

CHALMERS



Avvattning av biologiskt slam

– Vid Preemraff Göteborg

NES GANIC

Institutionen för kemi- och bioteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2011

Avvattning av biologiskt slam

– Vid Preemraff Göteborg

Dewatering of biological sludge

– At Preemraff Göteborg

NES GANIC

Examinator:

Gunnar Eriksson, institutionen för kemi- och bioteknik, Chalmers tekniska högskola.

Handledare:

Ewa Uhlin, Preemraff Göteborg

Examensarbete, 16,5 högskolepoäng

Förord

Examensarbetet är utfört vid Preemraff Göteborg under utbildning till kemiingenjör på Chalmers tekniska högskola.

Jag vill inleda rapporten med ett stort tack till alla som intresserat sig och hjälpt mig under examensarbetet.

Ewa Uhlin, min handledare och processingenjör på Preemraff Göteborg, för sitt stöd och engagemang under examensarbetet.

Lina Svensson, produktionsingenjör på Preemraff Göteborg, för hjälp med idéer och insamling av data.

Martin Nilsson, miljöingenjör på Preemraff Göteborg, för hjälp vid provtagning och analyser av bioslam.

Cecilia Hellman, processingenjör på Preemraff Göteborg, för sitt intresse och bidragande med kunskap.

Kenneth Johansson, projektingenjör på Preemraff Göteborg, för hjälp med framtagande av kostnader i samband med investeringar.

Per Hallin, samordnare på Preemraff Göteborg, för hjälp vid fotografering av reningsverket.

Per-Olle Hansson, drifttekniker på Preemraff Lysekil, för hjälp med centrifugeringstest i fullskala.

Sara Ljung, miljöingenjör på Preemraff Lysekil, för hjälp vid analyser av bioslam och framtagande av olika kostnader.

Gunnar Eriksson, för ditt stöd som examinator på Chalmers.

Per Svensson, account manager på Nalco, för engagemang och kunskap vid genomförande av labbtester.

Personalen på Preemraff Göteborgs laboratorium, för hjälp vid utförande av labbtester.

Samtliga på avdelningen för processteknik, för trevligt bemötande.

Sammanfattning

Preemraff Göteborgs processvatten renas i ett eget reningsverk på raffinaderiet innan det hamnar i recipient. Reningsverket inkluderar steg som API-separator, sandfilter, biofilter och en flotationsanläggning som avslutande steg där biologiskt slam samlas på vattenytan. Tidigare utförda analyser på bioslammet har uppvisat högt vatteninnehåll och eftersom kostnad vid slamsugning baseras på vikt undersöktes avvattningstekniker för att reducera vattenmängden och därmed kostnaden.

Dekantercentrifuger och filterpressar hör till vanligt förekommande avvattningsutrustningar och dessa granskades för bedömning av lämplighet för Preemraff Göteborgs bioslam. Att hitta en lämplig polymer som tillsats för att flokka bioslammet och bidra till en effektivare avvattning kan vara till stor fördel. Av den anledningen utfördes fyra laborietester för att finna en polymer med goda flockningsegenskaper för bioslammet. Ett centrifugeringstest genomfördes i laboratorieskala för att utvärdera avvattningsförmågan. Polymerer som uppvisat god flockningsförmåga i tidigare utförda tester tillsattes innan centrifugen startades. Efter lyckade avvattningsresultat i mindre skala beslutades att genomföra ett fullskaletest med en dekantercentrifug på Preemraff Lysekil.

Bioslam från Preemraff Göteborg transporterades till Lysekil och förvarades i en slambassäng under omrörning. En torrsubstanshalt på 3,1 viktprocent uppmättes för det ocentrifugerade slammet och efter centrifugen erhöles en torrsubstanshalt på 13,1 viktprocent. Totalt centrifugrades 37 kubikmeter bioslam till en mängd på ungefär 10 kubikmeter avvattnat slam.

Kostnadskalkyl för befintlig slamhantering jämfördes med två alternativa lösningar.

- 1) Inköp och operation av egen dekantercentrifug.
- 2) Utnyttja slamavvattningstjänst i samarbete med Preemraff Lysekil.

Dessa alternativa lösningar för bioslamshanteringen visar på goda möjligheter till att reducera befintliga kostnader.

Abstract

The process water at Preemraff Göteborg is treated in a treatment plant at the refinery before sent to the effluent recipient. The treatment plant includes an API-separator, sand filter and bio filter and a final flotation step where biological sludge is formed at the water surface. Previous analyses on the biological sludge have shown a high water content. Since the sludge handling cost is based on weight the aim of this thesis was to evaluate different dewatering techniques in order to reduce the cost.

Conventional dewatering equipments are decanter centrifuges and filter presses. The suitability of both these techniques was evaluated. To further improve the dewatering efficiency a polymer chemical can be added. In order to find the most efficient polymer four laboratory tests were performed. The total dewatering efficiency was investigated in a laboratory scale test using a centrifuge. The polymer additive with best flocculating properties was added to the sludge sample to be centrifuged. After successful dewatering results in laboratory scale the test was repeated in a full scale test in a decanter centrifuge at Preemraff Lysekil. Biological sludge from Preemraff Göteborg was transported to Preemraff Lysekil and stored in a stirred sludge basin. The dry matter content of the uncentrifuged sludge was 3,1 weight percent. After centrifugation the dry matter content was 13,1 weight percent. Altogether the initial 37 m³ of biological sludge was reduced down to approximate 10 m³.

The cost for two different dewatering alternatives was estimated.

- 1) Purchase and operation of a decanter centrifuge.
- 2) Purchase of a sludge dewatering service in cooperation with Preemraff Lysekil.

The investigation of alternative solutions for the biological sludge handling has shown great potential to reduce existing costs.

Innehållsförteckning

1. INLEDNING	1
1.1 BAKGRUND.....	1
1.2 SYFTE.....	1
1.3 AVGRÄNSNINGAR	1
1.4 METOD.....	1
2. TEORI	2
2.1 PREEM – SVERIGES STÖRSTA RAFFINADERIVERKSAMHET	2
2.2 PRODUKTION	2
2.2.1 <i>Fraktionerad destillation</i>	2
2.3 BLANDNINGAR.....	3
2.4 MILJÖ.....	3
2.5 PREEMRAFF LYSEKIL	4
2.6 PREEMRAFF GÖTEBORGS VATTENRENING	5
2.6.1 <i>Utjämningsstank</i>	5
2.6.2 <i>API-separator</i>	5
2.6.3 <i>Sandfilter</i>	6
2.6.4 <i>Biofilter</i>	6
2.6.5 <i>Flotation</i>	7
2.7 SLAMAVVATTNING	9
2.8 AVVATTNINGSTRUSTNING.....	9
2.8.1 <i>Centrifugering</i>	9
2.8.2 <i>Filterpress</i>	10
2.8.3 <i>Förtjockare</i>	11
2.9 VAL AV AVVATTNINGSTEKNIK.....	12
2.10 TILLSATS AV POLYMER.....	12
3. DATAINSAMLING	13
3.1 PREEMRAFF GÖTEBORGS PRODUKTION AV BIOSLAM.....	13
3.2 ANALYS AV BIOSLAM	13
3.3 BOTTENSLAM FRÅN RÅOLJETANKAR	14
4. LABORATIVA MOMENT	15
4.1 LABORATIONSFÖRSÖK MED POLYMERER	15
4.1.1 <i>Försök 1</i>	15
4.1.2 <i>Försök 2</i>	16
4.1.3 <i>Försök 3</i>	17
4.1.4 <i>Försök 4</i>	18
4.1.5 <i>Slutsats</i>	19
4.2 CENTRIFUGERING I LABORATORIESKALA.....	19
5. FULLSKALETEST	22
5.1 CENTRIFUGERING I FULLSKALA	22
5.1.1 <i>Dekantercentrifugeringstest</i>	23
6. KOSTNADSKALKYL	25
6.1 BEFINTLIGA KOSTNADER:	25
6.2 KOSTNADER FÖR KÖP AV EGEN UTRUSTNING:	25
6.3 KOSTNADER FÖR AVVATTNING PÅ PREEMRAFF LYSEKIL:.....	26
7. SLUTSATSER	28
8. FÖRSLAG PÅ FORTSATT ARBETE	29
REFERENSER	30
BILAGA 1 – PREEMRAFF GÖTEBORGS PRODUKTION AV BIOSLAM	
BILAGA 2 – BOTTENSLAM FRÅN RÅOLJETANKAR	

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Preems raffinaderi i Göteborg har ett reningsverk där det avslutande steget är en flotationsanläggning. Det slam som bildas och avskiljs i flotationsanläggningen innehåller mycket vatten när det skickas till destruktion. Av kostnadsskäl är det således önskvärt att reducera mängden vatten.

1.2 Syfte

En litteraturstudie över olika avvattningstekniker för ett teoretiskt jämförande av dessa. Därefter väljs en avvattningsteknik ut för noggrannare utvärdering genom praktiska tester. Eftersom en kostnadsreducering för slamhanteringen är önskvärd skall alternativa lösningsförslag läggas fram.

1.3 Avgränsningar

Arbetet pågick under tio veckor vilket innebar att tiden var den största begränsningen. Ett avvattningsförsök i större skala fick således begränsas till en utvald utrustning och vid ett tillfälle. Det var även önskvärt att genomföra avvattningsförsök med slam från råoljetankar tagna ur drift, men eftersom ingen sådan tank var tillgänglig under examensarbetet fick det uteslutas. Vid kalkyl för beräkning av investeringskostnader för lämplig utrustning fick approximationer på ± 50 procent tillämpas på grund av begränsad tid.

1.4 Metod

Till en början insamlades material för att få en god grund om slamhantering och olika typer av utrustningar som används vid avvattning av slam. Litteratur söktes via databaser och böcker, samt att kunskaper erhöles genom kontakt med leverantörer och personal på Preems båda raffinaderier. Tester i mindre skala utfördes på laboratorium och därefter genomfördes ett fullskaletest. Kostnad för vald avvattningsteknik beräknades fram för utvärdering av kostnadsbesparing gentemot befintliga kostnader. Rapporten sammanställdes kontinuerligt under examensarbetets gång.

2. Teori

2.1 Preem – Sveriges största raffinaderiverksamhet

Preem AB har två raffinaderier, belägna i Göteborg respektive Lysekil. Tillsammans står de för ungefär 80 procent av den svenska raffinaderikapaciteten. Preem raffinaderi i Göteborg förädlar råolja till produkter som bensin, diesel, flygbränsle, eldningsolja och gasol med en kapacitet på omkring sex miljoner ton per år. Råoljan importeras främst från Nordsjön med fartyg som lossar från Torshamnen till raffinaderiets två bergrum. Från dessa bergrum pumpas önskade mängder råolja till själva anläggningen där den förvaras i stora tankar. Från tankarna pumpar man därefter oljan till processen där den nyttjas för att utvinna önskade produkter.

Raffinaderiet i Göteborg stod klart 1967 och ägdes vid den tiden av BP. Under årens gång har olika aktörer varit inblandade i ägandet av raffinaderiet. År 1996 blev det nya namnet "Preem Petroleum AB", vilket ändrades till "Preem AB" år 2008. Själva "Preem" är taget från det engelska ordet pre-eminent som betyder utomordentligt framstående. [1]

2.2 Produktion

Det första steget i processen är att öka temperaturen på ingående råolja. Detta görs i en råoljeugn, men även genom värmeväxling med produkter från senare steg i processen och som håller en högre temperatur. Syftet är även att sänka slutproduktens temperatur. Genom att göra på detta sätt tar man tillvara på överskottsenergi. Detta bidrar till energisnålare verksamhet vilket gynnar företaget ekonomiskt, men även miljön i allra högsta grad. Råoljan som importeras är inte fri från oönskade partiklar utan innehåller ofta salter. För att avlägsna dessa salter leder man råoljan i en så kallad avsaltare. I det här steget blandas råoljan med vatten och natriumhydroxid för att få bort saltet. Den avsaltade råoljan förs därefter genom en mängd olika processer såsom uppvärmnings-, destillerings-, hydrerings-, fraktioneringssteg mm. för att slutligen erhålla de olika produkter som man säljer vidare. [1]

2.2.1 Fraktionerad destillation

För att kunna nyttja råoljans olika komponenter krävs att dessa separeras. Fraktionerad destillation är vad man använder sig utav och detta innebär att differensen i ångtryck mellan de olika komponenterna i råoljan utnyttjas. Vid upphettning av råoljan förångas olika komponenter vid olika temperaturer. De ämnena med svagast intermolekylära krafter, dvs. högst ångtryck, förångas tidigare och på så sätt kan man urskilja råoljans olika fraktioner. I destillationstornet finns det en rad olika nivåer, eller bottnar, där blandning, jämviktsinställning och separation sker. Uttag på olika höjder från destillationstornet sker för de olika fraktionerna i råoljan. Ventilerna på bottarna i destillationstornet öppnas upp av förångade komponenter som passerar genom vätskefasen vid varje botten och antingen kondenseras eller fortsätter uppåt i tornet. Kondensationen innebär frigöring av värme och bidrar därmed till att hålla vätskan kokande. Tornet har således ett konstant flöde av vätska som rinner nedåt samtidigt som gaserna stiger uppåt. Detta bidrar till att temperaturen minskar med höjden i tornet. Renheten på produkterna som önskas styr antalet bottnar som erfordras. [2]

2.3 Blandningar

I detta slutliga steg lämnar kunden en specifikation på produkten som önskas och det är Preems ansvar att produkten motsvarar kundens beställning. Även om många kunder efterfrågar t.ex. bensin kan olika egenskaper hos bensinen skilja sig åt i beställningarna. Från kontrollrummet på tanksidan ser man till att följa kundens beställning och bereda de rätta mängderna av de olika petroleumprodukterna så att rätt egenskaper uppnås. Man tar hänsyn till en rad olika faktorer som exempelvis rätt oktantal, kokpunkt, svavel- och aromathalt mm. [1]

2.4 Miljö

Preem är ett företag som arbetar aktivt med miljöfrågor och satsar på utveckling av produkter med mindre miljöpåverkan. En helt ny anläggning stod klar år 2010 för produktion av diesel med förnybart innehåll, vilket är ett utmärkt exempel på detta. Produktion av delvis förnybar diesel sker genom att råttalolja processas av Sunpine i Piteå för att sedan transporteras till Preemraff Göteborg för produktion av diesel med förnybart innehåll, APC Evolution. Detta är bara en del av allt arbete som bedrivs för reducering av negativa miljöeffekter inom hela verksamheten. [1]



Figur 1. Råttalolja från Södra processas till Talldiesel i Sunpine för att sedan bli APC Evolution hos Preemraff Göteborg. [1]

2.5 Preemraff Lysekil

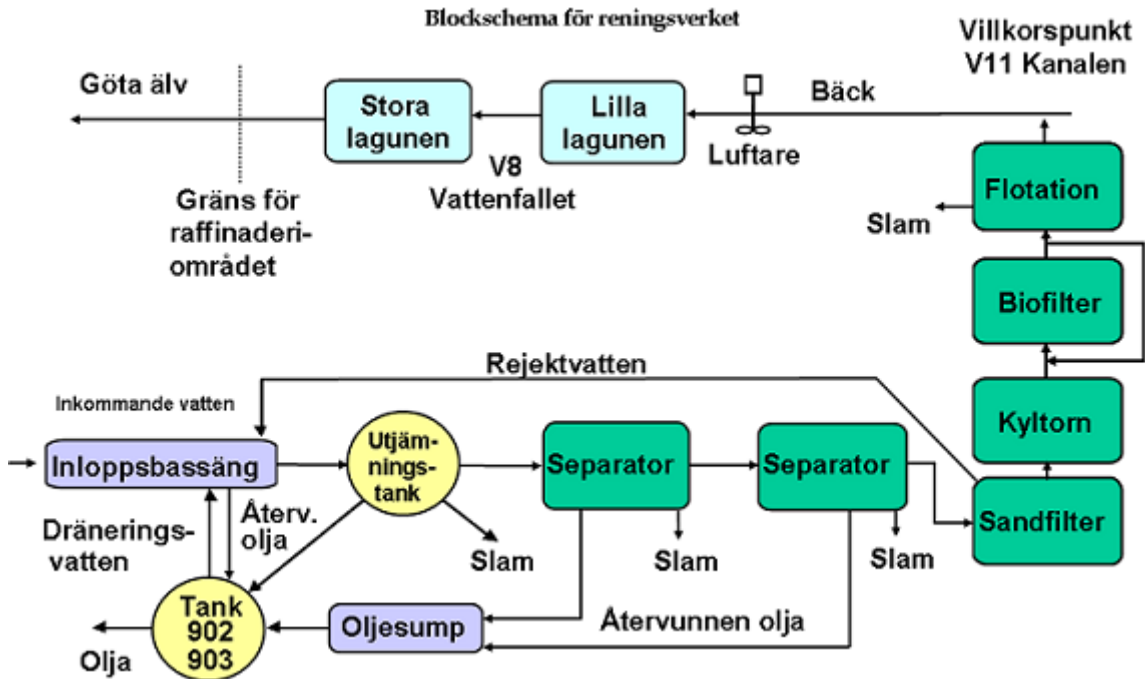
Preem äger även ett raffinaderi beläget i Lysekil med en kapacitet på drygt elva miljoner ton råolja per år, nästan det dubbla av raffinaderiet i Göteborg. Verksamheten i Lysekil inleddes år 1975 och har under åren genomgått stor utveckling för att anpassas till marknadens efterfrågan. Skandinaviska raffinaderi AB var den tidigare benämningen, men år 2003 köptes det upp av Mohammed H. Al Amoudi, som även äger Preemraff Göteborg, och blev en del av koncernen Preem. De båda raffinaderierna bedriver likartad verksamhet och har många snarlika anläggningar. [1]



Figur 2. Preemraff Lysekil. [3]

2.6 Preemraff Göteborgs vattenrening

Processvatten från tanksidan och processanläggningarna genomgår ett flertal reningssteg innan det kan släppas ut till recipient. Preem har i sitt miljötillstånd gränsvärden för utsläpp till vatten och det gäller således att reningsverket är utformat för att klara dessa. Nedan följer en kort och översiktlig beskrivning av Preemraff Göteborgs vattenreningsanläggning.



Figur 3. Blockschema över Preemraff Göteborgs reningsverk. [4]

2.6.1 Utjämnings-tank

Tanken används som en uppsamlings- och utjämnings-tank. Den avlastar på så sätt resterande reningssteg från alltför höga vattenflöden. Uppsamlingen bidrar till en mer jämn fördelning av flöde, temperatur, salinitet och oljetoppar i vattnet. Utöver detta sker även viss separation av olja från vattnet, då oljeavdrag kan göras från tanken. [4]

2.6.2 API-separator

Från utjämnings-tanken dräneras vatten till API-separatorn. Detta reningssteg är ett gravimetriskt steg där olja, med lägre densitet, flyter upp till ytan. Oljan leds därefter bort av en ytskummare. [4]

2.6.3 Sandfilter

Sju sandfilter finns tillgängliga för separation av olja där oljedroppar fastnar i sanden. För att avlägsna oljedropparna från sanden rengörs sandfiltren, detta är en process som sker automatiskt och kontinuerligt. Inkommande vatten filtreras uppåt genom sandbädden medan sanden rör sig nedåt. Samtidigt med denna filtreringsprocess renas den smutsiga sanden i en sandtvätt och de avskilda föroreningarna lämnar filtret tillsammans med tvättvattnet. [4]



Figur 4. Preemraff Göteborgs sandfilter.

2.6.4 Biofilter

Från sandfiltren fortsätter vattnet till biofiltret där bakteriell nedbrytning av organiskt material sker. Inkommande vatten sprids jämnt över hela biofilterbädden genom en roterande rörelse på spridararmen. Biofiltret är packat med fyllkroppar och dessa fungerar som bärande material för bakterierna. Ifall sand från sandfiltret i föregående steg skulle följa med vattnet finns en sandfälla belägen på inloppsledningen till biofiltret för avlägsna sanden. Bakterierna är temperaturkänsliga, varför en maxtemperatur på 40 °C ej får överskridas. Den optimala temperaturen som bör råda i biofiltret är mellan 30-35 °C. Även pH-värdet på inkommande vatten till biofiltret är en viktig parameter för bakteriernas överlevnad. För att öka bakterietillväxten och således erhålla renare utgående vatten tillsätts fosforsyra där fosfor är den viktiga nutrienten. [4]



Figur 5. Spridararmen fördelar vattnet över fyllkropparna med bakterier.

2.6.5 Flotation

Preemraff Göteborg använder sig av flotation som avslutande steg vid rening av raffinaderiets avloppsvatten. Flotationsanläggningen har en funktion som kan beskrivas som omvänd sedimentation. Vattnet innehåller olika typer av föroreningar som med drivkraften av en lägre densitet flyter till ytan. Detta innebär att ett slam bildas vid ytan som med en slamskrapa, som arbetar intermittent, avskiljs och hamnar i en tank. Det renade vattnet tas ut genom botten av tanken till recipient. Material och partiklar som har en högre densitet än vatten kan genom modifiering av konventionell flotation också avskiljas. Preemraff Göteborg använder sig utav DAF, Dissolved Air Flotation, vilket innebär att trycksatt luft bubblas från botten av vattentanken och adsorberas av partiklar i vattnet, vilket gör att de lättare flyter upp till ytan. [4]



Figur 6. Preemraff Göteborgs flotationsanläggning.

Emulsioner av olja och vatten kan förekomma, vilket försvårar separationen. Olika tillsatser kan användas för att bryta dessa. Avskiljning av små partiklar och kolloider med endast gravitation som hjälpmedel kan vara svår att uppnå. Kolloider har vanligtvis en yta med elektrisk laddning vilket leder till repulsion av andra partiklar. Genom tillsats av flockningsmedel kan dessa laddningar neutraliseras och agglomeration kan ske. De bildade klumparna kan lättare separeras och interagera med andra partiklar och således ytterligare växa i storlek. Polymerer som tillsats kan vara av stor betydelse för att få en bättre rening. De långa polymermolekylerna binder till de flockade partiklarna och fungerar som en brygga mellan dem. Koaguleringen blir förstärkt och effektivare vattenrening erhålls. Vid tillsats av olika flockningsmedel kan pH-justering erfordras eftersom lösligheten i vattnet för de olika ämnena kan variera med pH-värdet. [5] Preemraff Göteborg använder tillsatser i form av koagulanten polyaluminiumklorid och en anjonspolymer i sin vattenrening. [4]

För att erhålla ett tillfredställande resultat från flotation måste de två nedanstående punkter uppfyllas.

- 1) Tillräcklig adhesion av gasbubblorna till ytan av det suspenderade materialet, med hjälp av de tidigare nämnda teknikerna.
- 2) Åstadkomma finast möjliga gasbubblor i vattnet vid dissolved-air flotation eller pressurized dissolved-air flotation. [6]



Figur 7. Flotationsslam och slamskrapa.

2.7 Slamavvattning

Vid industriell vattenrening av processvatten bildas i nästan alla fall något slags slam som kräver omhändertagande. Slammet genereras vid kemisk eller biologisk behandling och efter vattenreningprocessen innehåller det bildade slammet stora mängder vatten, ofta upp till 90-99 procent av den totala slamvolymen. Det avvattnade slammet kan skickas iväg för deponering eller förbrännas om innehållet av olja är högt. [5]

En avvattningsutrustning skall ställas in för optimal drift, dvs. att uppnå en så hög torrsubstanshalt (TS-halt) som möjligt samtidigt som klart rejektvatten erhålles. Rejektvattnet skall återcirkuleras till reningsverket och detta skall vara genomförbart utan att komplikationer uppstår. Det ställs därmed höga krav på avvattningsutrustningen och kontinuitet är en viktig faktor för tillfredställande resultat. [7]

De finns flera alternativa avvattningstekniker att tillgå och dessa kan exempelvis vara vakuumfiltrering, filterpress, torkbäddar, centrifugering och termisk avvattning. [5] Att ha i åtanke vid val av avvattningsutrustning är att stora skillnader i egenskaper hos slam förekommer och därför kräver framtagande av lämplig utrustning både tid, kunskap och utförande av tester.

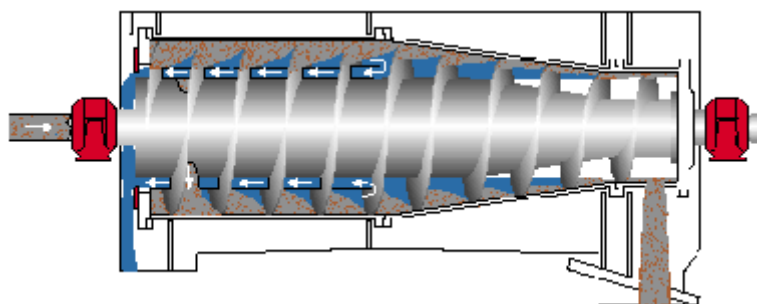
2.8 Avvattningsutrustning

Nedan följer en beskrivning av två avvattningstekniker, centrifugering och filterpress. Metoderna skiljer sig åt i utförande, men båda är vanligt förekommande vid avvattning av diverse blandningar. Även en förtjockares funktion beskrivs då denna kan användas som ett försteg och höja TS-halten på slammet.

2.8.1 Centrifugering

Centrifugering är en mekanisk operation som separerar ämnen genom deras densitetsdifferens. Principen i en centrifug är densamma som gravitation, men skillnaden ligger i att centrifugen kan uppnå en kraft som är mycket starkare och därmed uppnå en mycket effektivare separation vad gäller tidsåtgång. Jordens gravitationskraft är konstant, medan separation i en centrifug kan påverkas genom variationer i rotationshastighet och dimensioner hos utrustning. [8]

Suspenderat material som inte kan separeras genom konventionell sedimentering i tank kan avskiljas genom centrifugering. [9]



Figur 8. Schematisk bild av en dekantercentrifug. [10]

Ju större skillnad i densitet desto lägre acceleration erfordras för separation. En centrifugens area och vinkelhastighet påverkar värdet av accelerationen i kraftfältet enligt ekvationen:

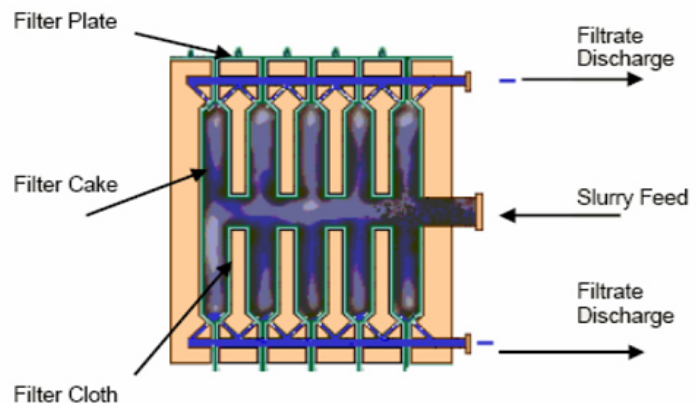
$$a = \omega^2 R = (2\pi * x/60)^2 R$$

a = accelerationen (m/s)
 ω = vinkelhastighet (rad/s)
 R = centrifugens radie (m)
 x = varvtal (rpm)

[11]

2.8.2 Filterpress

En filterpress kan till exempel vara uppbyggd utav ett varierande antal ramar med filterdukar vilka fungerar som separationsagens. Vid slamavvattning med filterpress pumpas slammet in och fyller mellanrummen som finns mellan ramarna för att sedan pressas ut med hjälp av ett tryck. Filterduken vid pressningen är perforerad till den graden att endast vätskan skall passera, medan slammet fastnar på duken vilket leder till formation av en filterkaka. När kompressionen är över och ramarna dras tillbaka lossnar filterkakan och det urpressade vattnet, filtratet, leds bort. Filterkakans uppbyggnad och ökning i tjocklek bidrar till ett ökat genomströmningsmotstånd. Om filterpressen arbetar under isobara förhållanden bidrar detta till en sänkt genomströmningshastighet av suspensionen. Tryck mellan 7-15 bar vid drift av filterpressar är vanligt förekommande, men det finns även filterpressar som arbetar vid betydligt högre tryck, upp till 30 bar eller mer.



Figur 9. Princip för en konventionell filterpress i drift.

Den största nackdelen vid användning av konventionell filterpressteknik är den minskade genomströmningshastigheten på grund av det stora tryckfall som uppstår vid formation av en filterkaka. En hög genomströmningshastighet går emellertid att bibehålla genom att bildning av filterkaka undviks, men då erfordras annan filtreringsteknik. [12]

Vid tillämpning av Darcys lag erhålls en linjär korrelation mellan genomströmningshastigheten och tryckfallet vid operation av en filterutrustning.

$$dP/dL = -konstant * v$$

[13]

2.8.3 Förtjockare

En förtjockare har till uppgift att höja koncentrationen av suspenderade partiklar hos en tillflödande vätskefas. Detta innebär att genom sedimentation uppnå en koncentrerad bottenfas med partiklar och en klar övre vätskefas. En förtjockare i drift har tre zoner, en övre klarningszon, en sedimenteringszon i mitten och en bottenzon med koncentrerad fas.

Om det primära syftet med vattenreningen är att producera en hög koncentration av partiklar benämns utrustningen förtjockare. Om det primära syftet däremot är att producera en klar vattenfas används benämningen klarnare. Det förekommer utrustning som vid optimal drift både producerar en klar övre vätskefas och en koncentrerad bottenfas av slam. Tillflödet till en förtjockare har en högre koncentration av partiklar jämfört med en klarnare. För att uppnå en ökad TS-halt av slam som avvattnas i en förtjockare kan diverse tillsatser, t.ex. polymerer eller koagulanter, användas för att ytterligare koncentrera slammet och ge en effektivare avvattning. [14]

En partikels fallhastighet i en sedimentationstank kan beräknas fram genom tillämpning av Stokes lag:

$$V = (2r^2 (\rho_{partikel} - \rho_{fluid})g) / 9\mu$$

V = Partikelns fallhastighet

r = Partikelns radie

$\rho_{partikel}$ = Partikelns densitet

ρ_{fluid} = Fluidens densitet

g = gravitation

μ = viskositet

Ekvationen kan tillämpas vid laminära flöden, men inte vid turbulenta. För att avgöra om ett flöde är laminärt eller turbulent används Reynolds tal. [15]

2.9 Val av avvattningsteknik

Efter genomgång av olika avvattningstekniker för bioslam fanns flera alternativ som var intressanta att utvärdera. Ett besök på både Shell Raffinaderi i Göteborg och Preemraff Lysekil visade att dessa använde sig utav centrifugering som avvattningsteknik. Av den anledningen valdes att noggrannare utvärdera en dekantercentrifug som avvattningalternativ för Preemraff Göteborgs bioslam.

2.10 Tillsats av polymer

Polymerer är långa kedjor av molekyler uppbyggda av mindre enheter, så kallade monomerer. Lämpliga polymerer till ett visst slam fungerar som en brygga mellan slampartiklar och på det sättet flockas slammet. Det kan vara till stor fördel att använda polymertillsats vid avvattning av slam eftersom flockningen kan leda till bättre avskiljning av vatten. Det förekommer stora skillnader mellan olika typer av slam och det erfordras således ett flertal tester för att hitta en lämplig polymer för en avvattningsprocess. Polymerer brukar vanligtvis delas in efter laddning, dvs. katjons-, anjons- eller nonjonspolymerer. Laddningarna kan vara av olika styrkor, allt från 1-100 procent. Om en katjonpolymer har en styrka på 50 procent innebär detta att en plusladdning förekommer på varannan enhet i kedjan. Det finns polymerer i flytande form, men de förekommer även som pulver. [18] Pulverpolymerer har högre halt med avseende på den aktiva substansen jämfört med flytande polymerer eftersom dessa är blandade med en vätska. Kolväte- och saltbad är exempel på möjlig vätskefas vid flytande polymerer. [19]

3. Datainsamling

3.1 Preemraff Göteborgs produktion av bioslam

Bestämning av mängden producerat bioslam per tidsenhet approximeras genom granskning av fakturor från föregående 25 veckor. Den totala mängden bioslam producerat på 25 veckor uppgår till cirka 500 ton, vilket ger en genomsnittlig veckoproduktion på 20 ton och en årsproduktion på 1000 ton, se Bilaga 1 - Preemraff Göteborgs produktion av bioslam.

3.2 Analys av bioslam

Provtagning av bioslammet utfördes för analys på externt företag. Den mest intressanta analysen var TS-halt som visade 4,52 procent. Vid bestämning av TS-halt värms bioslammet i 105 °C under 24 timmar. Den mängd som sedan återfinns utgör den torra substansen. 4,52 procent i TS-halt är en förhållandevis hög andel med tanke på att ingen behandling efter flotationssteget har ägt rum. Osäkerhet förekommer vid analysen, men även vid provtagningen av bioslammet. Manuell provtagning utfördes på bioslammet och på grund av detta kan små skillnader i TS-halt förekomma gentemot det bioslam som skrapas av och hamnar i slamtanken. Differensen är ej av betydande storlek utan analysresultatet anses representativt. En identisk provtagning av bioslam utfördes en vecka senare och skickades iväg för analys. Värdet på TS-halten vid den andra analysen uppgick till 4,78 procent. Ett tredje prov skickades iväg till Preemraff Lysekils laboratorium för analys av TS-halt och värdet visade 2,4 procent. TS-halten var betydligt lägre jämfört med föregående tester, vilket visar att större variationer kan förekomma. Utöver de tre analyserna för bestämning av TS-halt utfördes även en analys för bestämning av halter av olika tungmetaller i bioslammet.

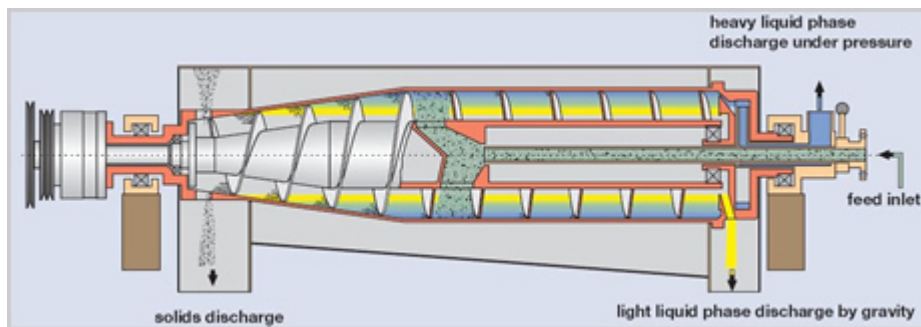


Figur 10. Preemraff Göteborgs bioslam och ytskrapa.

3.3 Bottenslam från råoljetankar

Att undersöka avvattning av det slam som återfinns på bottnar av råoljetankar då dessa tas ur drift var önskvärt, men eftersom en sådan tank ej var tillgänglig under examensarbetets gång kunde således inte ett sådant försök genomföras. Mätdata från tidigare beräkning av slammängd från fem råoljetankar tagna ur drift visade en genomsnittsmängd på 88 m^3 , avvikelser i mätdata anges till ± 10 procent. [16] Preemraff Göteborg har totalt 7 råoljetankar med en planerad ur drifttagning för inspektion var tolfte år för varje enskild tank. Om en approximation av mängden bottenslam per råoljetank antas till 90 m^3 ger detta en mängd på ungefär 53 m^3 på årsbasis, se Bilaga 2 - Bottenslam från råoljetankar. I förhållande till volymen bioslam producerat från flotationsanläggningen utgör bottenslammet en liten del av totalmängden.

I fall där slammet innehåller stora mängder olja finns intressant utrustning att studera. Utrustningen, en modifiering av dekantercentrifugen, är ämnad för separation av fast material, olja och vatten ur slammet. Det kan vara lönsamt vid stora mängder olja i slammet då oljan kan tas tillvara och återanvändas inom processen.



Figur 11. Flottweg Tricanter®, för separation av tre faser. [17]

4. Laborativa moment

4.1 Laborationsförsök med polymerer

4.1.1 Försök 1

Koncentrationen på polymerlösningen var 0,5 procent, resterande mängd var vatten. Vid försöket användes 250 ml bioslam i varje bägare, dit tillsattes sedan de olika polymererna. Bioslammet var under ständig omrörning och fem ml polymerlösning tillsattes per gång, där varje tillsatt ml motsvarade 20 ppm. Efter en tillsats på fem ml fick provet stå en liten stund och därefter gjordes en visuell bedömning av flockning av slammet och om fritt vatten separerades ut. Om resultatet var otillräckligt tillsattes ytterligare fem ml och detta pågick tills önskat resultat uppnåts. Om ingen effekt syntes vid tillsats av en viss polymer avbröts doseringen tidigare eftersom polymeren ej var lämplig för detta ändamål. Vid lyckade separeringar av vatten från bioslammet hälldes detta över till ett mätglas där volymen avlästes. Ju mer fritt vatten som observerades desto effektivare separation.

Vid försöket testades katjons-, anjons- och nonjonspolymerer, där katjonspolymererna visade bäst resultat. En observation av det flockade bioslammet gjordes efter att det fria vattnet avskiljts, där man tittade på dess fasthetsgrad. För ”tjockt” bioslam kan vara till följd av överdosering med polymer och vid ”löst” bioslam, för lite tillsats.

Prov: Bioslam

Polymertyp: Flytande

Polymerkoncentration: 0,5 %

Provvoly: 250 ml

1 ml av polymerlösning motsvarar 20 ppm.

Polymer	Tillsats (ppm)	Kommentar
Nalco 71300 (Katjon)	600 (900)	Inget fritt vatten vid 600 ppm, men lite vid 900 ppm
Nalco 71605 (Anjon)	700	Inget fritt vatten
Nalco 71760 (Nonjon)	700	Inget fritt vatten
Nalco 71309 (Katjon)	600	Fritt vatten
Nalco 71406 (Katjon)	600	Fritt vatten
Nalco 7752 (Katjon)	600	Inget fritt vatten
Nalco 71429 (Katjon)	600	Inget fritt vatten
Nalco 71456 (Katjon)	700	Inget fritt vatten
Nalco 71308 (Katjon)	600	Inget fritt vatten
Nalco 71301 (Katjon)	600	Lite fritt vatten

Av testet framgår att katjonspolymererna 71309 och 71406 gav bäst resultat.



Figur 12. Flockat bioslam med avskiljt vatten.

4.1.2 Försök 2

Tester med de polymerer som i föregående försök uppvisat avvattningsförmåga utfördes på nytt för att se om bioslammet skiljde sig från föregående gång. Resultaten blev liknande de som tidigare erhöles.

250 ml slam testades återigen, koncentrationen på polymerlösningen var 0,5 procent och 1 ml polymer motsvarade således 20 ppm. Vid koncentrationen 0,5 procent tillsattes 5 ml polymer till bioslammet i omgångar, under omrörning.

Prov: Bioslam

Polymertyp: Flytande

Polymerkoncentration: 0,5 %

Provvoly: 250 ml

1 ml av polymerlösning motsvarar 20 ppm.

Polymer	Tillsats (ppm)	Kommentar
Nalco 71301	600	Lite fritt vatten
Nalco 71309	600	Fritt vatten
Nalco 71613	400	Inget fritt vatten
Nalco 71406	400	Lite fritt vatten

Eftersom en koncentration av polymerlösning på 0,5 procent anses förhållandevis hög testade lösningar med koncentrationen 0,1 procent, vilket motsvarade 4 ppm per ml tillsatt lösning, av de två polymerer som uppvisat bäst avvattningsegenskaper, dvs. 71309 och 71406. Även anjonspolymeren (Nordfloc AE-199) som används i den befintliga vattenreningen på Preemraff Göteborg testades på bioslammet, men utan tillfredställande resultat.

Polymer	Tillsats (ppm)	Kommentar
Nalco 71309	200	Fritt vatten
Nalco 71406	200	Fritt vatten

I försöken med lösningskoncentration på 0,1 procent blir konsekvensen att en större mängd vatten tillsätts. Resultatet från försöket visade att vid tillsats av 0,1 procent polymerlösning noterades flockning av bioslammet vid lägre doseringsmängd (ppm) gentemot tillsats av 0,5 procent polymerlösning. Redan vid 200 ppm erhöles intressant separation av fritt vatten, jämfört med tidigare 600 ppm. Filter användes vid separationen av det fria vattnet från bioslammet. 100 ml vatten avskiljdes från bioslammet, varav 50 ml var vatten från polymerlösningen. Troligen kunde ytterligare 50 ml vatten ha avskiljts genom lättare pressning av slammet.

4.1.3 Försök 3

Prov: Bioslam

Polymertyp: Flytande

Polymerkoncentration: 0,1 %

Provvoly: 250 ml

1 ml av polymerlösning motsvarar 4 ppm.

Polymer	Tillsats (ppm)	Kommentar
Nalco 71309	200	Fritt vatten
Nalco 71406	200	Fritt vatten (något bättre)

Försöket genomfördes med en koncentration på 0,1 % lösning. Filter användes vid separationen av det fria vattnet från bioslammet och en ytterligare svag pressning av slammet utfördes. Med polymer 71309 avskiljdes 210 ml vatten från bioslammet, varav 50 ml var vatten från polymerlösningen. Polymer 71406 var lite bättre med en volym på 215 ml vatten och även i detta fall var 50 ml från polymerlösningen.

Ett nytt försök utfördes där polymerlösningen doserades i en högre hastighet och resultatet blev följande:

Polymer	Tillsats (ppm)	Kommentar
Nalco 71309	200	Fritt vatten (något bättre)
Nalco 71406	200	Fritt vatten

Filter användes vid separationen av det fria vattnet från bioslammet. Med polymer 71309 avskiljdes 225 ml vatten från bioslammet, varav 50 ml var vatten från polymerlösningen. Från polymer 71406 separerades en volym på 220 ml vatten och även i detta fall var 50 ml från polymerlösningen. Den ökade volymen vatten som separerades antas ha ett samband med en ökad doseringshastighet.

En analys genomfördes för att bestämma TS-halten i de två avvattnade bioslammen med polymererna Nalco 71309 och Nalco 71406. Värdet blev 8,5 procent TS-halt för bioslam behandlat med Nalco 71309 och 8,9 procent TS-halt för Nalco 71406.

4.1.4 Försök 4

I det fjärde försöket testades pulverpolymerer till skillnad från tidigare flytande polymerer. Tre olika pulverpolymerer testades, två av dessa från Nalco medan det tredje, Sedifloc 403CH, är den pulverpolymer som Preemraff Lysekil använder som tillsats i sin avvattning av bioslam. 0,2 gram av varje pulverpolymer tillsattes i en bägare med 200 ml vatten för att lösas upp till 0,1 procent polymerlösning. Varmt vatten användes för snabbare effekt och omrörning ägde rum i ungefär 45 minuter innan pulvret var helt upplöst.

Prov: Bioslam

Polymertyp: Pulver

Polymerkoncentration: 0,1 %

Provvolum: 250 ml

1 ml av polymerlösning motsvarar 4 ppm.

Polymer	Tillsats (ppm)	Kommentar
Sedifloc 403CH (Katjon)	200	Fritt vatten
Nalco 9916 (Katjon)	200	Fritt vatten
Nalco 9907 (Katjon)	200	Lite fritt vatten

I det första försöket doserades 10 ml av varje polymerlösning i taget, dvs. 40 ppm, upp till en total mängd på 200 ppm. Vattnet som separerades ur bioslammet från de tre olika proven skummade och var slemmigt, vilket indikerar på överdosering av polymer. Med resultatet ovan som grund utslöts Nalco 9907 från ytterligare tester på grund av otillräcklig avvattning. De två andra polymererna ingick i ännu ett test, men med lägre dosering.

I det andra försöket doserades 40 ppm av respektive polymerlösning, upp till en mängd på 160 ppm för Sedifloc 403 CH och 120 ppm för Nalco 9916. Båda polymererna uppvisade god förmåga att flocka bioslammet.

Polymer	Tillsats (ppm)	Kommentar
Sedifloc 403CH	160	Fritt vatten
Nalco 9916	120	Fritt vatten

Skillnaden i doseringsmängd av polymerlösning förklaras av att Sedifloc 403CH erfordrade 160 ppm innan avskiljning av vatten inträffade, medan det räckte med 120 ppm av polymer Nalco 9916. Skillnaden kan även bero på att omrörningen fungerade sämre för bioslammet med Sedifloc 403CH som tillsats, varför en slutsats om vilken som är mest lämplig ej kan dras baserat på endast detta försök.

4.1.5 Slutsats

Slutsatsen av de fyra utförda laborationsförsöken blev att katjonspolymererna Nalco 71309, Nalco 71406, Nalco 9916 och Sedifloc 403CH är lämpliga som tillsats vid avvattning av Preemraff Göteborgs bioslam i laboratorieskala.



Figur 13. Utrustning som användes vid samtliga polymertester.

4.2 Centrifugering i laboratorieskala

Ett laborieförsök med centrifugering genomfördes som ett första steg i utvärderingen av centrifugering som avvattningsteknik för bioslammet. En centrifug i liten skala och bioslam i små mängder användes vid försöket. Då stora skillnader föreligger mellan laborietest och fullskaletest är ett lyckat laborietest endast en fingervisning om möjligheten med ett fullskalförsök.

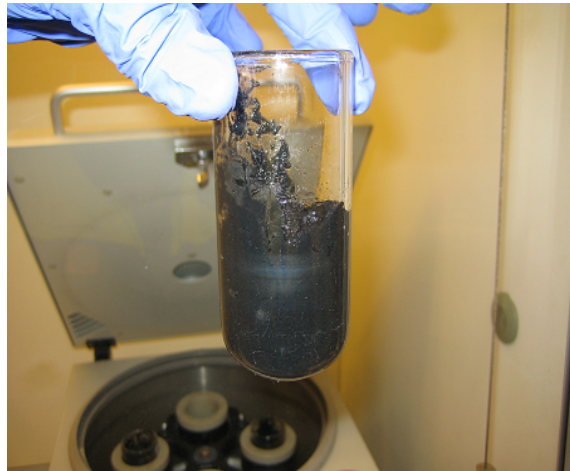


Figur 14. Centrifugen som användes vid laborieförsöket.

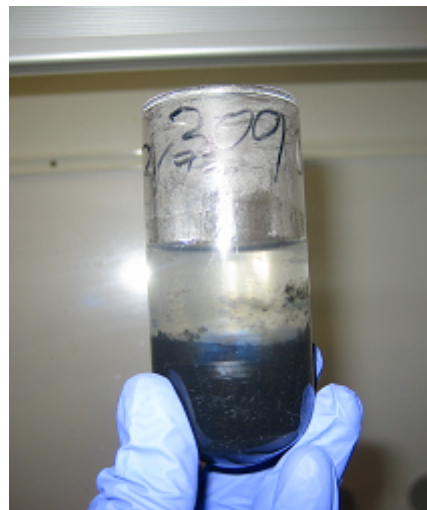
Med föregående polymertester som grund bestämdes att centrifugeringsförsöket skulle genomföras för polymererna Sedifloc 403CH och Nalco 71309, både en polymer i pulverform och en i flytande form.

Cirka 50 ml bioslam fylldes i varje provrör vid försöket. Lämpliga tillsatser av de olika polymerlösningarna hade tidigare bedömts till 160 ppm för Sedifloc 403CH och 200 ppm för Nalco 71309.

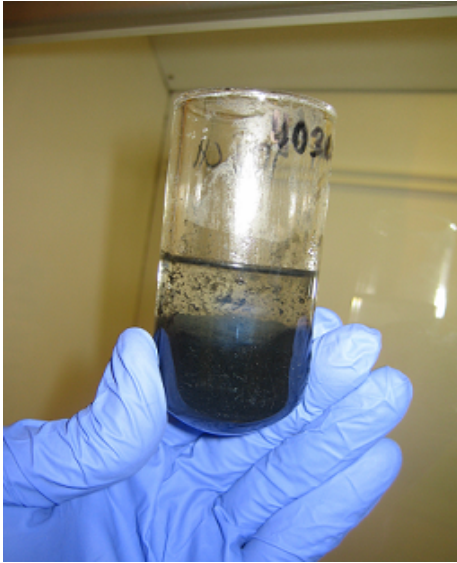
De två proverna centrifugerades i fem minuter med ett RCF-värde på 3351. RCF är en förkortning på 'Relative Centrifugal Force' och är ett mått på den kraft centrifugen uppnår relativt jordens gravitation. Resultaten av de två proverna blev likvärdiga och en separation åstadkoms, se bilder nedan.



Figur 15. Bioslam innan centrifugering.



Figur 16. Bioslam och avskilt vatten efter centrifugering med tillsats av polymer Nalco 71309.



Figur 17. Bioslam med avskiljt vatten efter centrifugering med tillsats av polymer Sedifloc 403CH.

Mängden fritt vatten som erhöles efter centrifugering av de två proverna var ungefär lika stor och den klarare vattenfasen i bilderna med polymer Nalco 71309 förklaras med ett renare provrör.

Kommentar: Pulverpolymeren Sedifloc 403CH valdes för utvärdering eftersom ett fullskaletest planerades att utföra hos Preemraff Lysekil. Sedifloc 403CH är den polymer som används vid centrifugering på Preemraff Lysekil.

5. Fullskaletest

5.1 Centrifugering i fullskala

Efter lyckade test i laboratorieskala genomfördes ett fullskaletest. Dekantercentrifugen som användes för testet tillhör "Slam & Container AB" och finns hos Preemraff Lysekil. 35 m³ bioslam transporterades från Göteborg till Preemraff Lysekil för utvärdering av avvattningseffektiviteten. Bioslammet från Preemraff Göteborg förvarades i en stor slambassäng. Från bassängen pumpades bioslammet till centrifugen och det avvattnade slammet hamnade i en container placerad under skruvtransportören, se bild nedan.



Figur 18. Avvattning av bioslam från Göteborg på Preemraff Lysekil.

Slambassängen på Preemraff Lysekil tömdes och gjordes i ordning för de 35 m³ bioslam från raffinaderiet i Göteborg. Den stränga kylan gjorde att innehållet i ledningar till och från bassängen frös och på grund av detta fylldes bassängen med bioslam från den egna produktionen för att motverka isbildning. Efter lossning av bioslam från Göteborg innehöll slambassängen således approximativt 50 procent slam från Göteborg och lika stor andel slam från Lysekil. Det var ingen önskvärd situation eftersom det bidrog till att resultatet som erhöles efter centrifugeringen inte kunde kopplas till enbart bioslam från Göteborg.

Pulverpolymeren Sedifloc 403CH användes vid försöket. Polymeren har uppvisat goda flocknings- och avvattningsegenskaper vid tidigare genomförda laborietester. Doseringsmängden av polymer varierades under försöket för att hitta den mängd som ger torrast slam och klarast rejektivatten. Centrifugen som användes var en Noxon DC20 och polymer tillsattes precis innan inloppet till centrifugen. Temperaturen vid avvattningsförsöket var -17 °C.

5.1.1 Dekantercentrifugeringstest

Koncentrationen på polymerlösningen som användes vid försöket var 0,2 procent och TS-halten på bioslammet innan centrifugering hade ett värde på 3,1 procent. Tidigare utförda laborationstester visade att en polymertillsats på 160 ppm av Sedifloc 403CH gav god flockning av bioslammet vid lätt omrörning. Flockarna som bildas skall även hålla ihop under påverkan av starka krafter i en centrifug och därför kan en större doseringsmängd erfordras vid fullskaletest. Det kalla vädret har inverkat negativt på avvattningen av Lysekils bioslam och bidragit till en större åtgång av polymertillsats jämfört med avvattning under mildare väder. Vid analyser av TS-halt på avvattnat slam under vintern erhålls generellt ett värde som är påtagligt sämre. [20]

Approximativa doseringsmängder av polymer och bedömning av rejektvattnet:

Doseringsmängd (ppm)	Rejektvatten
300	Mörkt och skummande rejekt
350	Skummande rejekt med svag mörk färg
380	Ganska klart rejekt, men skummar
400	Ganska klart rejekt, men skummar (Bäst)
420	Ganska klart rejekt, men skummar mycket

Genom att testa olika doseringsmängder av polymeren och därefter göra en visuell bedömning av rejektvattnet, kunde en lämplig mängd hittas till bioslammet under de rådande förutsättningarna. Även olika tillflöden av bioslam testades för att verifiera vilket flöde som gav torrast utgående slam.

Efter flera försök att hitta det optimala körsättet fastställdes att ett tillflöde av bioslam på 9 m³/h med en polymertillsats på 400 ppm gav bäst avvattning. Flera faktorer inverkar på val av doseringsmängd och tillflöde till centrifugen, varför en ny inställning av dessa bör göras vid varje körning. [20]



Figur 19. Rejektvatten från dekantercentrifugen.

Det avvattnade bioslammet analyserades på Preemraff Lysekils laboratorium. TS-halten uppgick till 13,1 procent, medan värdet på oljeinnehållet visade 2,1 procent. Ett snabbtest med pH-papper på rejektvattnet visade ett pH-värde på 7.



Figur 20. Närbild på det avvattnade bioslammet.

Efter genomfört avvattningstest beräknades att 44 m³ hade passerat centrifugen, av dessa var 37 m³ bioslam och 7 m³ polymerlösning. Polymeråtgången var förhållandevis hög, men när tillsatsen sänktes blev rejektvattnet mörkare. Av de 37 m³ bioslam som centrifugerades blev det cirka 10 m³ avvattnat slam med en TS-halt på 13,1 procent.

Kommenter:

Vid avvattning av bioslam från Preemraff Lysekil erhålls 10 m³ avvattnat slam vid centrifugering av större mängder än de 37 m³ som centrifugerades i detta försök, varför ett antagande om att 35 m³ rent bioslam från Göteborg borde bidra till en större mängd avvattnat slam än de 10 m³ som erhöles vid avvattning av en blandning av bioslammen. Givetvis är detta spekulation eftersom inget test finns till grund för antagandet och av den anledningen bör ytterligare avvattningsförsök genomföras för att fastställa hur mycket avvattnat slam som erhålls då bioslam från Göteborg centrifugeras. En erfarenhetsbaserad uppskattning, av dem som var delaktiga vid avvattningsförsöket, hamnar på cirka 15 m³.



Figur 21. Container fylld med avvattnat bioslam.

6. Kostnads kalkyl

Kostnader för vissa tjänster som anges i kostnads kalkylerna nedan är konfidentiella och kan därför ej skrivas ut i rapporten. Dessa kostnader är reglerade i avtal mellan Preem och externa företag.

6.1 Befintliga kostnader:

Årsproduktionen av bioslam på Preemraff Göteborg är drygt 1000 ton. Detta ger en årskostnad för omhändertagande på cirka 1 500 000 kr.

6.2 Kostnader för köp av egen utrustning:

Här avses en komplett installation av slampump, ledningssystem till mellanlager med omrörare samt dekantercentrifug med tillhörande polymerutrustning. På marknaden finns en ”komplett container” med centrifug och polymerutrustning. Containern skall i princip vara klar för anslutning till befintliga system. I containern finns pump för egen matning av slam från bassäng. Utrustningen i containern är inte Ex-klassad.

I beräkningen nedan utgås från att samma reduktion av bioslam uppnås som vid fullskaletestet på Preemraff Lysekil, dvs. 15 m³ avvattnat bioslam erhålles vid centrifugering av 35 m³.

$1000 / 35 \approx 30$ (antal körningar per år)

$30 * 15 = 450$ (antal kubikmeter avvattnat bioslam per år som kräver omhändertagande)

Information om kostnad för transport av container med centrifugerat bioslam till omhändertagare saknas. Av den anledningen antas en timkostnad på 1000 kr och erforderad tid för transport uppskattas till 2 timmar.

Årskostnaden för omhändertagande av centrifugerat slam och transport av container blir således: 330 000 kr.

Årlig besparing gentemot befintlig kostnad blir 1 170 000 kr.

Investeringskostnaden uppgår till 4 350 000 kr för komplett installation.

Paybacktiden uppskattas till ungefär: 45 månader.

OBS! Utöver detta tillkommer årskostnader för drift, underhåll och operatör. Därmed blir årskostnaden för detta alternativ högre än vad som anges ovan.

Kommentar:

Kostnad för omhändertagande av avvattnat bioslam från Preemraff Göteborg har antagits till samma belopp som Preemraff Lysekil betalar för sin kompostering. Dock saknas information om sådan hantering finns tillgänglig i Göteborg, därför kan transportkostnaderna bli större. En ytterligare osäkerhet är de värden på kvicksilver och zink som påvisats i samband med analys på bioslammet. Eftersom dessa ligger över

riktvärden för MKM-områden (Mindre Känslig Markanvändning) kan dyrare alternativ än kompostering erfordras vid hantering av det avvattnade bioslammet. Eftersom inköp och drift av egen centrifug ej har fungerat tillfredställande på Preemraff Lysekil bör ett sådant alternativ granskas noga.

6.3 Kostnader för avvattning på Preemraff Lysekil:

Om möjlighet till slamavvattning på Preemraff Lysekil finns slipper Preemraff Göteborg inköp av egen dekantercentrifug, installationskostnader, utbildning och kostnader för personal som ansvarar för drift av centrifugen. Avvattningen i Lysekil sköts av ett externt företag.

Lösningen innebär att bioslam (exempelvis 35 m^3) efter uppsamling transporteras till Preemraff Lysekil. Där sker förvaring under omrörning i en slambassäng för att sedan avvattnas i en dekantercentrifug. Kostnad för operation av dekantercentrifugen baseras på antal genomströmmade m^3 slam. Utöver de 35 m^3 bioslam som genomströmmar centrifugen, tillkommer polymerlösning som vid fullskaletestet uppgick till ungefär 7 m^3 .

$1000 / 35 \approx 30$ (antal körningar per år)

$35 + 7 = 42$ (antal kubikmeter som genomströmmar centrifugen vid varje körning)

$42 * 30 = 1260$ (antal kubikmeter som genomströmmar centrifugen per år)

$30 * 15 = 450$ (antal kubikmeter avvattnat bioslam per år som kräver omhändertagande)

Utöver detta tillkommer transport av bioslam till Lysekil, samt transport av container med centrifugerat bioslam från Preemraff Lysekil till omhändertagare.

Vid kostnadsberäkning för transport av 35 m^3 bioslam till Lysekil ingår slamsugning av tank på Preemraff Göteborg vid fyra tillfällen, lagring av slam och körning med släp i en omgång. Samtliga delar utfört av externt företag, dvs. även lagring av bioslammet sker hos det externa företaget. Slamsugning av 35 m^3 vid fyra tillfällen kräver dock planering eftersom ungefär 9 m^3 bioslam skall hämtas vid varje tillfälle. 35 m^3 bioslam kan ej hämtas vid ett tillfälle, då slamtanken endast rymmer 15 m^3 .

Antal körningar per år uppskattas till 30 stycken och kostnaden för denna typ av transport är 14 450 kr.

$30 * 14450 = 433\,500$ (total årskostnad för transport till Lysekil)

Transport av container med centrifugerat slam från Preemraff Lysekil till omhändertagare antas till samma kostnad som i stycke 5.2.

Årskostnaden för avvattning på Preemraff Lysekil utfört av externt företag uppgår till cirka: 900 000 kr.

Årlig besparing gentemot befintlig kostnad blir 600 000 kr och detta bidrar till en kostnadsreducering på 40 procent.

Kommentar:

Alternativet kräver ingen investering, men en betydlig kostnadsreducering kan uppnås.

För att ytterligare öka kostnadsbesparingen per år kan lagring av bioslam ske på det egna raffinaderiet. Genom detta alternativ undviks kostnader för slamsugning av slamtank på Preemraff Göteborg, samt att lagringskostnader på externt företag uteblir. En bassäng på cirka 50 m³ finns tillgänglig för eventuell förvaring av bioslam innan transport till Preemraff Lysekil sker. I investeringskostnaden ingår inköp och installation av slampump, ledningssystem till bassäng och en visuell besiktning av bassängen. Bassängen antas vara i tillräckligt bra skick för att användas.

Årskostnaden för transport till Lysekil sänks genom detta alternativ med cirka 220 000 kr, vilket ger en årlig kostnadsbesparing på 820 000 kr gentemot befintliga kostnader. Detta ger en kostnadsreducering på nästan 55 procent.

Investeringen för detta alternativ uppgår till 550 000 kr.

Kommentar:

Genom en investering på cirka 550 000 kr kan en ytterligare besparing ske. Förvaring av bioslam på det egna raffinaderiet har även fördelen att slamsugningsplaneringen underlättas.

7. Slutsatser

Centrifugering av Preemraff Göteborgs bioslam har utvärderats och uppvisat god möjlighet till reduktion av vatteninnehållet. Detta bidrar således till en mindre mängd slam som kräver omhändertagande, vilket minskar kostnaderna.

Erfarenheter från Preemraff Lysekil visar att det har varit svårt att uppnå effektiv avvattning av slam om ej operatören är den samme från gång till gång. Därför bör Preemraff Göteborg noga överväga inköp och operation av egen centrifuganläggning eftersom denna variant ej fungerat i Lysekil. Preemraff Lysekils omhändertagare av slam komposterar avfallet tillsammans med bark och detta är möjligt eftersom slammet har ett MKM-värde på tungmetaller under det rekommenderade. Om Preemraff Göteborgs bioslam ej uppfyller kraven för kompostering kan dyrare alternativ erfordras. Inga stora drift- och investeringskostnader för Preemraff Göteborg uppstår vid avvattning hos Preemraff Lysekil, däremot kräver egen centrifuganläggning detta. Med hänsyn tagen till drift-, underhålls- och operatörskostnader vid inköp av egen avvattningsutrustning blir besparingen mindre än vad som visas i beräkningarna. Detta bör noggrant utvärderas eftersom en sådan investering är stor i förhållande till andra alternativ.

Alternativa lösningsförslag på slamhanteringen visar god möjlighet till att markant reducera befintliga kostnader.

8. Förslag på fortsatt arbete

Ett fullskaletest på Preemraff Lysekil med endast bioslam från Preemraff Göteborg bör genomföras. Detta för att erhålla ett noggrannare värde på hur många kubikmeter centrifugerat bioslam som återfinns efter varje genomförd körning och kostnads kalkylerna kan således göras med större noggrannhet. Kostnader för drift av egen avvattningsanläggning och underhåll av denna bör granskas samt att kostnad för operatör måste tas fram.

Vid avvattning med egen dekantercentrifug på Preemraff Göteborg bör analyser av bioslammet genomföras under en längre period för att konstatera genomsnittshalter av tungmetaller. En omhändertagare av centrifugerat bioslam från Preemraff Göteborg måste hittas.

Referenser

- [1] Raffinaderier, Göteborg, Preem AB, www.preem.se, (Acc 2010-11-15)
- [2] Seader, J.D. and Henley, Ernest J., 2006: Separation Process Principles, Second Edition, Wiley, New Jersey.
- [3] Preem Intranet, (Acc 2010-11-16)
- [4] Preem Intranet, Avsnitt 1 – Raffinaderiet, Utbildningsmanual PD, 2010-07-02.
- [5] Paul L. Bishop, 2000: Pollution Prevention, Waveland Press, Inc., Illinois.
- [6] Theo Mann: Wastewater, Section 2.1.2, 2000, Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry.
- [7] Per Olof Persson och Lennart Nilsson, KTH: Miljöskyddsteknik, kompendium i miljöskydd, 1998.
- [8] Alan Letki och Nick Corner-Walker: Centrifugal Separation, vol.5, 2004, Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology.
- [9] Uwe Wegmann och Walter Weisbrodt: Wastewater, Section 5.2, 2000, Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry.
- [10] Dekantercentrifug, Noxon AB, Kungsbacka, http://www.noxon.se/NOXON%20-%20decanter_centrifuge_swe.htm (Acc 2010-11-01)
- [11] Grén U. och Theliander H., 1996: Grundläggande kemisk apparatteknik, Chalmers tekniska högskola.
- [12] George G. Chase och Ernest Mayer: Filtration, vol.11, 2003, Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology.
- [13] A. Yu. Beliaev och S. M. Kozlov: Darcy Equation for Random Porous Media, 1998, Communications on pure and applied mathematics, vol. 49, 1996.
- [14] Ladislav Svarovsky: Sedimentation, 2006, Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology.
- [15] Scott A. Shearer och Jeremy R. Hudson: Fluid Mechanics: Stoke's Law and Viscosity, Measurement Laboratory No.3, University of Kentucky.
- [16] Patrik Adolfsson, Slamberäkning.XLS, (Acc 2010-10-29)
- [17] Tricanter, Flottweg AG, Vilsbiburg, <http://www.flottweg.de/germany/produkte/tricanter/index.html?a=52&level=1>

[18] Niels Chr. Berggren, Alfred Gad A/S: Polymerer til spildevand og slambehandling.

[19] Per Svensson, Account Manager på Nalco AB, (Acc 2010-11-12)

[20] Per-Olle Hansson, Drifttekniker på Preemraff Lysekil, (Acc 2010-12-21)

Bilaga 1 – Preemraff Göteborgs produktion av bioslam

Vecka	Mängd bioslam (kg)
1	25760
2	25180
3	11740
4	8160
5	13200
6	16760
7	15540
8	19860
9	20720
10	14500
11	20680
12	19400
13	13060
14	21280
15	24260
16	23240
17	25140
18	21260
19	15080
20	18660
21	22620
22	27920
23	35000
24	24960
25	27400

Beräkning av mängden bioslam producerat per vecka och år:

$$511\,380 / 25 = 20\,455 \text{ (kg per vecka)}$$

$$20\,455 * 52 = 1\,063\,660 \text{ (kg per år)}$$

Bilaga 2 – Bottenslam från råoljetankar

Råoljetank	Antal kubikmeter slam
101	144
103	58
104	98
105	48
106	94

Totalt antal tankar: 5	Totalt antal kubikmeter slam i tankarna: 442
------------------------	--

Data från fem råoljetankar tagna ur drift:

$$144 + 58 + 98 + 48 + 94 = 442 \text{ m}^3$$

$$442 \text{ m}^3 / 5 \text{ tankar} \approx 88 \text{ m}^3/\text{tank}$$

Antal kubikmeter slam från råoljetankar utslaget på årsbasis:

$$12 \text{ år} / 7 \text{ tankar} \approx 1,7 \text{ år (tiden mellan varje tank som tas ur drift)}$$

$$90 \text{ m}^3 / 1,7 \approx 53 \text{ m}^3 / \text{år}$$