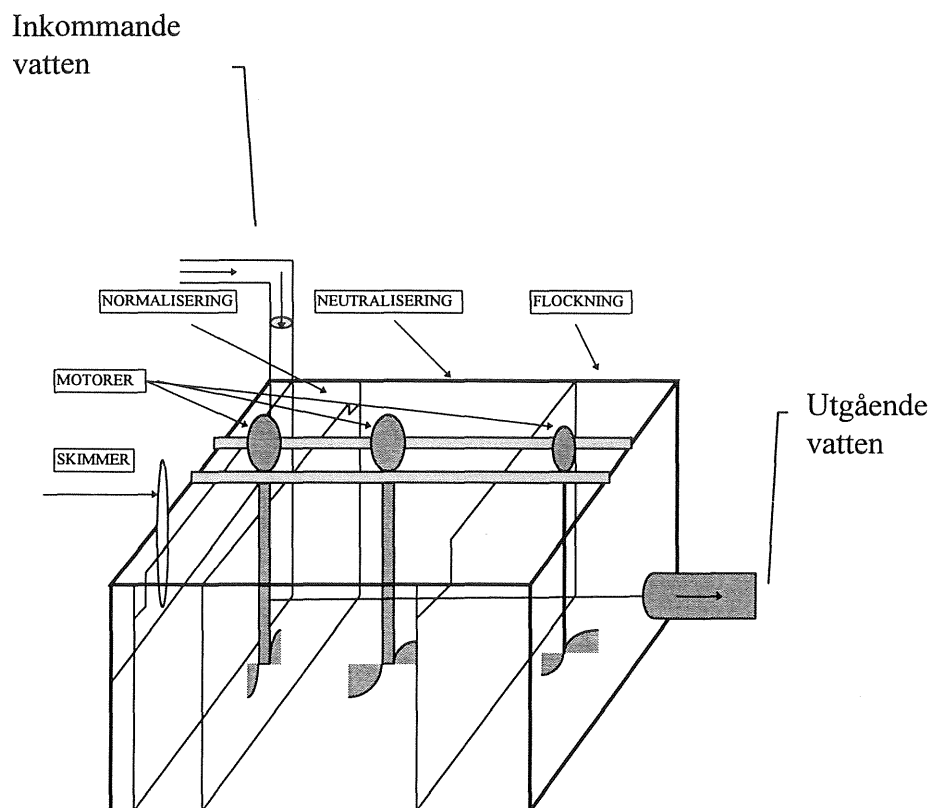
Figur 1: Bild på hur bufferttanken ser ut

Bufferttanken är en stor tank på  $20 \text{ m}^3$  dit avloppsvattnet leds från fabriken. Det finns ett nivåalarm som ger en signal när tanken är tom, full och överfull. Det finns också ett rektangulärt hål på tankens ovansida för inspektion och slamsugning.

Kalkmjölkbehållaren består av en  $1 \text{ m}^3$  stor cylindrisk plasttank. Det finns en motor på tankens ovansida som driver runt en propeller. Detta görs för att röra om kalkmjölken och på så sätt förhindra att all kalk sjunker ner till botten. En pump driver runt kalkmjölken i ett rör, från botten av tanken genom röret som mynnar ut i toppen av tanken. I toppen på röret sitter en ventil som doserar kalkmjölk. Ventilen öppnar sig automatiskt då pH blir för lågt i neutraliseringssteget. Ett stort plåtskydd samt en plastgardin finns vid kalkdoseringen för att skydda den som hanterar kalken från kalkdamm.

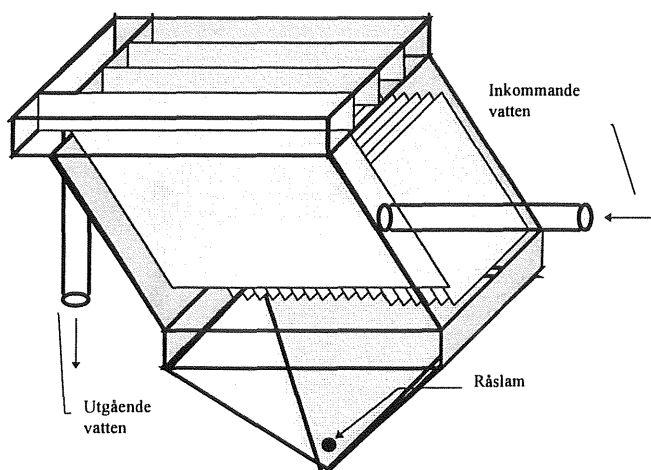


Figur 2: Bild på kalkomblandaren



Figur 3: Bild på normaliserings-, neutraliserings- och flockningssteget

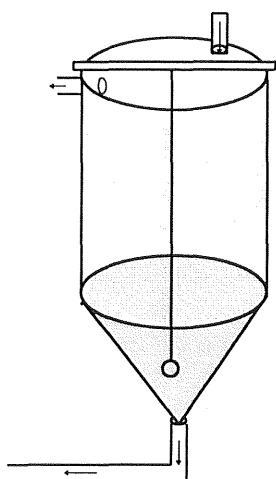
För att bilda flockar har man delat in en stor bassäng i mindre delar. Det orenade vattnet leds först in i en smal kanal för att passera en skimmer där fetter och oljor separeras från resten av vattnet. Därefter leds vattnet till normaliseringen. Detta är en ca  $1 \text{ m}^3$  stor bassäng där pH sänks med 37%-ig svavelsyra. Som flockningsmedel tillsätts 72%-ig järnklorid. Allt blandas sedan under kraftig omrörning. Efter detta kommer vattnet till neutraliseringssteget, en ca  $2 \text{ m}^3$  bassäng i vilken pH höjs med hjälp av kalkmjölk tillsats för att åstadkomma koagulering av finpartiklar. Blandningen sker också här under mycket kraftig omrörning. I den sista bassängen tillsätts en polymer för att stabilisera flockarna. Denna del kallas för flockningsbassängen och blandningen sker här försiktigt för att flockar som bildas ej skall slås sönder. Dock måste viss energi i form av omrörning tillsättas så att flockarna bildas. Efter denna del leds vattnet ut i ett stort rör till sedimentationsbassängen.



Figur 4 : lamellsedimenteringsbassängen.

lamellsedimentorn medan flockarna sjunker ner i en konisk botten och bildar ett slam. Längst ner finns en öppning där slammet pumpas vidare till en slamförtjockningsbassäng.

Separering av flockar från vatten sker med lamellsedimentering. Detta är en bassäng på cirka  $2 \text{ m}^3$  med ett flertal lameller som ökar den aktiva ytan där flockarna sedimenterar och bildar slam. Det flockrika vattnet kommer först in i en bassäng utan lameller. Därefter strömmar vattnet ner och in under lamellerna för att sedan ledas genom lamellerna på vilka flockarna sedimenterar. Det rena vattnet fortsätter upp och ut från toppen på

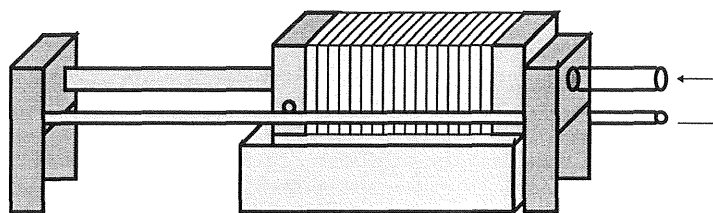


Figur 5: Bild på slamförtjockaren

Slamförtjockaren är en cylinderformad bassäng med konisk botten där slammet från lamellsedimenteringen samlas. Det finns en nivåbrytare i botten som sätter igång en pump från slamförtjockaren till filterpressen så fort nivån överstiger ca 30 cm. Om nivån i bassängen skulle bli för hög finns det längst upp ett avrinningsrör som leder tillbaka vattnet till pumpgropen.

Från slamförtjockaren leds slammet in till filterpressen. Här pressas vattnet genom ihåliga plattor som är klädda med filterduk.

Vattnet pressas igenom filterduken och in i lådorna medan slammet stannar mellan lådorna. Från varje ihålig låda finns ett litet rör i vilket det rena vattnet rinner ut och leds tillbaka till pumpgropen.



Figur 6: Kammarfilterpressen

## KEMIKALIESYSTEMET

I konventionell avloppsvattenrening behandlas vatten som till största del kommer från hushållen. Vattnet innehåller små mängder svårrenade specialkemikalier och en mycket liten del opolär fas, exempelvis oljor. Efter en separation av det grövre materialet återstår relativt låga halter suspenderat material. Vattnet renas därefter i flera steg från organiskt material som humusämnen och bakterier och oorganiska föreningar som nitrater och fosfater samt lera.

BIM Kemis avloppsvatten skiljer sig kraftigt från det konventionella. Suspensionhalten är betydligt större, föroreningarna är i huvudsak opolära och föreligger som dispersioner och avloppsvattnets karaktär skiftar. Dessutom innehåller vattnet ämnen som rentav motverkar en avskiljning av föroreningarna, exempel på det är dispersionsstabilisatorer.

Tabellen nedanför visar exempel på hur BIM kemis avloppsvatten skiljer sig från kommunalt avloppsvatten. Alla värden är givna i mg/l.

|                      | KOMMUN  | BIM       |
|----------------------|---------|-----------|
| Suspenderat material | 200     | 200-6000  |
| COD                  | 240-300 | 1000-1100 |
| Fosfor               | 7       | 0.8-7     |

Tabell 1: Jämförelse mellan SS, COD och fosforhalt i kommunalt vatten resp. BIMs vatten. Värden angivna i mg/l och tagna ifrån Kompendium i Vattenbehandling 1994 och Analyscens resultat redovisade i Koncessionsnämndens beslut angående BIM 94-01-12.

BIM Kemi tillverkar idag ca. 60 olika produkter. De flesta är papperskemikalier som neutrallim, harts- och vaxdispergeringsmedel, hydrofoberingsmedel, olika ytbehandlingsmedel och skumdämpare. De flesta av dessa produkter är dispersioner av vaxer eller tensider men även natriumaluminat som är en vattenreningskemikalie tillverkas. Produktionen sker i stora behållare som rengörs genom att de spolas med vatten efter tömning av den färdiga produkten.

Avloppsvattnets karaktär beror på vilka produkter som tillverkats under de föregående dygnet och skiftar därför i sammansättning. Vattnets pH, laddning och torrhalt kan drastiskt förändras på kort tid och speciella svårigheter uppstår då en enhetlig reningsoperation skall utformas.

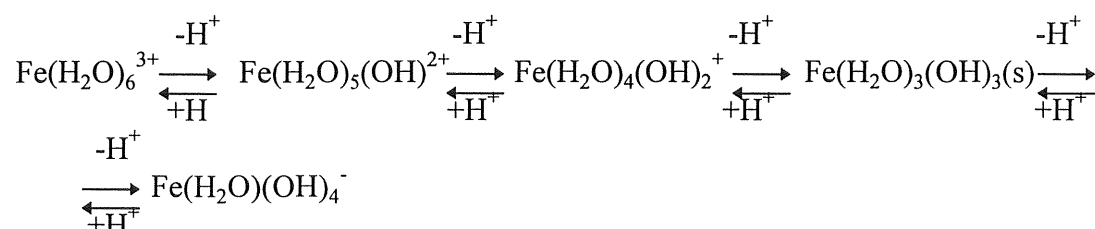
I första steget av reningen bryts dispersionerna. En dispersion består av små fasta partiklar suspenderade i en vätska. Dispersionens stabilitet d.v.s. hur svårt det är att få de två faserna att separera ifrån varandra bestäms av flera faktorer.

Om dispersionen är högviskös kan partiklarna inte förflytta sig, kollidera och koagulera i någon större grad, de är alltså steriskt hindrade. Partiklarna är ofta laddade, om denna laddning är tillräckligt hög repellerar partiklarna varandra och förhindras därmed att koagulera. Laddningen är ofta beroende av dispersionens

pH. Vanligt är att man tillsätter en emulgator som ökar partiklarnas laddning eller höjer dispersionens viskositet. Emulgatorer kan även bilda ett stabiliserande skikt runt particklarna. Dessa emulgatorer är oftast uppbyggda med en hydrofob del som söker sig till den opolära fasen, partiklarna, och en hydrofil del som vänder sig mot vattenfasen.

I normaliseringen sänks pH till mellan 2 och 3 genom att järnklorid och svavelsyra tillsätts. En av mekanismerna som man vet påverkar den då inträffande dispersionsdestabiliseringen är att partiklarnas laddning utjämnas och att kolloidbildning därmed underlättas. En del dispersioner har redan destabiliserats vid rengöringen av reaktionsbehållarna då viskositeten sjönk.

Järnklorid,  $\text{FeCl}_3$ , tillsätts dock i första hand för att fungera som fällningsmedel. När järnkloriden hydratiseras kan den successivt avge vätejoner. Detta förklarar det låga pH som järnkloriden har.



Figur 8. Den hydratiserade järnjonen avger protoner.

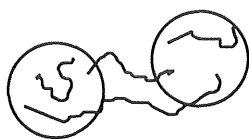
Hydroxokomplexen slår sig samman och bildar kolloida järnhydroxopolymerer som vid låga pH, d.v.s.  $< 7$ , är anjoniska.

I neutraliseringen höjs pH med släckt teknisk kalk till mellan 10 och 12.5. Då pH höjs förändras laddningsbilden. Partiklarnas ytladdning förändras och järnkloridflockarna övergår till katjoniska komplex då pH överstiger 7. Det optimala för järnhydroxokomplexbildning och därmed för flockning är ett pH på 8-10. Vid höga koncentrationer av kalk kan även den bilda hydroxidkomplex som fungerar som partikeluppfångare. Rester av de opolära partiklarna från dispersioner kan destabiliseras genom kollision och uppfångning med kalkpartiklar.

Det är här viktigt med en lång uppehållstid med kraftig omrörning så att alla partiklar adsorberas på komplexen.

Rester av oreagerade råvaror finns även i avloppsvattnet. En del av dessa utgörs av fettsyror som dissocierar vid högre pH och kan bilda svårlösliga salter med kalcium. Detta är samma sorts förening som bildar beläggningar längs badkarskanten.

Då vattnet når steg tre, flockningen, innehåller det knappt synbara flockar. De är laddade och för att utjämna laddningen tillsätts en polymer av polyakrylamid. De långa, motsatt laddade, polymermolekylerna lägger sig på ytan av partiklarna och utjämnar deras ytladdning. Detta ger en bättre flockning eftersom partiklarna inte längre repellerar varandra. Polymeren bygger även broar mellan partiklarna som hjälper till att hålla ihop flockarna.



bryggbildning



laddningsutjämning

Figur 9: Figurerna ovan visar polymerens funktion i flockningen

Bryggbildningen är ej en reversibel process. Bryts polymerkedjan förkortas den och en ny bryggbildning försvåras. Det är därför viktigt att låga skjuvkrafter verkar på flockarna. Omrörningen i flockningsbassängen bör därför ske mycket långsamt.

Temperaturen påverkar också reningseffektiviteten. Vid högre temperaturer är viskositeten lägre, reaktionshastigheten ökar och skjuvkrafterna på flockarna minskar. Detta ger en bättre flockbildning och en ökad sjunkhastighet. Även inblandningen av fällningsmedel och andra vattenreningskemikalier underlättas då temperaturen ökar.

## LABORATIONER

### PLANERING AV LABORATIONER

Bims avloppsvatten innehåller en svårbestämd blandning av olika ämnen. För att få en uppfattning om hur varje enskilt ämne påverkar reningen utfördes proven i liten skala. Vattnets innehåll, pH, koncentration samt tillsatser av kemikalier och uppehållstider kunde då regleras på ett enkelt och överskådligt sätt.

Det hade varit omöjligt att undersöka alla BIMs 60 produkter. Många av dessa har dock liknande egenskaper och kunde grupperas. Nedan finns ni en översikt över grupperna. Vi valde att undersöka fyra av dessa: grupp 1, 2 och 3 som tillverkas i störst mängd och grupp 4 som har mycket speciella egenskaper.

I varje grupp representerar det ämne som tillverkas i störst kvantiteter gruppen. Aquamol 1525 för grupp 1, Dispelair 150-11 för grupp 2, Aquares NL 12 för grupp 3 samt Bimex 400 som är grunden till de tensider som tillverkas på BIM för grupp 4.

| Grupp 1                         | Grupp 2          | Grupp 3                    | Grupp 4                     | Grupp 5                       |
|---------------------------------|------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Aquamol 1525                    | Dispelair 150-11 | Aquares NL 12              | Bimex AP 750                | Bimoset 610                   |
| Aquamol 1220                    | Dispelair 120    | Aquares NL 15              |                             |                               |
| Aquamol N 55                    | Dispelair 150    |                            |                             |                               |
|                                 | Dispelair 173    |                            | ( Bimex 400 )               |                               |
| Hydrofobering<br>axdispergering | Skumdämpare      | Neutrallim<br>Ytbehandling | Tensid<br>Hartsdispergering | Hydrofobering<br>Vattenlöslig |
| Volym = 1977 ton                | Volym = 1815 ton | Volym = 719 ton            | Volym = 529 ton             | Volym = 491 ton               |

| Grupp 6         | Grupp 7                        | Grupp 8                                          | Grupp 9                                                                | Grupp 10                                                             |
|-----------------|--------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Aquamol N 75    | Aquamol 1730                   | Aquamol 67                                       | Cathol 518                                                             | Bimspel 51 F                                                         |
| Aquamol 2000    |                                |                                                  |                                                                        | Bimspel 350                                                          |
|                 |                                |                                                  |                                                                        | Bimspel 390                                                          |
| Ytbeläggning    | Hydrofobering av<br>spånskivor | Hydrofobering/<br>betrykning<br>Innehåller Latex | Gör att papperet<br>släpper lättare<br>från valsen vid<br>arkformering | Slembekämpning<br>Gör att bakterier<br>ej fäster på<br>pappersmassan |
| Volym = 548 ton | Volym = 278 ton                | Volym = 162 ton                                  | Volym = 115 ton                                                        | Volym = 176 ton                                                      |

Tabell 3: Översikt över gruppindelning. Volym anges i årsproduktion. Total årsproduktion är 15000 ton.

Efter att de fyra utvalda grupperna var undersökta gjordes försök på blandningar av olika grupper. Blandningar bestående dels av grupp 1-4 och dels med inblandning av andra grupper som grupp 5, 6 och 7. Innehållet i blandning 1 och 2 redovisas i tabell 4 och tabell 5.

|            | Ämne         | Grupp | Del  |
|------------|--------------|-------|------|
| Blandning1 | Aq 1525      | 1     | 4    |
|            | Disp 150- 11 | 2     | 4    |
|            | NL 12        | 3     | 2    |
|            | Bimex 400    | 4     | 1    |
|            |              |       |      |
|            |              |       |      |
|            | Vatten       |       | 1099 |

Tabell 4: Blandning 1

|             | Ämne        | Grupp | Del  |
|-------------|-------------|-------|------|
| Blandning 2 | Aq 1525     | 1     | 4    |
|             | Disp 150-11 | 2     | 4    |
|             | NL 12       | 3     | 2    |
|             | Bimoset     | 5     | 1    |
|             | Aq N 75     | 6     | 1    |
|             | Aq 1730     | 7     | 1    |
|             | Vatten      |       | 1287 |

Tabell 5: Blandning 2

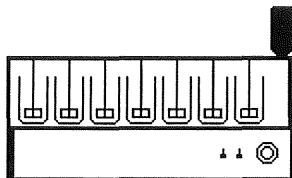
## UTFORMNING AV FÖRSÖK

För att få en uppfattning om hur avloppsvattnet betedde sig och bäst skulle renas gjordes en omfattande undersökning av BIM Kemis produkter. Ett ämne från varje grupp fick representera gruppen i fråga. Det valda ämnet späddes ut till en koncentration som motsvarade möjliga koncentrationer av ämnet i det verkliga avloppsvattnet. Produkterna i avloppsvattnet uppskattades vara utspädda cirka 100 gånger. Som utgångspunkt späddes även de utvalda testgrupperna 100 ggr.

Kemikalier tillsattes och en simulerad flockning och sedimentation utfördes. Resultaten noterades. Som ingångsdoseringar antogs de rekommenderade halterna som erhållits från reningsanläggningsleverantören. Enligt den offert som BIM Kemi fått skulle det förbrukas cirka 0,5 liter 67% järnkloridlösning per m<sup>3</sup> avloppsvatten vilket motsvarar 285 g järnklorid per m<sup>3</sup>. I normaliseringen skulle pH sänkas till ungefär 2,2 och därefter höjas i neutraliseringen till pH 10.

För att så enkelt som möjligt efterlikna den verkliga anläggningen gjordes alla försök satsvis i bägare med en volym på en liter. En omrörare med variabel hastighet användes för att simulera normaliserings-, neutraliserings- och flockningssteget. Sedimentationen efterliknades genom att omröraren stängdes av och flockarna fick sedimentera i respektive bägare.

En laborationsuppsättning bestod av sju burkar med sju omrörare. Vid varje försök varieras en parameter för att man skulle se hur dess variation påverkade resultatet.

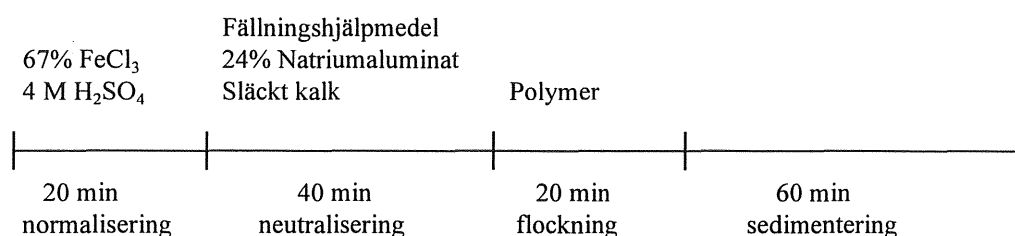


Figur 10: laborationsuppställning

Uppehållstider efterliknades de i den verkliga anläggningen vid ett flöde på två kubikmeter per timme. Det vill säga 20 minuter i normaliseringen, 40 minuter i neutraliseringen, 20 minuter i flockningssteget och ca 1 timme i sedimentationsbassängen. Omblandningshastigheterna i normaliserings- och neutraliseringssteget var så kraftiga som möjligt och omblandningshastigheten i flockningen var ca 30 varv per minut.

Noggrann analys av de fyra vanligaste grupperna skulle genomföras där följande parametrar skulle varieras och optimeras för varje ämne:

- pH i normalisering
- pH i neutralisering
- Fällning med natriumaluminat eller järnklorid
- Mängd natriumaluminat eller järnklorid
- Typ av flockningshjälpmedel d.v.s. polymer
- Mängd flockningshjälpmedel
- Typ av fällningshjälpmedel



Figur 11: Försöksgång

## GENOMFÖRANDE AV FÖRSÖK

De olika kombinationerna av försök som beskrivs nedan framgår av tabell 5

Som representant för grupp ett valdes 100 gånger utspädd Aquamol 1525. I den första försöksserien undersöktes inverkan av varierande pH i normaliseringen och neutraliseringen. Som fällningsmedel användes 0,45 ml 67 % järnklorid per 900 ml simulerat avloppsvatten (motsvarar tillsats av 0.5 g järnklorid). För att variera pH användes 4 M svavelsyra och släckt kalk. I laborationsuppställning 1;1;1 var pH i normaliseringen konstant två och pH i neutraliseringen varierades från 5 till 12,5. I följande laborationsuppställningar ökades pH i normaliseringen successivt för att i uppställning 1;1;4 ha pH 3.

Försöksserie 1;2 gjordes på samma sätt men som fällningskemikalie användes natriumaluminat. Ytterligare test gjordes för att se om resultatet ändrade sig avsevärt om man tillsatte natriumaluminaten i neutraliseringen i stället för i normaliseringen. Med beaktande av det resultat som erhöles i detta försök tillsattes natriumaluminatet hädanefter i neutraliseringssteget eftersom man på så sätt skulle minska åtgången av kalk.

I försöksserie 1;3 varierades koncentrationen av Aquamol 1525 och tillsatsen av järnklorid. Aquamol 1525 späddes ut 50 gånger i laborationsuppställning 1;3;1 och mängden tillsatt järnklorid varierades. Under denna försöksserie var i normaliseringen pH 2,2 och i neutraliseringen pH 10. I laborationsuppställning 1;3;2 var Aquamol 1525 utspädd 100 gånger och i uppställning 1;3;3 var spädningen 200 gånger. Försöksserie fyra var exakt lik försöksserie tre förutom att järnkloriden byttes ut mot natriumaluminat.

Dispelair 150-11 fick representera grupp två, Neutrallim 12 representerade grupp tre och Bimex 400 grupp fyra. Dessa ämnen undersöktes på samma sätt och resultaten noterades. Tabellen på nästa sida visar de försök som gjordes på de fyra grupperna.

| Laboration | Produkt     | Spädning | Fälln-kem | ml fälln.ke | pH norm | pH neutr   |
|------------|-------------|----------|-----------|-------------|---------|------------|
| 1;1;1      | Aq 1525     | 1;100    | FeCl3     | 0.45        | 2       | varierande |
| 1;1;2      | Aq 1525     | 1;100    | FeCl3     | 0.45        | 2.5     | varierande |
| 1;1;3      | Aq 1525     | 1;100    | FeCl3     | 0.45        | 2.75    | varierande |
| 1;1;4      | Aq 1525     | 1;100    | FeCl3     | 0.45        | 3       | varierande |
| 1;2;1      | Aq 1525     | 1;100    | NaAl      | 0.8         | 2       | varierande |
| 1;2;2      | Aq 1525     | 1;100    | NaAl      | 0.8         | 2.5     | varierande |
| 1;2;3      | Aq 1525     | 1;100    | NaAl      | 0.8         | 3       | varierande |
| 1;3;1      | Aq 1525     | 1;50     | FeCl3     | varierande  | 2.2     | 10         |
| 1;3;2      | Aq 1525     | 1;100    | FeCl3     | varierande  | 2.2     | 10         |
| 1;3;3      | Aq 1525     | 1;200    | FeCl3     | varierande  | 2.2     | 10         |
| 1;4;1      | Aq 1525     | 1;50     | NaAl      | varierande  | 2.2     | 10         |
| 1;4;2      | Aq 1525     | 1;100    | NaAl      | varierande  | 2.2     | 10         |
| 1;4;3      | Aq 1525     | 1;200    | NaAl      | varierande  | 2.2     | 10         |
| 2;1;2      | Disp 150-11 | 1;100    | FeCl3     | 0.45        | 1.5     | varierande |
| 2;1;2      | Disp 150-11 | 1;100    | FeCl3     | 0.45        | 2       | varierande |
| 2;1;3      | Disp 150-11 | 1;100    | FeCl3     | 0.45        | 2.3     | varierande |
| 2;2;1      | Disp 150-11 | 1;100    | NaAl      | 0.8         | 1.5     | varierande |
| 2;2;2      | Disp 150-11 | 1;100    | NaAl      | 0.8         | 2       | varierande |
| 2;2;3      | Disp 150-11 | 1;100    | NaAl      | 0.8         | 2.5     | varierande |
| 2;3;1      | Disp 150-11 | 1;50     | FeCl3     | varierande  | 2.2     | 10         |
| 2;3;2      | Disp 150-11 | 1;100    | FeCl3     | varierande  | 2.2     | 10         |
| 2;3;3      | Disp 150-11 | 1;200    | FeCl3     | varierande  | 2.2     | 10         |
| 2;4;1      | Disp 150-11 | 1;50     | NaAl      | varierande  | 2.2     | 10         |
| 2;4;2      | Disp 150-11 | 1;100    | NaAl      | varierande  | 2.2     | 10         |
| 2;4;3      | Disp 150-11 | 1;200    | NaAl      | varierande  | 2.2     | 10         |
| 3;1;1      | NL 12       | 1;100    | FeCl3     | 0.45        | 2       | varierande |
| 3;1;2      | NL 12       | 1;100    | FeCl3     | 0.45        | 2.5     | varierande |
| 3;1;3      | NL 12       | 1;100    | FeCl3     | 0.45        | 3       | varierande |
| 3;2;1      | NL 12       | 1;100    | NaAl      | 0.8         | 2       | varierande |
| 3;2;2      | NL 12       | 1;100    | NaAl      | 0.8         | 2.5     | varierande |
| 3;2;3      | NL 12       | 1;100    | NaAl      | 0.8         | 3       | varierande |
| 3;3;1      | NL 12       | 1;50     | FeCl3     | varierande  | 2.2     | 10         |
| 3;3;2      | NL 12       | 1;100    | FeCl3     | varierande  | 2.2     | 10         |
| 3;3;3      | NL 12       | 1;200    | FeCl3     | varierande  | 2.2     | 10         |
| 3;4;1      | NL 12       | 1;50     | NaAl      | varierande  | 2.2     | 10         |
| 3;4;2      | NL 12       | 1;100    | NaAl      | varierande  | 2.2     | 10         |
| 3;4;2      | NL 12       | 1;200    | NaAl      | varierande  | 2.2     | 10         |
| 4;1;1      | Bimex 400   | 1;100    | FeCl3     | 0.45        | 2       | varierande |
| 4;1;2      | Bimex 400   | 1;100    | FeCl3     | 0.45        | 2.2     | varierande |
| 4;1;3      | Bimex 400   | 1;100    | FeCl3     | 0.45        | 2.5     | varierande |
| 4;2;1      | Bimex 400   | 1;100    | NaAl      | 0.8         | 2       | varierande |
| 4;2;2      | Bimex 400   | 1;100    | NaAl      | 0.8         | 2.1     | varierande |
| 4;2;3      | Bimex 400   | 1;100    | NaAl      | 0.8         | 2.5     | varierande |
| 4;3;1      | Bimex 400   | 1;100    | FeCl3     | varierande  | 2.2     | 10         |
| 4;3;2      | Bimex 400   | 1;200    | FeCl3     | varierande  | 2.2     | 10         |
| 4;4;1      | Bimex 400   | 1;100    | NaAl      | varierande  | 2.2     | 10         |
| 4;4;2      | Bimex 400   | 1;200    | NaAl      | varierande  | 2.2     | 10         |

Tabell 6: första delen av laborationer på olika grupper av avloppsvatten från BIM Kemi

## UNDERSÖKNING AV POLYMER

För att förbättra reningsresultaten tillsattes polymer till avloppsvattnet. För att bestämma vilken polymer som fungerade bäst gjordes ett antal försök. De polymerer som användes vid försöken var polyakrylamider och hade en torrhalt på 0,1 procent. De hade följande laddningar:

|               |                        |
|---------------|------------------------|
| Praestol 655  | katjonisk              |
| Praestol 611  | medelsvagt katjonisk   |
| Praestol 851  | svagt katjonisk        |
| Praestol 650  | mycket svagt katjonisk |
| Praestol 2500 | nonjonisk              |
| Praestol 2530 | svagt anjonisk         |
| Praestol 2360 | anjonisk               |

Tabell 7: olika polymerers laddning

Undersökningen av polymerer gjordes på blandning 1. I normaliseringen var pH 2,2 och i neutraliseringen var pH 11 och vid varje försök tillsattes 5 ml polymer. Först gjordes en laboration med järnklorid som fällningsmedel och därefter en med natriumaluminat som fällningsmedel.

För att bestämma hur mycket polymer som behövdes för att få en markant förbättrad rening av avloppsvattnet, tillsattes olika mycket polymer. Vid denna undersökning användes den polymer som, i det tidigare nämnda försöket, gav bäst resultat. Även här gjordes försök med både järnklorid och natriumaluminat som fällningsmedel.

| Laboration | Produkt     | Fällnkem | ml fälln.ke | pH norm | pH neutr | Polymer typ  | ml Polymer |
|------------|-------------|----------|-------------|---------|----------|--------------|------------|
| 5;1;1      | Blandning 1 | FeCl3    | 0.45        | 2.2     | 11       | varierande   | 5          |
| 5;1;2      | Blandning 1 | NaAl     | 0.8         | 2.2     | 11       | varierande   | 5          |
| 5;1;3      | Blandning 1 | FeCl3    | 0.45        | 2.2     | 10       | Praestol 650 | varierande |
| 5;1;3      | Blandning 1 | NaAl     | 0.8         | 2.2     | 11       | Praestol 650 | varierande |

Tabell 8: Tabell över prover på olika polymerer

## VILKET ÄMNE FÖRSÄMRADE RENINGSRESULTATET MEST?

Då reningen av blandning 1 inte gav ett tillfredsställande resultat undersöktes vilket ämne i blandningen som mest hämmade reningen. Detta gjordes på så sätt att man tog bort ett ämne från blandning 1 och ersatte det med de andra ämnena i blandningen, så att utspädningen av produkterna fortfarande blev 100 gånger. Denna undersökning gjordes med järnklorid respektive natriumaluminat som fällningskemikalie.

Vid denna laboration var pH i normaliseringen 2,2 och pH i neutraliseringen 11. Eftersom blandning ett endast innehåller tre ämnen räckte det med en försöksserie för att ta reda på vilket ämne som ställde till med besvär.

## INVERKAN AV FÄLLNINGSHJÄLPMEDEL

Vid vissa tillfällen då problem uppstår med avloppsvattenrening tillsätter man speciellt utvalda leror som fällningshjälpmedel. Två olika fällningshjälpmedel undersöktes för att se om dessa förbättrade reningen. De fällningshjälpmedel som valdes var Wapur och Schuman. Wapur var ett trögflytande slam medan Schuman var i pulverform.

Eftersom järnklorid som fällningsmedel resulterat i bättre rening vid nästan alla tidigare försök, gjordes nu endast försök med järnklorid. Olika mängder Wapur respektive Schuman tillsattes laborationsuppställningarna i vilka de andra kemikalietillsatserna hölls konstanta.

## BIMEX INVERKAN PÅ ÄMNEN I BLANDNING 1

Eftersom Bimex i tidigare försök visat sig ha en hämmande effekt på reningsresultaten, undersöktes hur den påverkade varje enskilt ämne i blandning ett. I en laborationsuppställning undersöktes skillnaderna då man enbart renade Aquamol 1525, Dispelair 150-11 eller NL 12 eller renade respektive ämne med tillsats av 9 ml Bimex. Försöket utfördes enbart med järnklorid som fällningsmedel, och pH var 2,2 respektive 10 i normaliseringen och neutraliseringen.

En ny försöksserie gjordes i vilken olika mängder Bimex blandades med Aquamol 1525 resp. NL 12. För att se hur olika koncentrationer påverkade reningsresultatet tillsattes fyra, två respektive noll ml Bimex i varje bägare. pH i normalisering var 2,2 och i neutraliseringen ca sju.

## ÄR BIMEX DET ENDA ÄMNET SOM FÖRSÄMRAR VATTENRENINGEN ?

För att undersöka om Bimex var det enda ämnet som gjorde reningsresultaten sämre gjordes ett nytt försök där det tillsattes andra produkter från BIM Kemi till en simulerad avloppsvattenblandning. Denna blandning bestod av blandning ett men där man hade tagit bort Bimex. De ämnen som tillsattes var Aquamol 1730, Aquamol N 75 och Bimaset. De tillsattes både som enskilda ämnen och som blandningar med varandra.

Mängden tillsatt produkt till blandningen var en ml per bägare. I normalisering var pH 2,3 och i neutraliseringen ca 9,5. Det tillsattes också 5 ml polymer till varje bägare.

## UNDERSÖKNING AV NY SIMULERAD AVLOPPSVATTENBLANDNING ( BLANDNING 2).

För att försäkra oss om att vattnet gick att rena gjordes en ny laborationsserie där en ny avloppsvattenblandning skulle renas. Den nya blandningen kallades för blandning två och innehöll de vanligaste produkterna som tillverkades på BIM Kemi förutom Bimex. Denna serie av laborationer bestod av fyra uppställningar där pH i normaliseringen varierades från 2,2 till 2,5 och mängden järnklorid varierades från 0,3 ml per bägare till 0,8 ml per bägare. I neutraliseringen tillsattes samma mängd släckt kalk (  $1 \text{ kg/m}^3$  ) i alla försök. En svagt katjonisk polymer tillsattes också i varje försök.

För att kontrollera om Bimex försämrade reningen av blandning två gjordes även ett försök med tillsats av Bimex till blandning två. Till detta försök tillsattes fyra ml Bimex och pH var 2,4 respektive 10 i normaliseringen och neutraliseringen.

## UNDERSÖKNING AV AVLOPPSVATTENKVALITET I LABORATORIESKALA

Som kontroll på hur rent avloppsvattnet blivit efter rening gjordes ett antal undersökningar på vattnet före och efter laborationerna. Det som främst skulle uppnås med reningen var att reducera mängden suspenderat material i vattnet. BIM Kemis produkter har dock en sådan karaktär att det är omöjligt att mäta suspenderat halt enligt svensk standard. Standardmetoden för mätning av suspenderat material är att filtrera en viss mängd avloppsvatten genom ett standardfilter och därefter väga det torkade provet. BIM Kemis avloppsvatten innehåller mycket små partiklar som sätter igen filterporerna och omöjliggör filtrering.

Länsstyrelsen i Lerum mätte den suspenderade halten genom att dunsta bort vattnet från avloppsvattnet i en ugn, och därefter jämföra vikten före och efter torkning i ugn. Att mäta halten av suspenderat material på detta sätt är dock en alltför tidskrävande metod om man ska behandla flera hundra olika vatten. Därför valdes att kontrollera vattnets turbiditet före och efter rening. Turbiditeten är i princip direkt proportionell mot halten suspenderat material vilket ger ett relativt säkert svar på om reningseffektiviteten vid varje laboration svarade upp till de krav som ställts.

Det som mäts med en turbidimeter är hur mycket ljus i procent som reflekteras av partiklar i vattnet. Ett vatten med mycket partiklar reflekterar mer ljus än ett vatten med få partiklar. Det är dock viktigt att vattnet inte har för stora och få partiklar. Då detta inträffar varierar turbiditeten mycket varje gång en partikel svävar förbi ljusstrålen.

COD värdena på BIM Kemis avloppsvatten är höga vilket är en bra anledning till att kontrollera om COD minskar vid rening i laborationsskala. Att undersöka

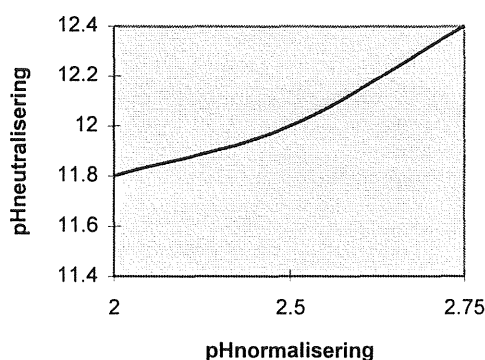
COD är mycket dyrt ( ca. 45 kr per test ) och tidskrävande. Därför valdes att i stället undersöka hur mycket organiskt material som fanns i det renade avloppsvattnet. Detta ger en fingervisning om hur COD ändrar sig vid olika reningsförsök. Halten organiskt material mättes med UV-ljus. Denna metod kräver dock klart vatten vilket medförde att det renade vattnet behövde filtreras innan mätningarna genomfördes. Resultaten på COD är därför lite osäkra, men tillräckliga för att se hur COD varierar med kemikalietillsats och turbiditet.

## RESULTAT FRÅN LABORATIONER

Resultaten ifrån laborationerna redovisas i den ordning de utfördes. Efter det kommer en sammanfattning av resultaten. I bilaga 7 finns en sammanställning över de laborationer där reningseffektiviteten med avseende på suspenderat material var över 80 %.

### GRUPP 1:

Aquamol 1525 var svår att rena. Framför allt fanns problem med att få flockarna att sjunka. I försöksserie 1;1 då Aquamolen var utspädd 100 ggr och tillsatsen av järnklorid var  $0,45 \text{ l/m}^3$  krävdes vid normaliserings pH 2,5 ett neutraliserings pH på över 12 för att flockarna överhuvudtaget skulle sedimentera. Nedan visas vilka neutraliserings pH som krävs vid olika normaliserings pH för att uppnå en bra sedimentering.



Figur 12: pH i normalisering resp. neutralisering som krävs för att uppnå sedimentering.

För att uppnå de krav länsstyrelsen har satt, d.v.s. att vattnet skall innehålla 80 % mindre suspenderat material och att pH ut skall ligga mellan 6,5 och 10 räcker ett pHnorm på 3 och ett pHneut på 8,5. Då flyter dock flockarna. I den anläggning som är uppbyggd följer då flockarna med det reade vattnet ut och ger en hög halt suspenderat material i utflödet. För att flockarna skall sjunka krävs att pHnorm är 2 och pHneut är 11,8. För att få ett klart vatten krävs ännu lägre resp. högre pH. Då normaliserings pH är 2 måste pH neutralisering vara över 12 och om pHnorm är 2,5 måste pHneut vara 12,5. Vid ett normaliserings pH på 2,75 blir provet aldrig klart.

|                            | pHnorm | pHneut | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> l/m <sup>3</sup> | Kalk kg/m <sup>3</sup> |
|----------------------------|--------|--------|-------------------------------------------------|------------------------|
| 80 % renat flockar flyter  | 3      | 8,5    |                                                 | 0,14                   |
| 80 % renat flockar sjunker | 2      | 11,8   | 1,2                                             | 1,35                   |
| Klart vatten               | 2      | 12,1   | 1,2                                             | 2,25                   |
| Klart vatten               | 2,5    | 12,5   | 0,23                                            | 1,8                    |

Tabell 9: pHnorm och pHneut för olika reningskvalitéer. Alla prov har tillsats 0,45 l FeCl<sub>3</sub>/m<sup>3</sup>.

I försöksserie 1;2, då natriumaluminat användes som fällningsmedel, sjönk det mesta då pHnorm var 2. Proven blev dock aldrig riktigt klara. För att komma ner till den önskade pHnorm måste ca. 4 ggr så mycket syra tillsättas i provserie 2 än i provserie 1.

Då normaliserings pH är 2,5 krävs ett pHneut på 11,6 för att flockarna skall sjunka. Vid högre pHnorm blir vattnet allt grumligare och flockarna sjunker inte alls.

För att klara reningseffekten 80% måste pHnorm vara 2,0 och pHneut vara 8. Då är dock vattnet fortfarande mycket grumligt.

Resultaten av försöksserie 1;3 illustreras bäst genom de grafer som finns i bilaga 1. Den övre grafen visar hur reningseffekten påverkas av koncentrationen av produkt i vattnet. Även vid en utspädning på endast 50 ggr klaras gränsen för en acceptabel rening, men som vi ser i den nedre grafen är turbiditeten fortfarande mycket hög. Det 200 ggr utspädda avloppsvattnet är mer stabilt även vid lägre tillsatser av järnklorid än de som är redovisade i grafen. Den övre grafen visar också att reningseffekten når sitt maximum vid 0,65 l/m<sup>3</sup> tillsats av järnklorid. Aq 1525 utspädd 200 ggr kräver en tredjedels tillsats av järnklorid för att uppnå samma resultat som för 100 ggr utspädd Aq 1525. Trots att även de högre koncentrationerna renas till över 80 % var det endast i de 200 ggr utspädda proven som flockarna sjönk. Tendensen var dock att flockarna blev tyngre ju mer fällmedel som tillsattes provet.

## GRUPP 2:

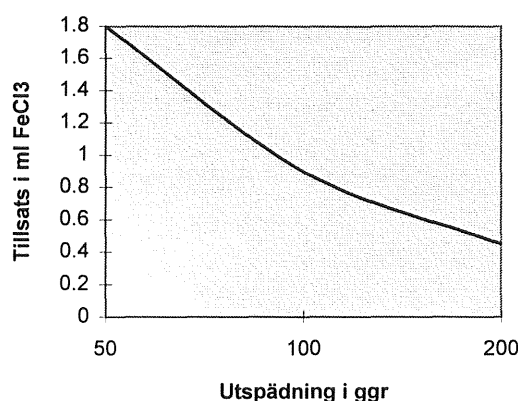
Det största problemet med reningen av grupp 2 var att få flockarna att sjunka. I försöksserie 2;1 då pH var 2 i normaliseringen krävdes ett pHneut på 12,8 för att uppnå sedimentering! Dock krävdes endast 0,66 l/m<sup>3</sup> 4M svavelsyra och 1,2g kalk för att uppnå dessa pH vilket är hälften av vad som krävdes i motsvarande försök i grupp 1. Vattnet blev inte klart förrän pHneut var över 12,9. Vid ett pHnorm på 2,3 sjönk aldrig flockarna.

I försöksserie 2 då natriumaluminat användes som fällningsmedel och pHnorm var 2, erhöles mycket underliga resultat. Vid relativt låga pHneut 7-9 sjönk slammet men när pHneut ökade till mellan 9,3 och ca. 10 flöt

eller svävade slammet. Det sjönk dock igen då pHneut kom över 10. Då pHnorm var 2, 5 flöt slammet vid alla pH under 12.

För att uppnå en reningseffektivitet på 80% m.a.p. suspenderat material krävs att pHnorm är 2 och pHneut är över 12 då järnklorid används som fällningsmedel. Om natriumaluminat istället används krävs endast ett pHnorm på 2,5 och ett pHneut på över 12, men den totala tillsatsen av kemikalier är ca. 2 ggr så hög.

Resultatet av försöksserie 2;3 redovisas i graf 1 och 2 i bilaga 2. Även om grafen ser ut att svänga kraftigt är det med mycket små procent reningseffekten varierar. I jämförelse med bilaga 1 ser vi att Dispelairen var något mindre beroende av utspädningen än Aquamolen. Alla spädningar klarar reningskraven på 80 % även vid låga tillsatser av järnklorid men når sin maximala renhet vid en tillsats på  $0,85 \text{ l/m}^3$ . Tillsatsen av fällningsmedel har dock stor betydelse för att flockarna skall sjunka. Figur 13 visar hur mycket järnklorid som måste tillsättas för att flockarna skall sedimentera.



Figur 13: Tillsats av järnklorid som krävs vid olika utspädningar för att flockarna skall sjunka.

Turbiditeten är mycket hög i alla proven vid 50 ggr utspädning. Det bästa resultatet, då  $0,85 \text{ l/m}^3$  järnklorid har tillsatts, är 11 ggr mer förorenat än det motsvarande provet 200 ggr utspädd.

### GRUPP 3:

NL 12 som fick representera grupp 3 var till skillnad från Aquamol 1525 och Dispelaire 150-11 mycket lätt att sedimentera. Även vid det höga normaliseringspH 3 och vid låg kalkdosering sjunker flockarna. Det krävs dock ett lågt normaliserings pH och höga neutraliserings pH om vattnet skall bli tillräckligt rent.

I försöksserie 3;1 vid ett pHnorm på 2 nådde vattnet reningskraven vid ett pHneut på 10,7. Vattnet blev klart vid pHneut = 11,9. Då pHnorm var 2,5 blev vattnet tillräckligt rent först då pHneut var 11,7. Resultaten från försöken vid pHnorm=3 är mycket opålitliga och tas ej med här. Eftersom

syratillsatsen här var större än vid  $pH_{norm} = 2,5$  antas att pH-mätaren var ur funktion.

Natriumaluminaten klarade reningen av NL 12 bra. Vid ett  $pH_{norm}$  på 2 blev vattnet tillräckligt rent redan vid ett  $pH_{neut}$  på 9. Då  $pH_{norm}$  är 2,5 räckte ett  $pH_{neut}$  på 11. Vid  $pH_{norm} = 3$  blev dock vattnet inte rent ens vid höga  $pH_{neut}$

Försöksserie 3 visar att reningsresultatet är starkt beroende av utspädningen och i mindre grad av fällningsmedeldoseringen. Detta illustreras av graf 1 och 2 i bilaga 3. Femtio ggr utspädd NL 12 klarar aldrig reningskraven. Endast en 65 % reningseffekt kan uppnås. Vid 100 ggr utspädning uppfylls reningskraven då tillsatsen av järnklorid är mindre än  $0,7 \text{ l/m}^3$ . Två hundra ggr utspädd NL 12 klarar reningskraven vid alla prövade tillsatser av järnklorid och har mellan 20 och 30 ggr mindre turbiditet än vid en utspädning på 50 ggr.

#### GRUPP 4:

Bimex 400 visade sig vara den största utmaningen att rena ur avloppsvattnet. Inga flockar bildades vid tillsatser av järnklorid, natriumaluminat eller kalk. I vissa fall bildades dock svårslösliga salter som föll ut och kunde separeras från vattnet.

Vattnets turbiditet minskade med ökat pH i neutraliseringen. Vid de tre  $pH_{norm}$  som proven utfördes vid var tendensen den samma ( se bilaga 4). Turbiditeten minskar till dess att  $pH_{neut}$  var ca. 8-9. Sedan stabiliseras kurvan och turbiditeten blir mer eller mindre oberoende av  $pH_{neut}$ . Vattnet når aldrig en acceptabel renhetsnivå då reningseffektiviteten är under 80% i alla fallen.

Det bästa resultatet i försöksserie 1 var ett 70% renat vatten, då  $pH_{norm}$  var 2,2 och  $pH_{neut}$  var 11,1.

Reningseffekten för Bimex 400 är högre vid lägre tillsatser av järnklorid. Detta illustreras i graf 1 och 2 i bilaga 5.

#### BLANDNING 1:

Som beskrivits i försöksbeskrivningen består blandning 1 av Aq 1525, Dispelair 150-11, NL 12 och Bimex 400 d.v.s. grupp 1-4. Blandning 1 var mycket svår att rena tillfredsställande. I försöksserie 1 kunde endast en 50 % rening uppnås även då en laddningsneutral polymer och ett specialfällningsmedel tillsatts. Ett något bättre resultat, 80% rening, uppnåddes med natriumaluminat som fällningsmedel. Polymeren och specialfällningsmedlet hade ingen märkbar effekt på reningsresultatet.

En test av olika laddade polymerer visade att en svagt katjonisk polymer, Praestol 650, var mest effektiv. Den gjorde att reningseffekten blev hela 92 %, en förbättring på 40 % från försöksserie 1.

Test med natriumaluminat visade ingen större skillnad med eller utan Praestol 650.

När sedan mängden polymer 650 varierades uppnåddes samma resultat vid små tillsatser polymer ( 1 l/m<sup>3</sup> ) som vid stora ( 4 l/m<sup>3</sup> ).

Två olika specialfällmedel utprovades också, Schumann och Wapur. Fällningsmedlen förbättrade inte turbiditeten men flockarnas sjunkhastighet ökade. Schumann var något bättre på detta område än Wapur.

Reningsresultaten var överlag dåliga för blandning 1. Misstankar att Bimex försvårade reningen av de övriga komponenterna ledde till att detta utforskades närmare. Tabellen nedan visar hur mycket Bimex försämrar reningen.

|         | Turbiditeten<br>för renad<br>grupp<br>1-3(100) +<br>Bimex (100) | Turbiditeten<br>för renad<br>grupp<br>1-3(100) | Turbiditeten<br>för renad<br>Bimex(100) | Försämring<br>av resultatet |
|---------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|
| GRUPP 1 | 16300                                                           | 2120                                           | 285                                     | 80 %                        |
| GRUPP 2 | 2730                                                            | 130                                            | 285                                     | 85 %                        |
| GRUPP 3 | 2400                                                            | 100                                            | 285                                     | 84 %                        |

Tabell 9: Försämringen av reningsresultatet då Bimex tillsätts grupp 1, 2 resp 3. Alla värden är tagna vid samma pHnorm och pHneut.

När sedan Bimex exkluderades från blandning 1 fanns inga svårigheter att uppnå utmärkta resultat. Det verkar till och med som ämnena i grupp 1-3 har en positiv synergieffekt på varandra. Då pHnorm är 2.3 och pHneut är ca.10 fås en reningseffekt på nära 100 %.

Blandning 1 utan Bimex tillsattes ämnen ifrån grupp 5, 6 och 7. Dessa prov var mycket lätta att rena. Alla uppnådde en reningseffekt på långt över 80 %. Detta kan dock vara missvisande eftersom koncentrationen av varje enskilt ämne var lågt.

## BLANDNING 2:

Trots det stora antalet ämnen som ingick i blandning 2 fanns inga större problem att rena den. Flockarna sjönk även då tillsatsen av järnklorid var så låg som 0.3 l/m<sup>3</sup>. Med ett pHnorm på 2.5 och ett pHneut på 11 blir

vattnet nästan 99 % renat. Vid en sänkning av pH<sub>norm</sub> till 2.2 blev vattnet 10 ggr renare!

Vattnet blev rent i alla försök trots att pH i neutraliseringen varierade. Då pH i normaliseringen var lågt blev även pH i neutraliseringen lägre. I neutraliseringssteget varierade pH mellan 6 och 11,5.

Ett prov gjordes då Bimex ingick i blandning 2. Resultatet blev katastrofalt, reningsresultatet försämrades 387 ggr. Provet med Bimex visade ett COD-värde på 11000 mot det för blandning 2 utan Bimex som låg på ca. 200.

## SAMMANFATTNING AV FÖRSÖKSRESULTATEN

BIM Kemis avloppsvatten består av en blandning av olika utspädda produkter. Det är mycket sällan det suspenderade materialet i vattnet utgörs av endast ett ämne. I våra laborationsförsök var det mycket lätt att rena blandningar av olika slag så länge de inte innehöll Bimex. Koncentrationen av varje enskilt ämne var dock väldigt låg i våra blandningar ( se tabell 4 och 5 sid 11).

Högre koncentrationer av ämne ger en sämre reningseffekt. Vi ser även att reningseffekten ökar då pH i normaliseringssteget sänks eller pH i neutraliseringssteget höjs. Ett prov som utfördes på laboratoriet visade att reningseffekten inte endast var beroende av pH i neutraliseringen utan även av mängden tillsatt kalk. Då pH höjdes med natriumhydroxid istället för kalk uppnådde proven inte samma renhet som då kalk tillsattes. Detta berodde i första hand på att flockarna inte sjönk då enbart natriumhydroxid tillsattes.

Koncentrationen av föroreningar i vatten kan också vara en av de faktorer som gjorde att NL 12 var mycket lättare att sedimentera än både Aq 1525 och Disp 150-11. Alla tre ämnena innehåller höga halter vaxer vilket gör att den utskiljda fasen blir mycket lätt. NL 12 har dock en torrhalt på ca. 12 % medan både Aq 1525 och Disp150-11 har en torrhalt på 25-30 %. Detta medför att i varje utspädningssteg blir koncentrationen av NL 12 hälften så stor som koncentrationen av de två övriga. Som tidigare nämnts blir vattnet mycket lättare att rena ju lägre föroreningskoncentrationen är.

Bimex är vattenlöslig och är därför näst intill omöjlig att separera från avloppsvattnet. De salter som bildas är troligtvis kalciumsalter av fettsyror som föreligger i Bimex 400 som oreagerad produkt. Denna saltbildning gynnas av ett högre pH då fettsyrorna är odissocierade vid lägre pH. Detta förklarar kurvornas utseende i bilaga 4.

I blandningar fungerar tensiden Bimex som dispergeringsmedel och stabiliserar därmed dispersionerna. Detta förklarar den mycket försämrade reningseffekten vi ser i alla blandningar med Bimex. Man bör därför undvika en inblandning av Bimex så långt det går.

Även om natriumaluminatet fungerade bra som fällmedel i vissa fall, var den överlag mer opålitligt än järnkloriden. Natriumaluminatet har ett högt pH vilket gör att den totala kemikalietillsatsen ökar då mer syra måste tillsättas i normaliseringen.

Järnklorid fungerar bra som fällmedel i många fall trots de besvärliga omständigheterna. Av bilaga 1, 2, 3 och 4, som beskrivits ovan i texten, ser vi att en ökad tillsats av järnklorid förbättrar reningen upp till en viss halt. I de flesta fall verkar en tillsats på  $0.6 \text{ l/m}^3$  vara optimal.

I normaliserings- och neutraliseringssteget bör det räcka med ett pH på 2.2 resp 12 även i svåra fall. Tillsats av polymer förbättrar flockningen avsevärt och kan göra det möjligt att sänka pH i neutraliseringen.

## FELKÄLLOR

Även om de ämnen som tillverkas i störst kvantiteter undersökts på labbet betyder inte det att dessa alltid kommer finnas i det verkliga avloppsvattnet. Andra blandningar än de vi undersökt kan vara betydligt svårare att rena.

Tillsatser av syra och kalk kan ha missbedömts då pH-mätaren inte alltid fungerade som önskat. Slammet var mycket kletigt och fastnade på pH-mätarens elektrod samt resten av den utrustning som användes i försöken.

En tredje felkälla är givetvis utformningen av anläggningen. I labbskala var avloppsvattnet under försöken i en och samma behållare. Flockarna utsattes därför inte för samma skjuvkrafter som uppstår i fullskala då de transporteras från ett steg till ett annat. De resultat som har erhållits är från försök där uppehållstiden var motsvarande den för ett flöde på  $2 \text{ m}^3/\text{h}$  i fullskaleanläggningen. Då flödet ökar minskar uppehållstiden, men hur detta påverkar reningen har vi inte utforskat.

## FULLSKALEFÖRSÖK

### OPTIMERING AV RENINGSANLÄGGNINGEN I FULLSKALA

Efter en ordentlig genomgång av anläggningen, tillsammans med en av konstruktörerna, kontrollerades de flödesproportionella doseringspumparna och pH mätarna kalibrerades. Tyvärr fanns en del problem vid uppstart, pH mätarna fungerade inte tillfredsställande och lamellsedimenteringen läckte, men detta ordnades och dagen efter påbörjades försöken.

Vår strategi för att optimera anläggningen var att vid start tillsätta så mycket reningskemikalier att vattnet utan problem skulle bli renat. Därefter skulle kemikalietillsatserna successivt minskas.

Turbiditet och pH mättes på samma sätt som i laborieförsöken. Partikelladdningen i vattnet mättes med en Z-sizer.

#### DAG 1:

Med hänsyn till resultaten från laborieförsöken fann vi, för att säkert få ett rent avloppsvatten samt flockar som sjönk, att pH i normaliseringen skulle vara 2 och pH i neutraliseringen skulle vara 12. Mängden järnklorid som tillsattes var  $0,8 \text{ l/m}^3$  och mängden katjonisk polymer, Praestol 650, var  $5 \text{ l/m}^3$ . Tyvärr blev inte resultatet som väntat. Det bildades ett tjockt skum på ytan i flockningsbassängen som innehöll en hel del flockar. Vattnet från bufferttanken var mycket koncentrerat, något som visat sig olämpligt i labförsöken. Frampå eftermiddagen sjönk koncentrationen av föroreningar i avloppsvattnet och en del flockar sjönk. Observationer av förändringar i flockningssteget försvårades av det tjocka slamlagret som låg och flöt på ytan.

Trots ett mycket förorenat avloppsvatten blev vattnet ut ur anläggningen mycket rent. Reningseffekten var nära 100 % m.a.p suspenderat material. Detta beror förmodligen på att bassängerna, innan anläggningen startades, var fyllda med rent vatten som blandades med det inkommande förorenade vattnet. Som labförsöken visar är det lätt att rena ett vatten i vilket koncentrationen av föroreningar är låg.

Prov togs på vattnet under dagen och turbiditet, pH och laddning mättes. Resultaten redovisas i bilaga 8.

#### DAG 2:

Avloppsvattnet var lika koncentrerat som på eftermiddagen dag 1. Det såg ut ungefär som en beigefärgad minimjolk men var ej helt homogent.

Polymeren byttes till den föreslagna av Recoverent. Den nya polymeren, som även den var katjonisk, flockade bra. Tyvärr flöt flockarna och polymeren byttes tillbaka till Praestol 650. Byte av polymer gav mindre flockar som sjönk.

Efter problem med alla flytande flockar doserades specialfällningsmedlet Wapur. Detta verkade tynga ner flockarna något men relativt mycket, ca.  $1 \text{ l/m}^3$ , måste tillsättas för att uppnå önskad effekt.

På eftermiddagen skiftade avloppsvattnet från bufferttanken karaktär. Det blev mer homogent och fick en mörkare röd-beige ton. Färgen berodde antagligen på Dispel 50, ett ämne som ej undersökts i labskala.

I ett laboratorieförsök doserades en mycket katjonisk polymer, Praestol 655, direkt i det orenade avloppsvattnet. Flockar bildades och sedimenterade. Det avskilda vattnet var betydligt renare men fortfarande grumligt och krävde ytterligare rening.

#### DAG 3:

Koncentrationen av föroreningar i vattnet in i anläggningen var mycket låg på morgonen. Vattnet hade en svag gul färg och var homogent.

Med tanke på den låga koncentrationen ökades pH i normaliseringen från strax över 2 till ca. 2,5. Praestol 650 tillsattes i flockningen men verkade inte ha någon effekt. Flockarna var mycket små, dammliknande, och vattnet var nästan lika grumligt som i inloppet.

Den katjoniska polymeren fungerade inte alls på det vatten som strömmade in i anläggningen dag 3. Misstankar att polymerens laddningen var fel förde till att laddningstester gjordes på vattnet. Z-sizer-mätningar visade att avloppsvattnet efter att ha gått igenom normalisering och neutralisering var positivt laddat, d.v.s. katjoniskt. Som beskrivs i avsnittet sid. 8, kemikaliesystemet, fäster den laddade polymeren på partiklarna i första hand genom de attraktionskrafter som existerar mellan två motsatta laddningar. Då polymeren har samma laddning som partiklarna fås därför ingen flockning.

En anjonisk polymer, Praestol 2530, tillsattes istället för den katjoniska Praestol 650 och flockarna blev genast större.

Efter bytet av polymer sjönk de flesta flockar men vattnet förblev grumligt. Detta berodde antagligen på att en viss mängd Bimex fanns i vattnet.

#### DAG 4:

Vattnet in i anläggningen var koncentrerat, inhomogent och hade en svag gul färg. På morgonen var pH i normaliseringen högt, ca. 3, och pH i neutraliseringen var relativt lågt, ca. 10. Flockarna var åter mycket små,

men vattnet blev klart då slammet fick sedimentera en längre tid. Det observerades även att luft bubblade upp ur röret från flockningen till lamellsedimenteringen.

pH i normaliseringen sänktes stegvis under förmiddagen och flockarna förbättrades något. Samtidigt uppstod problem med att flockarna blev lättare och flöt. Ett tjockt slamlager bildades i flockningsbassängen.

#### DAG 5:

På förmiddagen slammade kalkdoseringen igen och pH sjönk till 5 i neutraliseringen. Detta påverkade flockarna som blev mycket små, en del flöt och en del sjönk. Trots det låga pH i normaliseringen var vattnets klarfas helt ren.

En teori om varför inte alla flockarna sjönk var att polymeren inte blev jämnt inblandad i vattnet. För att få en ordentlig inblandning av polymer gjordes försök med tillsats av anjonisk polymer i neutraliseringen. Då polymertillsatsen i flockningen stängdes av minskade flockarnas storlek men ingen annan effekt erhöles.

Utvattnet var på eftermiddagen fullt av flockar. Detta var troligtvis en följd av förmiddagens låga kalktillsats.

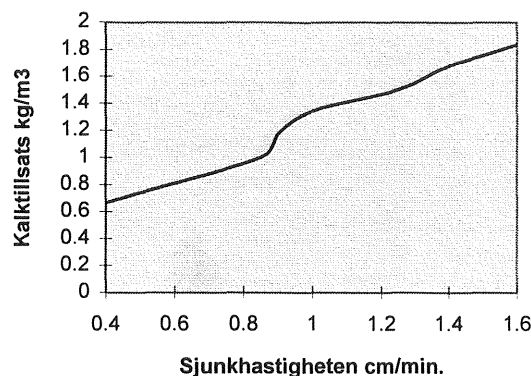
#### DAG 6:

Avloppsvattnet var under dagen tjockt, inhomogent och svagt gulaktigt. Vattnets pH var 12 vilket är något över det normala. pH i normaliseringen är 2,5.

Ett tjockt skumliknande slamlager flöt i flockningen men då prov togs direkt ifrån neutraliseringen sjönk slammet. Den anjoniska polymeren stängdes då av.

pH sänktes till 2,25 i normaliseringen men ingen större förändring skedde. Trots att ingen polymer tillsattes och att ganska många flockar fanns i utvattnet var vattnet mycket rent.

Prov gjordes på labbet med avloppsvatten som passerat normaliseringssteget. Kalk tillsattes successivt. Det märkliga var att även vid så små kalktillsatser som  $0,7 \text{ kg/m}^3$  sjönk alla flockarna! Sjunkhastigheten ökade dock med kalktillsatsen som illustreras i figur 13.



Figur 14: Sjunkhastigheten ökar med kalktillsatsen.

#### DAG 7:

Vattnet från bufferttanken var på morgonen homogent och mycket gult. Ingen polymer doserades först och flockarna var små men blev genast större då polymerdoseringen kom igång. Det verkar dock som flockarna blev mindre ju längre deras uppehållstid i flockningen var. Omrörarens varvtal i flockningsbassängen sänktes i ett försök att minska skjuvkrafterna på flockarna. Ingen större skillnad erhöles.

Det renade vattnet från neutraliseringen var grumligt. En stor del av flockarna flöt och polymeren stängdes av. Det renade vattnet var grumligt och innehöll en liten mängd flockar.

Dagen innan hade Bimex tillverkats och släppts ut i avloppet vilket förklarar den resterande grumligheten i vattnet ut. Det bildades en vit utfällning i neutraliseringen vilket också tyder på att Bimex var närvarande.

pH i normaliseringen var under dagen 2,25 och i neutraliseringen 12,7.

#### DAG 8:

Avloppsvattnet hade samma karaktär som dag 7 på morgonen men ändrade karaktär under dagen och blev tjockare, vitare och inhomogent.

Dammlika flockar bildades och klarfasen var mycket grumlig. En mätning av laddningen visade att föroreningarna återigen var anjoniska och polymeren byttes till katjoniska Praestol 650. Flockarna blev större men samtidigt lättare och ett tjockt slamlager bildades i flockningsbassängen.

Vattnet ut ur reningsverket var mycket förorenat p.g.a. den misslyckade flockningen i början av dagen och Bimexinnehållet i vattnet.

#### DAG 9:

Det orenade vattnet var svagt beigt och ganska homogent med några få flockar som flöt på ytan. Under dagen blev det mer koncentrerat.

Först prövades Recoverents polymer. Flockarna blev ganska stora, men flöt. Därför byttes polymeren åter till Praestol 650.

Vattnet i neutraliseringen var grumligt även efter en lång stunds sedimentering. Efter tillsats av polymer klarnade dock vattnet. Detta visar att laddningsförhållandet polymer- förorening var perfekt eftersom polymeren adsorberade även de små föroreningskolloiderna som skapade grumligheten.

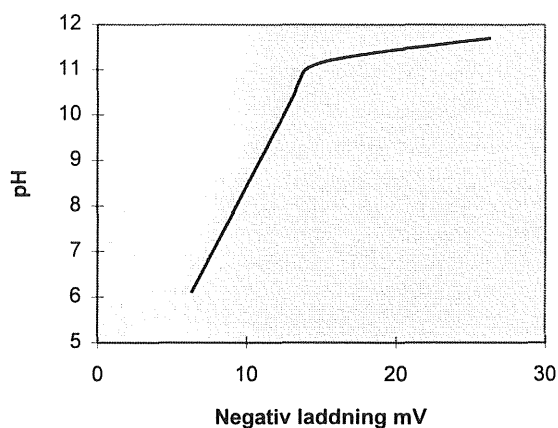
Flockarna flöt till att börja med men sjönk efter att ha stått på labbet i några dagar. Misstankar om att små luftbubblor bar upp flockarna uppstod och ett prov från flockningen där ca. hälften av flockarna flöt lades i ett ultraljudsbad. Då luften hade diffunderat ur vattnet sjönk flockarna vilket bekräftade misstankarna. Frågan är hur luften kommer in i systemet.

#### DAG 10:

På morgonen hämtades en pump för att kunna suga upp det flytande slamlagret i flockningsbassängen.

Mycket koncentrerat, inhomogent ljusbeigt avloppsvatten rann in i anläggningen denna dag. Ingen polymer doserades till att börja med vilket medförde en nästan obefintlig flockning. Polymer Praestol 650 doserades efter det att Z-sizer mätningar visade att vattnet var anjoniskt. Vattnet ut ur anläggningen förblev dock grumligt under hela dagen antagligen p.g.a. den extremt höga koncentrationen av föroreningar i vattnet.

På eftermiddagen slammade kalkdoseringen igen och pH sjönk till 6. Efter att kalkdoseringen kom igång höjdes pH till 11,7. Prov togs på vattnet i neutraliseringen under pH-höjningen och Z-potentialen mättes. Nedanför visas hur laddningen blev mer negativ ju större kalkdoseringen och därmed pH var.



Figur 15: Laddningen varierar i neutraliseringen då kalk doseras och pH ökar.

## DAG 11:

Avloppsvattnet var inte riktigt lika koncentrerat som dagen före. Vattnet såg ut ungefär som minimjölk, det var homogent och hade en mycket svagt guldfärgat.

Polymer 650 doserades i flockningen. Stenmjöl doserades också i flockningen i ett försök att bli av med det ständigt flytande slamlagret i tank tre. Detta fungerar faktiskt men ett nytt lager bildas snart.

Vattnet renades effektivt under hela dagen, klarfasen var mycket klar. Tyvärr följde en oroväckande stor mängd flockar med vattnet ut.

## DAG 12:

Avloppsvattnet var mycket inhomogent och ganska tjockt med stora flockar som både flöt och sjönk.

Vattnet blev mycket rent under hela dagen förutom några få flockar som följde med vattnet ut.

## DAG 13:

Vattnet från bufferttanken innehöll under dagen en mycket låg koncentration av föroreningar och renades lätt. Trots detta fanns fortfarande problem med flockar som ej sedimenterade utan följde med det renade vattnet ut från lammelsedimenteringen.

Här slutade våra försök i fullskaleanläggningen. I en period efter detta åtgärdades en del problem i anläggningen och försöken togs åter upp av BIMs personal.

## SLUTSATSER AV OPTIMERING I FULLSKALA

Den största osäkerheten i anläggningen är att sammansättningen av föroreningar i avloppsvattnet hela tiden varierar. Detta ger en mängd olika följdproblem.

- Laddningen varierar och kan på kort tid skifta tecken från att vara anjonisk till att vara katjonisk. För att uppnå en bra flockbildning måste då polymeren bytas.

-Koncentrationen av föroreningar i vattnet kan ena dagen vara tio gånger högre än nästa dag. Labförsöken illustrerar tydligt att högre koncentrationer medför en försämring av reningseffektiviten. En dosering av kemikalier som är tillräcklig för låga koncentrationer kan behöva fördubblas då koncentrationen ökar. Följden av detta blir att man doserar en kemikaliemängd som är anpassad för höga koncentrationer av föroreningar.

-Vissa dagar ingår ämnen i avloppsvattnet som försvårar reningen. Exempel på detta är tensider och lösningsmedel som hindrar partiklarna att bilda kolloider.

Kemikalietillsatsen måste då ökas, men denna ökning garanterar ändå inte att vattnet blir klart.

Det blir närmast omöjligt att finna ett system som fungerar för alla avloppsvatten. Konsekvensen av detta blir att kemikalietillsatsen måste anpassas efter avloppsvattnet. Det krävs därmed en större arbetsinsats och mer kunskap för att driva anläggningen.

Problem med flockar som flyter och följer med det renade vattnet ut beror delvis på att föroreningarna innehåller vaxer och paraffiner som har lägre densitet än vatten. Detta åtgärdas genom att dosera stora mängder kalk och järnklorid som tynger ner flockarna. Det största problemet verkar dock vara att stora mängder luft finns i systemet. Små luftbubblor fastnar i flockarna och lyfter upp dem till ytan. Sedimenteringen förbättras avsevärt då luften tas ur systemet.

Det visade sig att en stor del flockar följde med det renade vattnet ut p.g.a. att en vägg i lamellsedimenteringen hade lossnat. Flockar kunde då passera mellan sedimenteringsdelen och inloppet utan att gå igenom lamellerna. Vattenkvaliteten förbättrades då detta åtgärdades.

Trots att vattnet ut ofta var något grumligt och innehöll en hel del flockar, visar våra mätningar att anläggningen ändå klarar en reningseffekt m.a.p. suspenderat material på i genomsnitt 87 %. Bilaga 9 visar hur in och utvattnets turbiditet varierade under provtagningsperioden.

Ett någorlunda stabilt system för rening av avloppsvattnet utarbetades sedan av BIMs personal. Det största problemet visade sig vara luftinblandningen i systemet. När detta var löst sedimenterade alla flockarna. Systemet kräver dock en mycket stor kemikalieinblandning. pH i normaliseringen är 2 och pH i neutraliseringen hålls mellan 11 och 12. Då laddningen varierar i flockningsbassängen måste polymeren anpassas efter omständigheterna. Därför finns både en katjonisk och en anjonisk polymer till hands.

Då mycket ytaktiva ämnen eller lösningsmedel finns i avloppsvattnet blir vattnet ut fortfarande lite grumligt. Anläggningen klarar dock en 80 % rening m.a.p. suspenderat material.

## KEMIKALIEHANTERING I FULLSKALA

Att dosera kemikalierna i full skala medförde vissa komplikationer. Hur mycket skulle kalken spädas, hur mycket kemikalier skulle beställas och i vilka förpackningsenheter? Var skulle man köpa och förvara alla kemikalier?

Eftersom BIM Kemi redan var kund hos en av de största kemikaliegrossisterna i Göteborg, MB SWEDA, beslutades att även kemikalier till reningsverket skulle beställas därifrån. Kemikalier beställdes och levererades i hanterliga förpackningar. Släckt kalk i säckar à 25 kilo, 37 procentig svavelsyra i 25 liters dunkar och 76 % järnklorid i dunkar på 80 liter ( 96 kg ). Prov på olika polymerer skickades från G & L Beijer Industri AB i Stockholm. Dessa prover var förpackade i kartonger à 3 kilo oupplösta polymergryn. En polymer levererades i 25 liters dunk av Recoverent.

Enligt offerten från Recoverent skulle kalkmjölken spädas tills den innehöll tio procent kalk. Detta visade sig vara en för koncentrerad blandning för att flödet på kalkmjölken skulle fungera utan problem. Efter samråd med en av konstruktörerna av reningsanläggningen, beslutades att kalkhalten högst fick vara fem procent. Kalkmjölken blandades genom att kalkbehållaren fylldes med 400 liter vatten, omrörningen påbörjades och en säck kalk doserades.

Järnkloriden och svavelsyran levererades färdigblandade i dunkar och kunde kopplas in direkt i anläggningen.

Polymeren från Beijer var i pulverform. För att lösa upp den till en 0,1 procentig lösning blandades 50 liter vatten med 50 gram polymer direkt i doseringsbehållaren under kraftig omblandning. Polymeren doseras gradvis under några minuter eftersom en enskild dosering av en polymer leder till att polymeren klumpar ihop sig och blir svår att lösa upp. Omblandningen fortsätter i cirka 20 minuter till dess att polymeren är helt upplöst. Kraftig omblandning av polymeren under längre tid än en timma bör undvikas då starka skjuvkrafter kan sönderdela polymerkedjorna och försämra deras flockningseffekt. Polymeren är i pulverform lagringsstabil i torra miljöer. Upplöst bör den ej lagras i längre perioder. Generellt gäller att ju högre koncentration polymer desto stabilare är den.

Recoverents polymer doseras från dunken till doseringsbehållaren med vatten i förhållandet ett till tio.

Eftersom kemikalieförbrukningen blev mycket högre än väntat förbrukades cirka 25 kg kalk och 25 liter svavelsyra om dagen. Järnkloridförbrukningen hölls på ungefär 80 liter per vecka. Senare försök utförda av BIM själva visade dock att ingen stabil reningseffekt kunde uppnås om inte kemikalieförbrukningen var långt högre än detta.

Med en så hög förbrukning av kemikalier krävdes ett antal tunga lyft för att förse anläggningen med kemikalier. En kalksäck om dagen behövde lyftas upp till ovansidan av kalkomblandaren för att där tappas i kalkkaret. Tunga dunkar behövde flyttas till de ställen där doseringarna var förlagda. Eftersom det ej var möjligt för truckar att ställa kemikaliepallarna inne i rummet där reningsanläggningen var fick alla kemikalier flyttas in för hand.

Det fanns inget speciellt rum för kemikalieförvaring utan alla kemikalier förvarades i ett hörn inne i reningsanläggningsrummet. Här fanns inte mer plats än för kemikalier för högst ett par veckor.

## SYNPUNKTER PÅ RENINGSANLÄGGNINGENS UTFORMNING OCH DRIFT

Som alltid vid installationer av nya anläggningar uppstod det problem med BIM Kemis reningsanläggning. Det största och mest grundläggande misstaget var att införskaffa en anläggning för sedimentering i stället för flotation. Det som tillverkas består till största delen av vaxer och paraffiner som har lägre densitet än vatten. Det vore naturligt att ha en anläggning där man försökte få föroreningarna att flyta upp till ytan i stället för att få dem att sjunka. Resultaten från både laborationerna och fullskaleförsöken bestyrker detta påstående.

Något som försvårar reningen är att vattnet skiktat sig i bufferttanken. Detta gör att vattnet får en mycket varierande koncentration och sammansättning. Ett homogenerare vatten skulle kunna åstadkommas genom att installera en omrörare i bufferttanken.

Det skulle vara bra om det fanns ett automatstopp på bufferttanken så att översvämningsrisken elimineras då man pumpar in avloppsvatten från pumpgruppen.

Det inträffade ett flertal driftstopp på kalkmjölkdoseringen. Detta berodde främst på att ett elrör ramlat ner i kalkbehållaren under installationen. Detta hade sedan slagits sönder, fastnat i pumpen och reducerat dess kapacitet. Ett problem var att omrörningspropellen inte nådde ner till botten av behållaren vilket medförde att ingen omrörning erhöles då vattennivån sjönk under 20 procent av maxvolymen. Då ingen omrörning sker separerar kalkpartiklarna från slurryn och sedimenterar. En annan konstruktionsmiss var att uttaget för kalkmjölken låg på en lägre nivå än den nivå då omröraren slutade att fungera. Detta medförde att mycket tjock kalkmjölk pumpades in i rörsystemet och satte igen rören. Det bildades också en hävert från neutraliseringsbassängen till kalkmjölksbehållaren. På grund av detta fylldes kalkbehållaren med järnklorid flockar och avloppsvatten. Den fläkt som skulle installeras ovanför kalkpåfyllningen saknades också.

Det luftintag som fanns för att förhindra hävertteffekt mellan bufferttanken och normaliseringen bidrog till att luft blandades in i avloppsvattnet. De propellrar som blandade om vattnet i neutraliseringen drog även de ner luft i systemet. Detta resulterade i att skum bildades och flockarna floterades. Problemen med luft i systemet åtgärdades genom att ta bort luftintaget som skulle förhindra hävert och genom att ändra riktning på omrörningspropellrarna.

Vid ett fåtal tillfällen fastnade skimmern. Detta hände dock bara vid start av anläggningen då skimmern hunnit torka fast. Höjden på kanten från vattenytan var för låg vilket medförde att det skum som bildades ibland skummade över och föll ner på golvet. Då det ovan nämnda luftintaget togs bort upphörde dock skumbildningen vid skimmern.

Uppehållstiden för polymer är för lång i flockningsbassängen. Polymeren borde tillsättas i utloppet av bassängen och ha en jämnare dosering. Ett bekymmer var att flockarna slogs sönder i flockningsenheten. En av anledningarna kan vara att en propeller behöver snurra dubbelt så fort som en vanlig grind för att tillföra samma mängd energi. Detta medför att den lokala energin precis vid propellern blir mycket stor och flockarna slås sönder. En annan orsak kan vara att omröraren inte kunde snurra långsammare än 20 varv per minut på grund av en kylfläkt till motorn. Ytterligare en anledningen till att flockningen inte fungerade så bra var att flockningsbassängen var mer än dubbelt så lång som den var bred. Detta ger en mycket inhomogen energitillförsel och starka skjuvkrafter vid kortsidorna som påverkar flockarna. En lösning kunde vara att dela upp flockningsbassängen i två kvadratiska delar med två omblandare med lägre omrörningshastighet.

Problem med sönderslagna flockar verkar lösa sig genom att dosera stora mängder polymer. Upp till 5 g per m<sup>3</sup> krävs för att uppnå en någorlunda stabil flockbildning.

Normalt sett brukar man konstruera lamellsedimenteringsanläggningar på så sätt att lamellerna går upp ovanför vattenytan. Det blir då möjligt att se vilka lameller som satt igen och var man behöver rensa. Recoverents lamellsedimentor var inte konstruerad på detta sätt. En annan konstruktionsmiss var att den vägg som fanns mellan inloppet till sedimenteringsbassängen och lamellenheten inte var tät. Detta ledde till att flockarna inte transporterades genom lamellerna. De åkte istället direkt till utloppet.

Slamförtjockningsbassängen fungerade utmärkt, men röret från slambassängen till filterpressen skakade alldeles för mycket när slammet pumpades till filterpressen. Detta åtgärdades dock genom en pulsationsdämpare

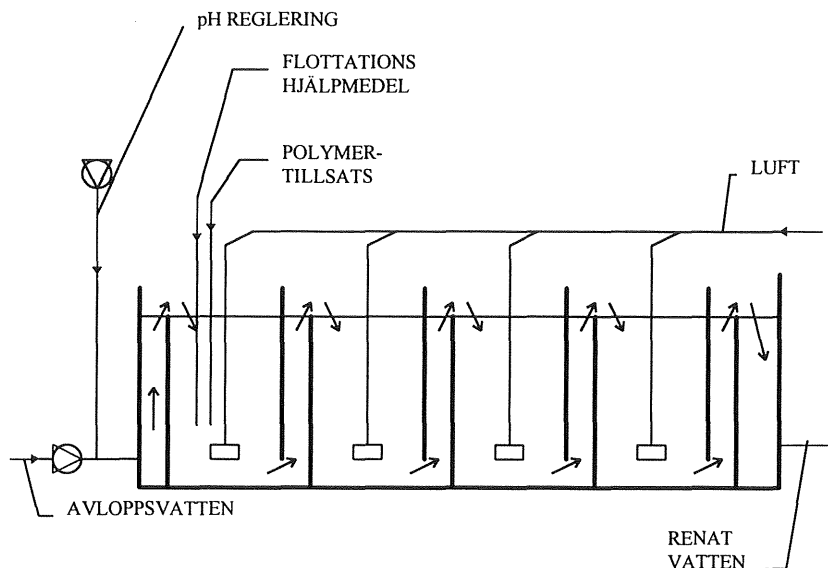
Vatten droppade från kammarfilterfilterpressen ner i behållaren där slamkakorna skulle förvaras. Trycket på plattorna minskade successivt vilket medförde att man inte kunde lämna filterpressen oövervakad. Då filterpressen var igång fick man själv öka lufttrycket då det sjunkit under 300 bar. Detta berodde på att det var luft i hydrauliksystemet. Då denna luft tagits bort fungerade det bättre. Det största problemet med filterpressen är dess låga kapacitet. För att slippa tömma den mer än två gånger per dag skulle denna behöva utökas. Porstorleken i filtertyget är liten vilket medför att porerna sätts igen av slammet. Man funderar idag på att byta filterduk.

En mycket användbar sak var pumpen som införskaffades och placerades centralt i anläggningen. Med denna var det möjligt att avlägsna flytande flockar och slam från bassängerna.

Kemikaliehanteringen är lite omständlig och krävde tunga lyft. Det skulle varit önskvärt om truckar kunde komma till och lasta av de nödvändiga kemikalierna där de doseras.

## TIDIGARE FORSKNING PÅ RENING AV VATTEN MED PARAFFINEMULSIONER

Ett av de ledande företagen i Tyskland inom kemikalietillverkning för reningsanläggningar är Schumann i Hamburg. Schumann har forskat på hur avloppsvatten ska renas och de har bland annat specialiserat sig på att rena vatten med svårnedbrytbara emulsioner av paraffin. I artikeln "Emulsionsspaltaren" i Umwelt & technik 5/92 beskriver Norbert Bley företagets forskning och resultat.



Figur 16: Reningsanläggningen som föreslås av Norbert Bley. Anläggningen är tänkt för rening av vatten innehållande paraffinemulsioner.

Norbert säger i artikeln att Schumann har flerårig erfarenhet av vattenrening av bland annat fetter från slakterier, impregneringsmedel från kläder, restprodukter från pappersbruk med mera. Detta är produkter som i stort sett är lika de produkter som BIM Kemi tillverkar.

Bley föreslår en flotationsanläggning i flera steg. De kemikalier som han föreslår ska användas till vattenreningen är specialtillverkade produkter från Schumann. Den anläggning som beskrivs är större än den som BIM Kemi införskaffat, men en reningsanläggning i mindre skala borde också fungera. I artikeln beskrivs många svårigheter med att bryta emulsioner och rena vattnet. De problem som Bley beskriver är i mångt och mycket samma som de problem som uppstått i laborationsförsöken på Chalmers. En flotationsanläggning borde dock fungera med järnklorid och polymer vilket skulle leda till mindre kemikalieåtgång och billigare drift.

## KOSTNADSUPPSKATTNING

Den slutliga kemikalietillsatsen blev mycket stor. Det visade sig vara nödvändigt att ha ett pH i normaliseringen på 2 och ett pH i neutraliseringen på 12. För att få stabila flockar tillsattes även stora mängder polymer.

|                         | Kostnad    | Tillsats per m <sup>3</sup> | Kostnad kr/m <sup>3</sup><br>avloppsvatten |
|-------------------------|------------|-----------------------------|--------------------------------------------|
| 76 % Järnklorid lösning | 4.0 kr/kg  | 2.5 l                       | 10                                         |
| 37 % Svavelsyra         | 3.75 kr/kg | 2.8 l                       | 10.4                                       |
| Kalk                    | 3.5 kr/kg  | 1.9 kg                      | 7.3                                        |
| Polymer                 | 34 kr/kg   | 5 g                         | 0.17                                       |
|                         |            |                             |                                            |
| Total kostnad           |            |                             | 27.87 kr/m <sup>3</sup>                    |

Tabell 10: Kostnader för kemikalier enligt det slutliga systemet för rening.

I offerten BIM fick ifrån Recoverent finns förslag på kemikalietillsatser. Dessa samt kostnader per m<sup>3</sup> är angivna i tabell 11.

|                        | Kostnad    | Tillsats per m <sup>3</sup> | Kostnad kr/m <sup>3</sup><br>avloppsvatten |
|------------------------|------------|-----------------------------|--------------------------------------------|
| 76% Järnklorid lösning | 4.0 kr/ kg | 0.47 l                      | 2.05                                       |
| 37 % Svavelsyra        | 3.75 kr/kg | 1.0 l                       | 3.8                                        |
| Kalk                   | 3.5 kr/kg  | 0.25-0.5kg                  | 0.875-1.75                                 |
| Polymer                | 34 kr/kg   | 2 g                         | 0.07                                       |
|                        |            |                             |                                            |
| Total kostnad          |            |                             | 7.23                                       |

Tabell 11: Kostnader för kemikalier enligt Recoverents offert.

Som ni ser skulle kostnaden ha blivit betydligt lägre.

I Lerums vattenreningsverk förbrukas upp till 0.15 l 76 % järnklorid per m<sup>3</sup>. Halten suspenderat material är ca. 200 g/m<sup>3</sup>. Inga andra kemikalier tillsätts. BIMs avloppsvatten har en susphalt på ca. 2000 g/m<sup>3</sup> och förbrukar kemikalier enligt tabell 10 ovan.

|                            | Lerums verk | BIM   |
|----------------------------|-------------|-------|
| Susphalt kg/m <sup>3</sup> | 0.2         | 2.0   |
| Kostnad/susphalt kr/kg     | 3.28        | 13.94 |

Tabell 12: Kostnader för kemikalier per kg suspenderat material.

Kostnader för rening av BIMs avloppsvatten kontra kommunens är alltså hög.

|                                                 |
|-------------------------------------------------|
| <h2 style="text-align: center;">REFERENSER</h2> |
|-------------------------------------------------|

Tatsuo Sato och Richard Ruch, (1980) , "STABILISATION OF COLLOIDAL DISPERSIONS BY POLYMER ADSORPTION " , surfactant science series volyme 9

Mikael Westrot, ( 1994), Offert till BIM Kemi, Recoverent AB, Stenungsund

Rolf Bergström, (1977), Kalk vid avloppsvattenrening, Kalk i vattenvården, Svenska kalkföreningen.

Norbert Bley, (1992), "Emulsionsspalterein" Umwelt & Technik 5/92

Torsten Hedberg, (1994), Kompendium i Vattenbehandling, Institutionen för VA-teknik Chalmers.

Beslut 94-01-12 Koncessionsnämnden för miljöskydd avdelning 4, Nr 3/94, Dnd 135-51-93, Stockholm.

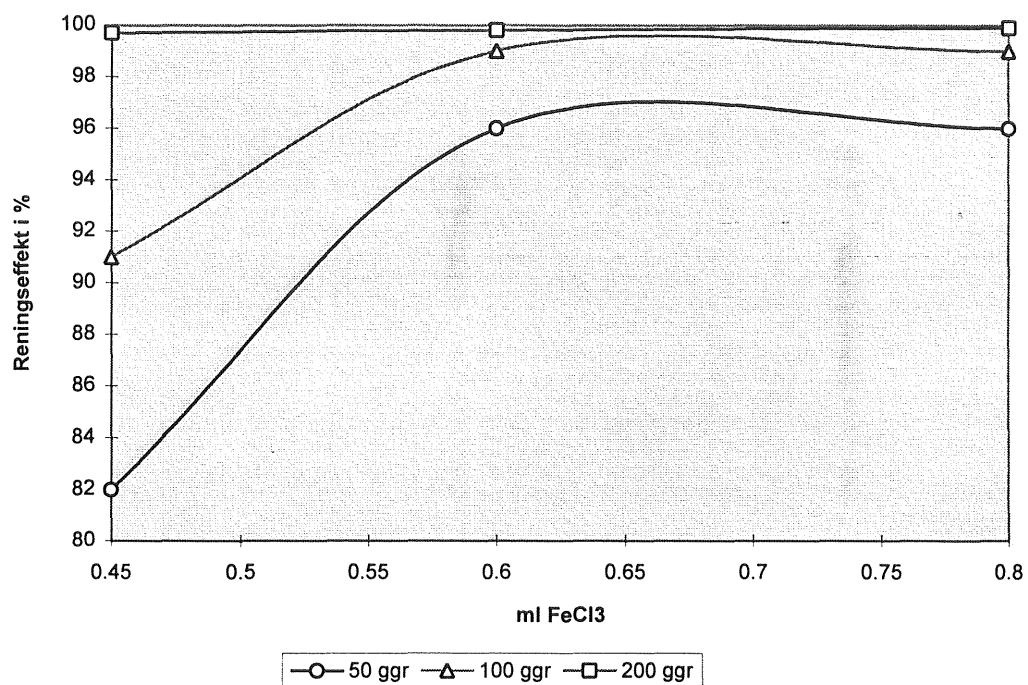
Karl-Erik Norman, (1990), Försäljning och varuinformation, G & L Beijer Industri AB. Box 325, S-201 23 Malmö. Tel: 040-358300

Kenneth J. Lissant, (1974), "Emulsions and Emulsion Technology", Part 1, chapter 2  
Marcell Dekker 1974

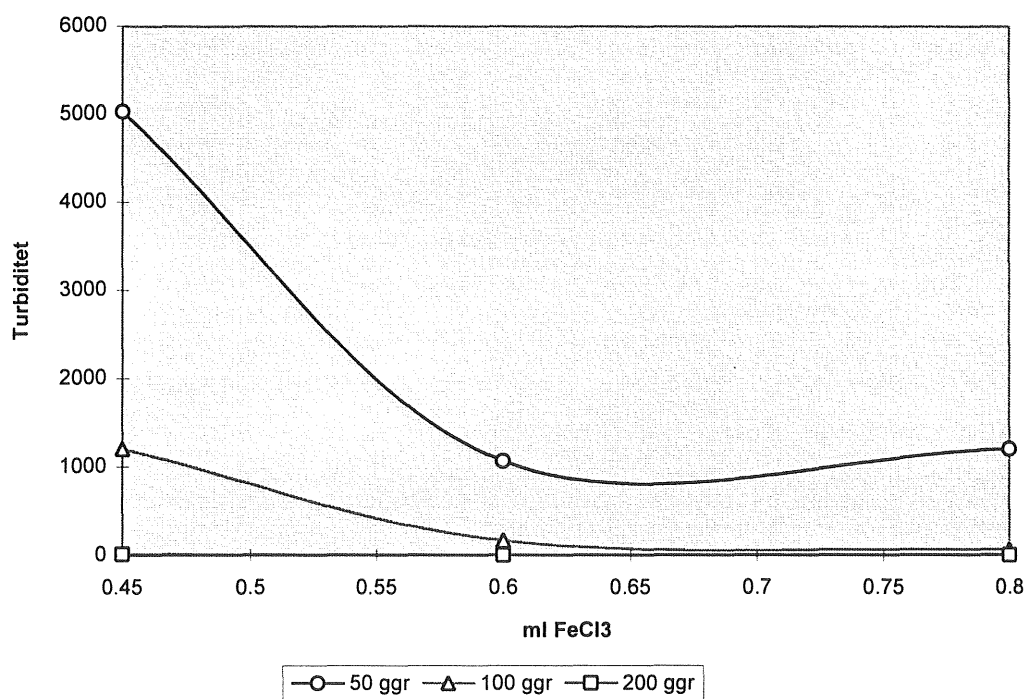
W. Fischer, "Wissenswertes über "Geflocktes""  
Ausgabe Desember 1992

Robert B. Dean and Ebba Lund, "Water Reuse", sid. 119 Water treatment technology och sid. 184 Advanced waste treatment.  
Academic Press 1981

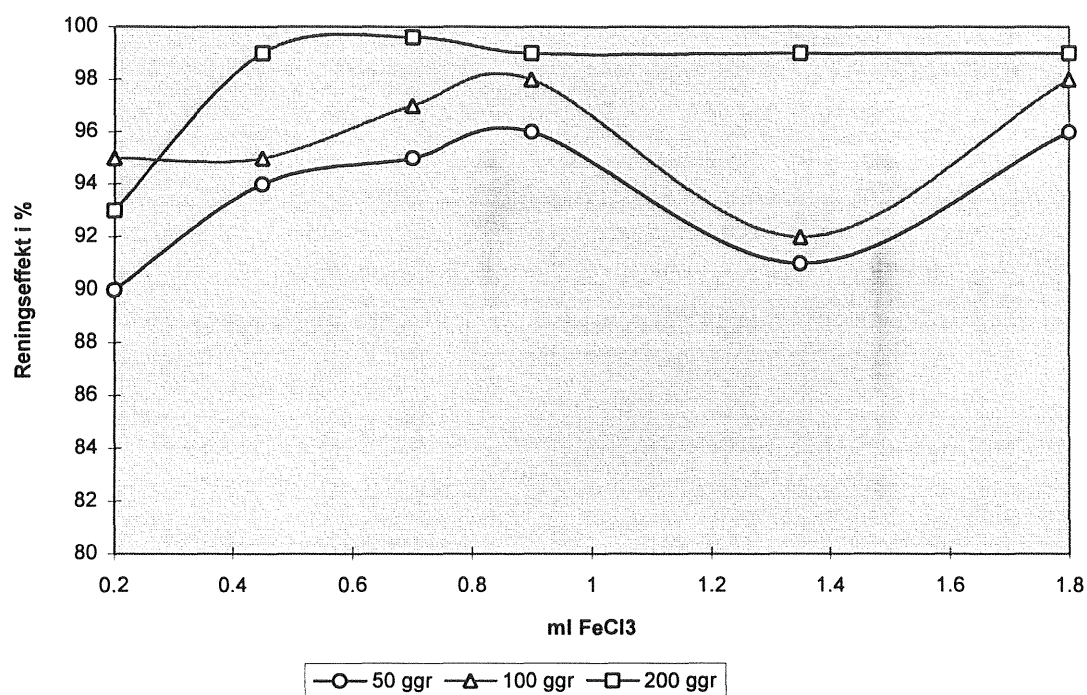
## Spädningsberoendet Aq 1525



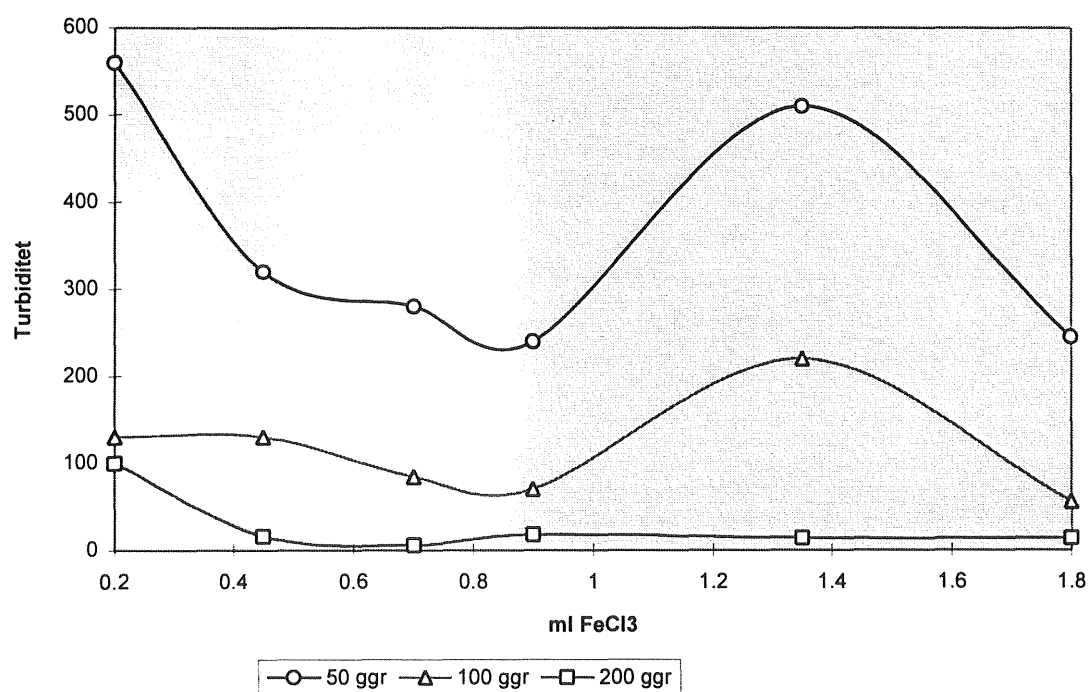
## Spädningsberoendet för Aq 1525



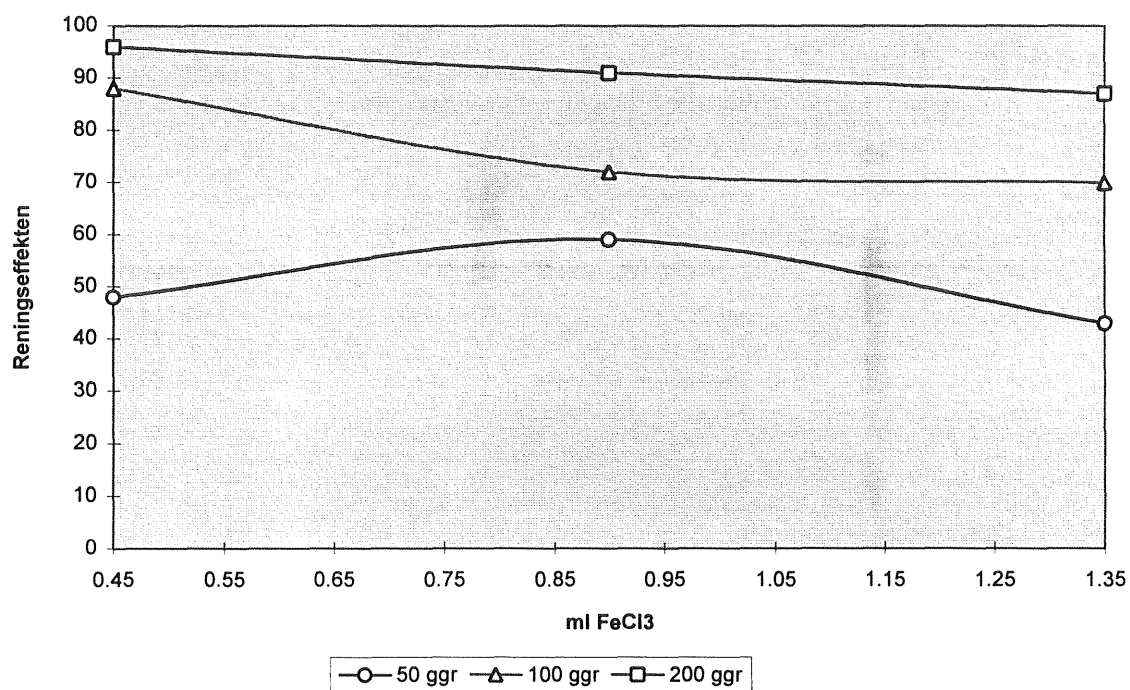
## Spänningsberoendet för Disp 150-11



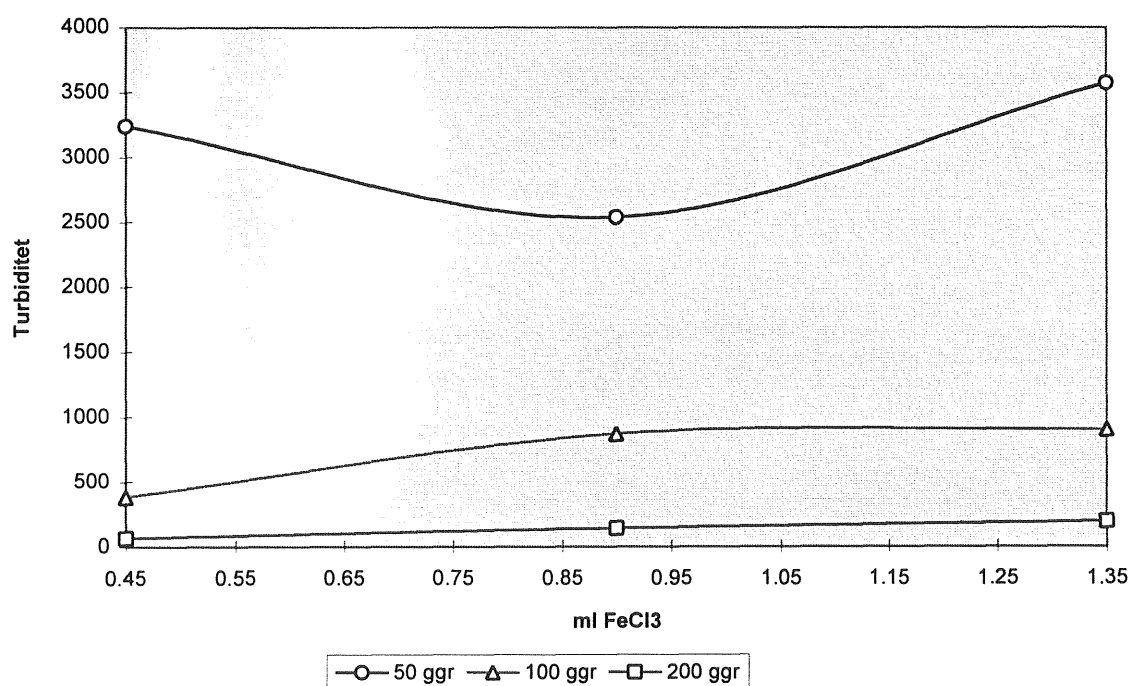
## Spänningsberoende för Disp 150-11

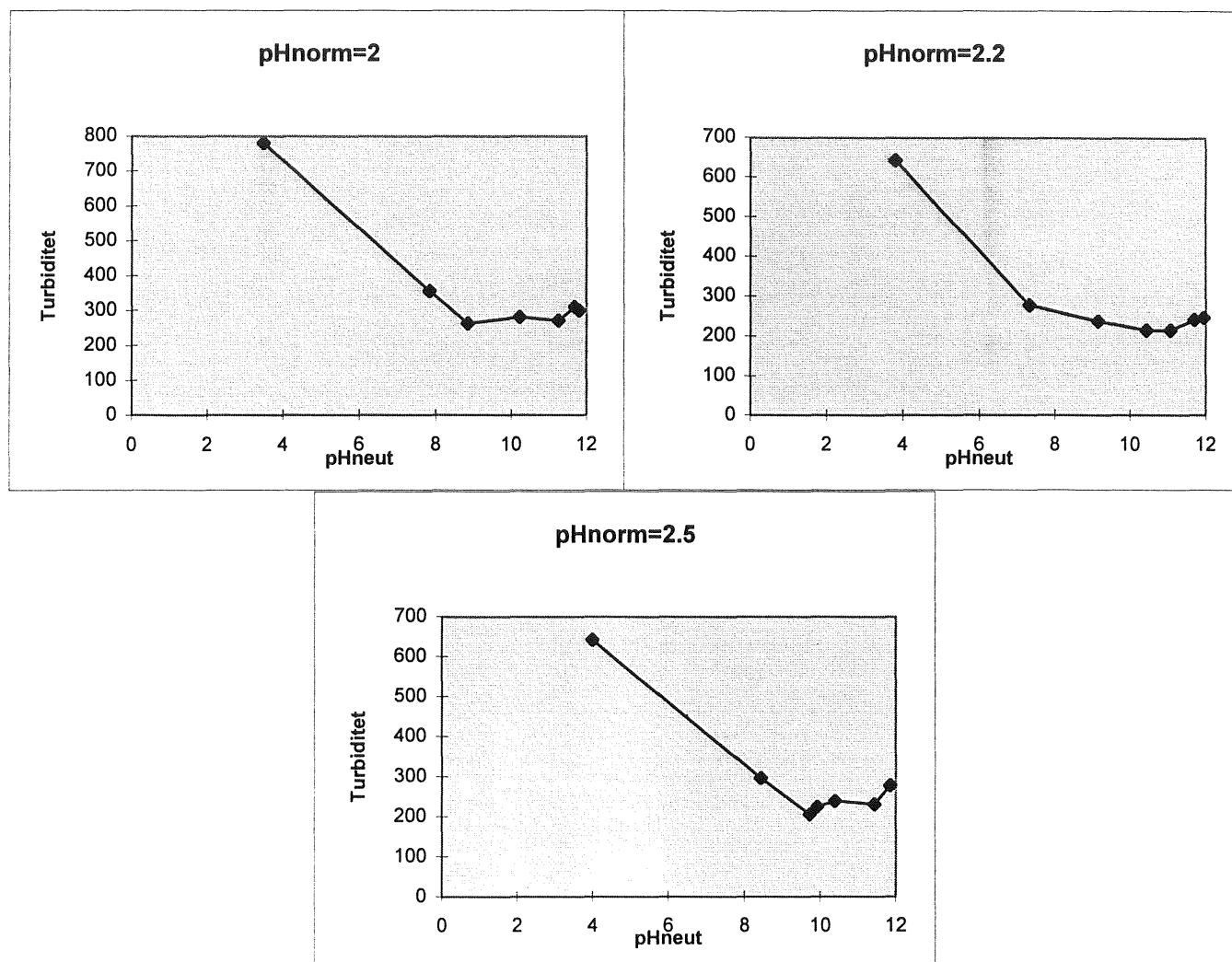


## Spädningsberoendet för NL 12



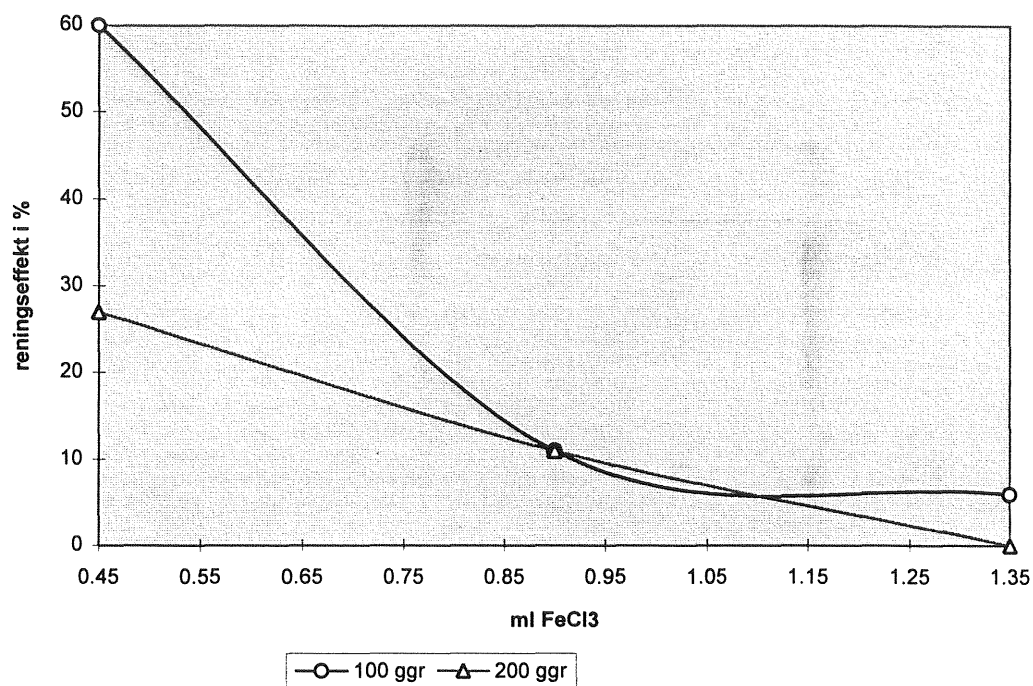
## Spädningsberoendet för NL 12



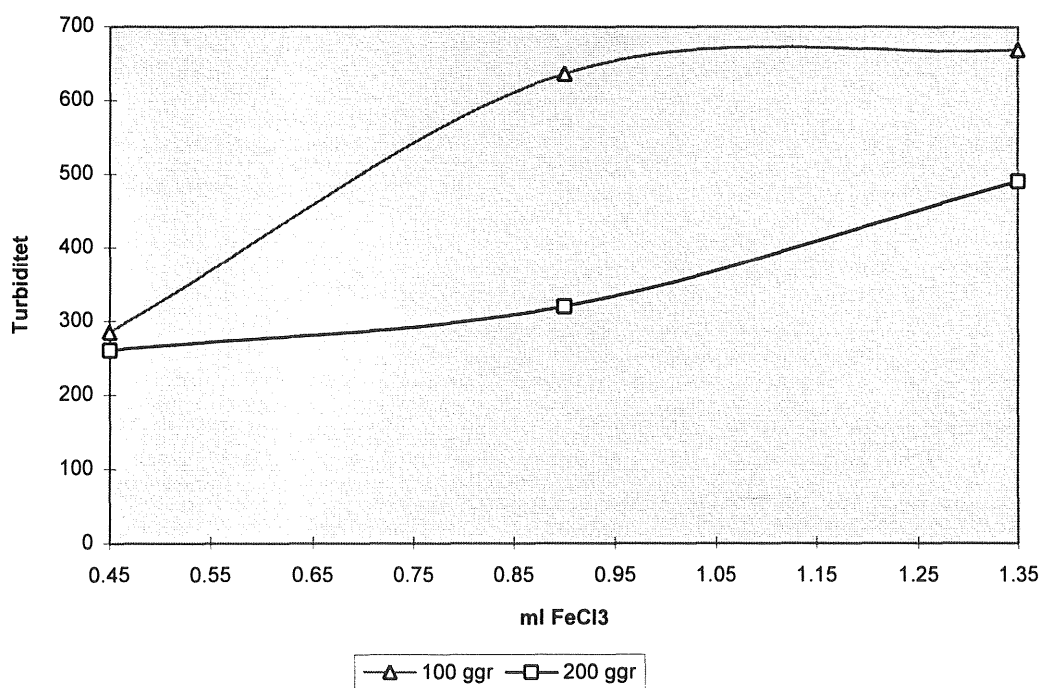


PH i neutraliseringens inverkan på reningen av Bimex 400 vid olika pH i normaliseringen.

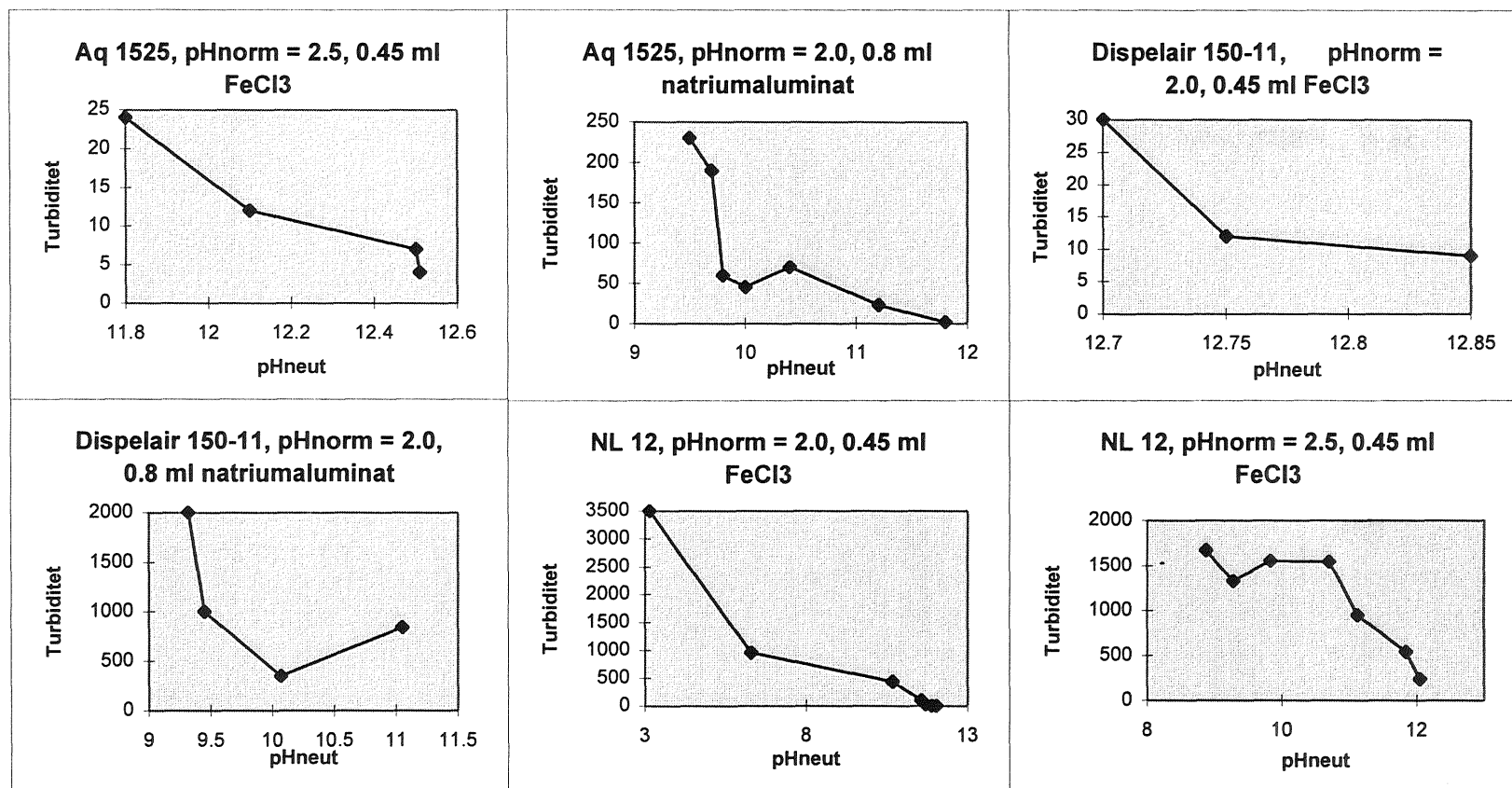
## Spädningsberoendet för Bimex 400



## Spädningsberoendet för Bimex 400



# Bilaga 6



Några exempel på hur turbiditeten minskar då pH i neutraliseringssteget ökar.

Bilaga 7

| ÄMNE               | UTSPÄDNING                    | PHNORM | l/m <sup>3</sup> FeCl <sub>3</sub><br>67% | l/m <sup>3</sup> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub><br>4 M | PHNEUT | kg/m <sup>3</sup> KALK |
|--------------------|-------------------------------|--------|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------|------------------------|
| Aq 1525            | 100 ggr.                      | 2.0    | 0.45                                      | 1.20                                                   | 11.8   | 1.35                   |
|                    | 100ggr.                       | 2.5    | 0.45                                      | 0.23                                                   | 12.5   | 2.25                   |
|                    | 100ggr.                       | 2.2    | 1.00                                      |                                                        | 10     |                        |
|                    | 200ggr.                       | 2.2    | 0.45                                      |                                                        | 10     |                        |
| Disp 150-11        | 100ggr.                       | 2.0    | 0.45                                      | 0.66                                                   | 12.8   | 1.20                   |
|                    | 100ggr.                       | 2.2    | 0.9                                       | 0.50                                                   | 9      | 0.50                   |
|                    | 200ggr.                       | 2.2    | 0.45                                      | 0.56                                                   | 6      | 0.50                   |
| NL 12              | 100ggr.                       | 2.0    | 0.45                                      | 0.80                                                   | 10.7   | 0.60                   |
|                    | 100ggr.                       | 2.5    | 0.45                                      | 0.09                                                   | 11.8   | 0.70                   |
|                    | 200ggr                        | 2.2    | 0.20                                      | 1.08                                                   | 8      | 0.50                   |
| Bimex 400          | Blir aldrig tillräckligt rent |        |                                           |                                                        |        |                        |
| Bland 1 utan Bimex | 100ggr                        | 2.2    | 0.45                                      | 1.40                                                   | 11     | 1.00                   |
| Bland 2            | 100ggr.                       | 2.2    | 0.3                                       | 2.00                                                   | 7.8    | 1                      |

Detta är en översikt över vilken tillsats av järnklorid,syra och kalk samt vilket pHnorm resp. pHneut som krävs för att reningseffekten skall bli 80 %.

| * = 10 ggr utsp och turb multiplicerad med 10 |                          |           |           |       |        |        |         |          |              |              |          |
|-----------------------------------------------|--------------------------|-----------|-----------|-------|--------|--------|---------|----------|--------------|--------------|----------|
| Datum                                         | tid                      | turb V in | turb V ut | pH in | pHnorm | pHneut | polymer | laddn in | laddn i norm | laddn i neut | laddn ut |
| 20-sep                                        | 10:30                    | 11300 *   |           | 11.8  |        |        |         | -25      |              |              |          |
| 20-sep                                        | 15:00                    | 2420 *    | 20        | 10    |        |        |         |          |              |              |          |
| 21-sep                                        | 8:45                     | 2010 *    |           | 11.07 |        |        |         | -30      |              |              |          |
| 21-sep                                        | 11:20                    |           |           |       |        |        |         | -30      |              |              |          |
| 21-sep                                        | 14:30                    | 2250 *    |           | 11.9  |        |        |         |          |              |              |          |
| 21-sep                                        | 15:30                    | 2580 *    |           | 11    |        |        |         |          |              |              |          |
| 22-sep                                        | 10:00                    | 630       |           |       | 2.65   | 12.1   |         | -30      |              |              |          |
| 22-sep                                        | 13:00                    | 1900 *    |           | 12.11 | 2.65   | 12.1   |         |          |              |              |          |
| 22-sep                                        | 16:00                    |           |           |       | 3.25   | 12.3   |         |          |              | 8            |          |
| 23-sep                                        | 9:30                     |           |           |       | 3      | 10     |         |          |              |              |          |
| 23-sep                                        | 7:12                     |           |           |       | 2.8    | 10.5   |         |          |              |              |          |
| 26-sep                                        | 10:00                    |           |           |       | 2.75   | 11.6   |         |          |              | 5            |          |
| 26-sep                                        | 13:00                    | 1900 *    |           |       |        |        |         |          |              |              |          |
| 27-sep                                        | 11:20                    | 2880 *    |           | 12    | 2.25   | 12.25  |         |          |              |              |          |
| 27-sep                                        | 13:50                    | 2290 *    |           | 10.9  |        |        |         |          |              |              |          |
| 27-sep                                        | 14:00                    | 1850 *    | 80        |       |        |        |         |          |              |              |          |
| 28-sep                                        | 9:30                     | 1899      |           |       | 2.25   | 12.7   |         |          |              | -11          |          |
| 28-sep                                        | 11:30                    |           | 338       |       |        |        |         |          |              |              |          |
| 28-sep                                        | 13:00                    | 1080 *    | 100       |       |        |        |         |          |              | -10          |          |
| 28-sep                                        | 14:20                    | 1890      | 52        |       |        |        |         |          |              |              |          |
| 28-sep                                        | 16:00                    | 1900      | 88        |       |        |        |         |          |              |              |          |
| 29-sep                                        | 9:30                     | 1925      |           |       |        |        |         | -15      |              |              |          |
| 29-sep                                        | 10:30                    | 1580      | 78        |       |        | 12.25  |         |          |              | -22          | -16      |
| 29-sep                                        | 11:50                    |           |           |       |        |        |         |          | 3            | -15          |          |
| 29-sep                                        | 13:10                    | 3990      | 60        |       |        | 12.6   |         | -17      | 9            | -19          |          |
| 30-sep                                        | 15:00                    | 4000 *    | 250       |       |        |        |         |          |              |              |          |
| 30-sep                                        | 15:40                    | 3850 *    | 850       |       |        |        |         |          |              |              |          |
| 3-okt                                         | 9:30                     | 4450 *    |           |       |        |        |         |          |              |              |          |
| 3-okt                                         | 9:45                     |           | 133       |       |        |        |         |          |              |              |          |
| 3-okt                                         | 10:00                    |           |           |       |        |        |         |          |              | -25          |          |
| 3-okt                                         | 10:45                    | 7800 *    | 570       |       |        |        |         |          |              |              |          |
| 3-okt                                         | 11:30                    | 12500 *   | 1900      |       |        |        |         |          |              |              |          |
| 3-okt                                         | 12:45                    |           |           |       |        |        |         |          |              |              | -23      |
| 3-okt                                         | 13:15                    |           |           |       |        | 6.1    |         |          |              | -6.32        |          |
| 3-okt                                         | 13:20                    |           | 86        |       |        | 10.3   |         |          |              | -13          |          |
| 3-okt                                         | 13:22                    |           |           |       |        | 11     |         |          |              | -13.73       |          |
| 3-okt                                         | 13:24                    |           |           |       |        | 11.3   |         |          |              | -17.21       |          |
| 3-okt                                         | 13:30                    |           |           |       |        | 11.7   |         |          |              | -26.33       |          |
| 4-okt                                         | 12:00                    |           |           |       |        | 12.5   |         |          |              | -0.5         |          |
| 4-okt                                         | 13:00                    | 2030 *    | 1370      |       |        | 11.5   |         |          |              | -2           |          |
| 4-okt                                         | 14:00                    | 1950 *    | 900       |       |        |        |         |          |              |              |          |
| 4-okt                                         | 15:00                    |           | 230       |       |        |        |         |          |              |              |          |
| 4-okt                                         | 15:40                    | 1840 *    | 160       |       |        |        |         |          |              |              |          |
| 7-okt                                         | 10:00                    |           |           | 9.7   | 2      | 9.75   |         |          |              |              |          |
| 10-okt                                        | 9:30                     |           |           |       | 2.25   | 10.6   |         |          |              |              |          |
|                                               | Medel                    | 3257      | 404       |       |        |        |         |          |              |              |          |
|                                               | Reningseffekt medel 87 % |           |           |       |        |        |         |          |              |              |          |

Resultat från försök i fullskala

Förändringar i avloppsvattnets turbiditet

