



Miljøministeriet  
Miljøstyrelsen

# Slamafvanding og håndtering af afløbsvand på dambrug

Teknologi til reduktion af udledning fra dambrug og  
opkoncentrering af slam på dambrug

Gitte Lind Mogensen, Nordisk Aluminat A/S  
Kaare Michelsen, Dansk Akvakultur  
Peer Vind Mortensen, Bo Jensen Vandbehandling A/S

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

# Indhold

1	FORORD	5
2	SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	7
2.1	BAGGRUND OG FORMÅL	7
2.2	UNDERSØGELSEN	7
2.3	HOVEDKONKLUSIONER	8
2.4	PROJEKTRESULTATER	8
3	SUMMARY AND CONCLUSIONS	9
4	SLAMAFVANDING OG HÅNDBTERING AF AFLØBSVAND PÅ DAMBRUG	11
4.1	INTRODUKTION	11
4.2	MATERIALER OG METODER	12
4.2.1	<b>Valg af rensemetode</b>	<b>12</b>
4.2.2	<b>Beskrivelse af Ejstrupholm Dambrug</b>	<b>13</b>
4.2.3	<b>Forsøgsopstilling</b>	<b>14</b>
4.2.4	<b>Forsøgsbeskrivelse</b>	<b>17</b>
4.2.5	<b>Måleprogram og måleperiode</b>	<b>18</b>
4.3	RESULTATER OG DISKUSSION	18
4.3.1	<b>Forforsøg</b>	<b>18</b>
4.3.2	<b>Forsøg med båndfilter</b>	<b>18</b>
4.3.3	<b>Økonomi</b>	<b>21</b>
5	KONKLUSION	23
6	LITTERATURLISTE	25
	BILAG 1: RÅDATA	



# 1 Forord

Dette projekt "Teknologi til reduktion af udledning fra dambrug og opkoncentrering af slam på dambrug" er udført af Nordisk Aluminat A/S, i samarbejde med Dansk Akvakultur og Bo Jensen Vandbehandling A/S. Projekt er delvist finansieret af Miljøstyrelsen via tilskud til miljøeffektiv teknologi 2008.

Projektet er gennemført i perioden februar 2009 til januar 2010.

Undersøgelserne blev foretaget på Ejstrupholm Dambrug. Der skal lyde stor tak til Jens Jensen og Kaj Jensen for godt samarbejde og stor hjælpsomhed.

Laboratorieanalyser blev udført på Give Renseanlæg. Tak til Yvonne for lån af laboratorieudstyr, hjælp og tålmodighed.



## 2 Sammenfatning og konklusioner

Dette projekt tester et båndfilter til opkoncentrering af slam på dambrug, for derved at reducere dambrugets udledning af næringssalte og organisk stof og samtidig gøre slammet bedre egnet til bortskaffelse.

Et båndfilter er en simpel mekanisk renseteknik, der kan tilbageholde slam fra spildevand og derigennem især tilbageholde suspenderet stof (SS), organisk stof (COD - chemical oxygen demand) og fosfor. I dette forsøg blev et båndfilter i kombination med fældningskemikalier testet til at rense spildevandet fra et udvalgt ferskvandsdambrug.

Projektet viser, at den totale udledning af næringssalte til recipienten kan mindskes med 12 % kvælstof, 61 % fosfor og 53 % COD ved rensning med et båndfilter. Der renses kun på det skyllevand, som opstår ved tømning af slamkegler og skylning af mikrosigter og biofiltre og som normal vis opsamles i et slambassin, hvorfra det klarede vand ledes til en plantelagune. Projektet viser desuden, at rensemetoden er sikker i drift, nem at anvende og anlægsinvesteringen er relativt begrænset.

### 2.1 Baggrund og formål

I dag føres det vandholdige slam fra tømning af slamkegler mv. typisk over i store slambassiner, hvor slammet bundfældes. Vand fra slambassinerne føres videre til efterrensning i en plantelagune. Dette har vist sig ikke at fungerer optimalt. I bassinerne foregår der en stor omsætning af slammet, hvorfor flere næringssalte, der ellers var bundet i slammet, frigives til vandet og derved løber med det klarede overfladevand til plantelagunen og dernæst i åen. Dette giver større belastning af plantelagunen og kan have betydning for den endelige udledning til recipienten.

Ved afvanding af slammet og opkoncentrering umiddelbart efter skylningen af slamkegler, mikrosigter og biofiltre, samt ved opsamling af det afvandede slam i en container eller en anden beholder kan slammet ikke længere fortsætte med at tilføre næringssalte til lagunen.

Formålet med projektet er at teste en metode til at afvande det slam, der opstår ved tømning og skylning af slamkegler, mikrosigter og biofiltre på dambrug. På den måde skulle det være muligt at tilbageholde flere næringsstoffer i slammet og derved mindske udledningen fra dambruget.

### 2.2 Undersøgelsen

Projektet er udført af Nordisk Aluminat A/S i samarbejde med Dansk Akvakultur og Bo Jensen Vandbehandling A/S. Projektet blev udført på Ejstrupholm Dambrug i Ikast-Brande kommune. Et båndfilter beregnet til forsøgsrørsler blev opstillet på dambruget og der blev lavet forsøg en uge i april og en uge i juli. Ved at køre forsøgene med 2,5 måneders mellemrum blev slambehandlingen afprøvet ved forskellig belastning på dambruget.

Omsætningen er højere på dambruget, når det er varmere, pga. at fiskene er vekselvarme dyr og dermed spiser mere foder, når det er varmt.

### 2.3 Hovedkonklusioner

Forsøget viser, at det ved umiddelbar afvanding af skyllevand fra renseprocesserne i dambruget er muligt at reducere udledningen af næringssalte og organisk materiale til recipienten. Der blev i forsøget tilbageholdt mest organisk materiale og fosfor i det afvandede slam, men også nogen kvælstof tilbageholdes. Hvis reduktionen til recipienten skal være endnu større, er det den direkte udledning af overskudsvand fra opdrætsbassinerne til lagunen, man skal kigge på.

Slammet opkoncentreres og kan opsamles i en container eller anden beholder/tank, der for eksempel kan køres direkte til biogasforbrændingsanlæg.

Den samlede omkostning til forrentning, afskrivning og drift bliver på 480 – 590 kr. pr. dag, eller en årlig omkostning på 175.000 – 215.000 kr. for et anlæg tilsvarende det, hvor forsøget blev foretaget. Det skønnes derfor, at det økonomisk kan betale sig for et større modeldambrug at etablere et båndfilter til afvanding af slam og rensning af skyllevandet. Omkostningerne til investering og vedligehold ser ud til at blive dækket af en øget foderkvote, dog forudsat at den øgede produktion kan realiseres i det eksisterende anlæg med det eksisterende personale. Samtidig reduceres den mængde af slam, der skal transporteres bort betydeligt.

### 2.4 Projektresultater

Forsøgskørsler ved forskellig belastning af dambruget viste stor ensartet- og reproducerbarhed. Metoden var let at gå til og gav umiddelbart gode resultater. Slammet var let at arbejde med og var generelt let at afvande, både ved høj og lav belastning af dambruget.

Resultatet af forsøgene på Ejstrupholm Dambrug viste, at det ved anvendelse af båndfilter var muligt at fjerne 80 % kvælstof, 99 % fosfor, 95 % COD og 93 % SS fra skyllevandet.

Ved at fjerne næringsstoffer og organisk materiale fra skyllevandet med det samme, er det teoretisk beregnet muligt at nedbringe udledningen til recipienten med hhv. 12, 61 og 53 % af henholdsvis kvælstof, fosfor og COD.

Det afvandede slam endte med et tørstofindhold på ca. 8 %, mod typisk 3 %.



### 3 Summary and conclusions

Ejstrupholm Dambrug is placed in Midtjylland, Denmark. The fish farm is established as a pilot scheme. The fish farm has its own watersupply and recycles 96 % of the water. The water is treated by bio filters, microscreen filters and settlement in sludge cones. The filters are daily cleaned by rinsing with process water. The rinsing water is accumulated in two sludge reservoirs, where the sludge settles. The cleared surface water runs to the plant lagoon before outlet to the stream. The precipitated sludge is twice a year spread on farm land. The content of dry matter in the sludge is about 3 %.

The great degradation of the sludge in the sludge reservoirs results in dissolved nutrients. These nutrients diffuse up to the cleared surface water and are thereby transported to the plant lagoon. This means a greater pressure on the plant lagoon and can become important for the final outlet to the recipient.

The purpose of the project is to separate the sludge and rinsing water immediately, to minimize the pollution of the cleared surface water. This is done by the use of an inclined belt filter using coagulation and flocculation aids for the removal of suspended solids and phosphorus.

The results showed possibilities of removing 80 % of total nitrogen, 99 % of total phosphorus, 95 % of COD (chemical oxygen demand) and 93 % of SS (suspended solids) from the rinsing water by the inclined belt filter.

By immediately removing the nutrients and organic matter from the rinsing water it is theoretical possible to minimize the outlet to the recipient by 12 % of total nitrogen, 61 % of total phosphorus and 53 % of COD. This calculation is based on the assumption that the level of purification of the plant lagoon is unchanged.

The reduced outlet of total nitrogen gives the opportunity to increase the feeding quota also by 12 %. To Ejstrupholm Dambrug this means extra 64 tons of feed. The feeding quotient of 0.9 kg of feed per kg produced fish, gives an extra production of 71 tons of fish. This gives excess profits of DKK 284,000 per year. The assumption is that the increased production can be carried out in the existing basins and by the present staff. The contribution margin of the trout is based on DKK 4 per kg.

Establishment of a belt filter also includes a container with a stirrer and a frost-proof house to contain the belt filter. Furthermore cost of chemicals, electricity and maintenance is to be remembered. Calculations suggest that yearly costs would be around DKK 200,000 inclusively depreciation and interest in 10 years.

If the possibility of precipitating sludge on farmland is stopped, Ejstrupholm Dambrug has to transport the sludge to a biogas plant. The sludge has a content of dry matter of 3 %. By establishment of a belt filter the content of dry matter can be raised to 8 %. This increase in dry matter will reduce the

cost to the biogas plant with between DKK 65,000 and DKK 95,000 per year.

The method tested in this rapport showed to be well qualified for treatment of rinsing water and concentration of sludge. The belt filter was very robust and the sludge was suitable for drainage by this method. It will be economically an advantage for bigger fish farms to establish a belt filter because the costs will be paid back by raised feeding quota and reduction in the load of sludge to be transported to the biogas plant.

# 4 Slamafvanding og håndtering af afløbsvand på dambrug

## 4.1 Introduktion

På danske dambrug foregår rensningen af produktionsvand i dag ved brug af slamkegler, mikrosigter og biofiltre. I denne rensproces sker der en akkumulering af partikulært stof, der kontinuerligt eller med mellemrum skylles til bundfældning i store slambassiner. Efter nogle timer, hvor slammet får lov at bundfælde, ledes det klarede vand fra slambassinerne til plantelagunerne. Til plantelagunerne ledes også overskud af rensset produktionsvand fra opdrætsanlæggene.

Det rensede produktionsvand, der anvendes til transport af partikulært stof fra filtre, har i sig selv et lavt indhold af opløste næringsstoffer og organisk stof. Ved passage af slambassinerne tilføres der opløste stoffer til vandet, som frigives ved omsætning af organisk stof i det aflejrede slam. Dette resulterer i, at afløbsvandet fra slambassinerne indeholder næringsstoffer i en mængde, som udgør en væsentlig del af den samlede belastning fra fiskeopdrættet.

Planterne i lagunerne omsætter/tilbageholder disse næringsstoffer i begrænset omfang før vandet ledes til recipienten. Dette projekt ønsker at finde en brugbar metode til at afvande slammet med det samme under tilsætning af fældningskemikalie og polymere i f.eks. et båndfilter. Derved vil man opnå at adskille en renere vandfraktion fra slammet og dermed mindske belastningen af plantelagunen og i sidste ende recipienten.

En anden fordel ved slamafvanding er, at slammet kan anvendes til andet end jordbrugsformål, f.eks. biogasproduktion. Fremtidsudsigterne ved at køre slam på landbrugsjord er ikke så sikre, da flere virksomheder (f.eks. Arla Foods Amba) frabeder sig produkter fremstillet på landbrugsjord, der har modtaget slam. Desuden kan det være vanskeligt at finde en aftager, der vil modtage slammet, da leveringerne ofte er uregelmæssige og med flere års intervaller.

Opkoncentrering af slammet gør, at dambrugene er bedre rustede til fremtidens hårdere og anderledes krav til slam og dets håndtering. Recipienten bliver også mindre belastet, da både organisk materiale og næringsstoffer fjernes med slammet.

Projektets formål var at teste en metode til at afvande det slam, der opstår ved tømning og skylning af slamkegler, mikrosigter og biofiltre på dambrug. På den måde skulle det være muligt at tilbageholde flere næringsstoffer i slammet og derved mindske udledningen fra dambruget, samt gøre håndteringen af slammet lettere for dambrugene.

Det har desuden været hensigten, at finde en teknologi, der er lettilgængelig og robust, så den kan implementeres på samtlige dambrug, der ønsker et renere miljø og mere sikker drift.

## 4.2 Materialer og metoder

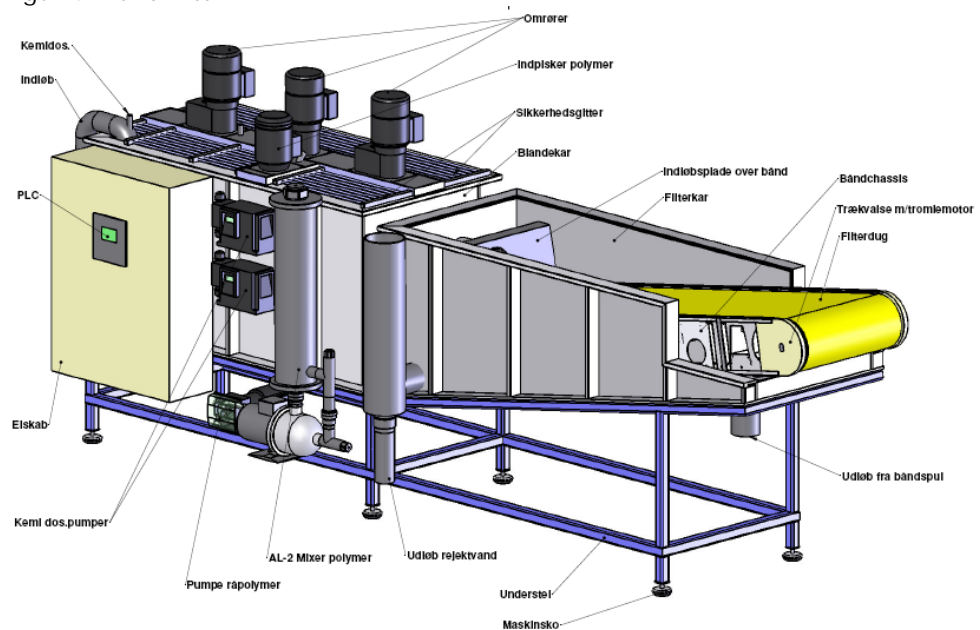
### 4.2.1 Valg af rensemetode

Rensemetoden blev valgt ud fra den mest simple og billigste løsning. Valget stod mellem enten båndsigte, båndfilter, sibånd, sibåndspresse, centrifuge eller dekanter.

Valget faldt på et båndfilter, da det er den billigste løsning, både i investering og vedligehold. Tidligere studier har desuden vist, at det er muligt at rense skyllevand fra mikrosigter under tilsætning af polymer. For at fjerne så meget fosfor som muligt kan også aluminiumsforbindelser tilsættes båndfiltret (*Ebeling et al., 2005*) (*Ebeling et al., 2006*).

Et båndfilter bygger på princippet om mekanisk filtrering, hvor en væskesøjle frembringer det nødvendige tryk for filtreringen. Båndfilteret består af et transportbånd, hvorpå der ligger en filterdug (Figur 4.1). Væske og partikler ledes op på filterdugen. Dugen tilbageholder partikulært stof, og lader væsken passere igennem. Når dugen stopper til, stiger vandstanden, og transportbåndet starter. Derved kommer rengjort filterdug frem klar til at modtage det flokkulerede materiale. De tilbageholdte partikler skræbes af dugen for enden af filteret og filtret spules efterfølgende.

Figur 4.1 Båndfilter



Opbygning af båndfilter fra AI2.

Rensningen på båndfiltret kombineres med tilsætning af aluminiumbaseret fældningskemikalie og polymer. Fældningskemikaliet giver slammet bedre flokkuleringsegenskaber og binder fosfor. Polymeren gør flokkuleringsegenskaberne endnu mere stabile og sørger for at slammet kan skilles fra vandfase på båndfiltret.

Valget af dambrug faldt på Ejstrupholm Dambrug i Midtjylland. Årsagen var, at dambruget har været et modeldambrug under forsøgsordningen og at dambruget forureningspåvirkning er velbeskrevet (*Svendson et al., 2008*). Der er bl.a. lavet mange målinger og beregninger på både ind- og udløb og flere

steder i anlægget. Det giver et godt billede af hvor omsætningen og rensningen af vandet foregår og hvor god rensningen er.

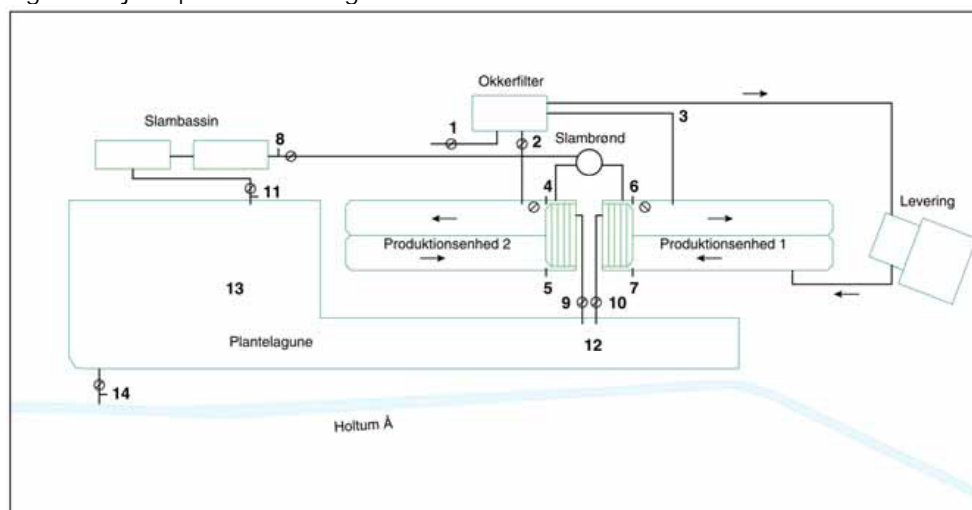
#### 4.2.2 Beskrivelse af Ejstrupholm Dambrug

Ejstrupholm Dambrug ligger i Midtjylland ved Holtum Å, Løvbjergvej 23, Smedebæk, 7361 Ejstrupholm. Dambruget er indrettet som et modeldambrug type III A (*Pedersen et. al., 2003*).

Ejstrupholm Dambrug er opbygget som vist i figur 4.2 og tabel 4.1. Dambruget har egen vandboring og anvender kun grundvand til driften. Vandet har et højt indhold af okker, hvorfor det løber over okkerfilter. Der tilsættes kalk inden vandet indgår i produktionen. Vandet løber både til produktionsenhederne og til leveringsbassinerne, hvor fiskene køres bort fra. Dambruget består af to ens opbyggede produktionsenheder, der hver er opdelt i otte undersektioner. I hver produktionsenhed ledes det recirkulerende vand gennem et biofilter, der er opdelt i fem sektioner. Vandet renses foruden i biofiltret også i et tromlefilter (mikrosigte). Der er et tromlefilter i hver produktionsenhed. Vandet recirkulerer i produktionsenhederne ved hjælp af den beluftning, der sker for at føre ilt til vandet. Slam fra produktionsenhederne opsamles i slamkegler i bunden af produktionsenhederne og pumpes sammen med skyllevand fra biofiltre og tromlefiltre op i to slambassiner. Der er slamkegler i hele bredden i hver undersektion i en produktionsenhed. Renset produktionsvand ledes til en plantelagune, hvorfra det efterfølgende løber i åen. Ligeledes løber klart vand fra slambassinerne til plantelagunen. Plantelagunen består af en del af de oprindelige jorddamme, kanaler og bundfældningsbassiner (*Svendsen et. al., 2008*).

Dimensionerne på produktionsenhederne er: 70 meter lang, 24 meter bred og en vanddybde på ca. 1,5 meter. Plantelagunen har et areal på 8.050 m<sup>2</sup> med en middeldybde på knap 0,9 meter. Dambruget har ét gennemsnitligt vandindtag på 43 liter/sekund (*Svendsen et. al., 2008*).

Figur 4.2 Ejstrupholm Dambrug



Figuren viser opbygning og vandflow på Ejstrupholm Dambrug. Numrene angiver målesteder og er listet i tabel 4.1 (*Svendsen et. al., 2008*).

Tabel 4.1 Oversigt over målepunkter

Nr.	Sted på dambruget
1	Vandindtag
2	Indløb produktionsenhed 2
3	Indløb produktionsenhed 1
4	Nedstrøms biofilter produktionsenhed 2
5	Opstrøms biofilter produktionsenhed 2
6	Nedstrøms biofilter produktionsenhed 1
7	Opstrøms biofilter produktionsenhed 1
8	Indløb slambassin
9	Udløb produktionsenhed 2
10	Udløb produktionsenhed 1
11	Udløb klaret slamvand
12	Plantelagune, øvre del
13	Plantelagune, midt
14	Udløb plantelagune/dambrug

(Svendsen et. al., 2008)

#### 4.2.3 Forsøgsopstilling

Valget af rensemetode faldt, som før beskrevet, på et båndfilter. Det vand vi ville forsøge at rense, kunne enten tages fra det bundfældede slam i de to slambassiner eller det kunne være vand direkte fra skylning af biofiltre/tromlefiltre og tømning af slamkegler.

Forforsøg med Jar-test lavet på begge typer prøver viste, at slam fra bassinerne var sværere at få til at flokkulere end vand direkte fra skylning af filtre. Slammet fra slambassinerne var meget mørkt, hvilket indikerer, at det er begyndende anoxisk. Slam fra skylningen af filtre og slamkegler var mere brunt. Det ville desuden kræve en omrører i slambassinet for at få ensartet slam. Det er vigtigt at slammet, der skal afvandes, er så ensartet som muligt for at få den optimale kemikaliedosering og dermed den bedste afvanding. Det blev derfor besluttet at forsøgene skulle udføres på vand direkte fra skylning af filtre.

Opsamlingen af skyllevandet fra biofiltre, tromlefiltre og slamkegler blev foretaget som vist på billedet i figur 4.3 Her ses hvordan skyllevandet under skylning kommer ud i slambassinet.



Figur 4.3. Opsamling af skyllevand



Under skyllningen blev en delstrøm af vandet (den blå slange) opsamlet i 2 m<sup>3</sup> beholder med omrører - se figur 4.4. Det opsamlede vand er repræsentativt for det vand, der sendes til bundfældningsbassinerne, da det blev opsamlet som en delstrøm under hele skyllningen. Fra bunden af beholderen blev der koblet en udgang på til indtag på båndfiltret. Hele opsætningen kan ses på figur 4.5

Figur 4.4 Fyldning og omrøring i 2 m<sup>3</sup> tank





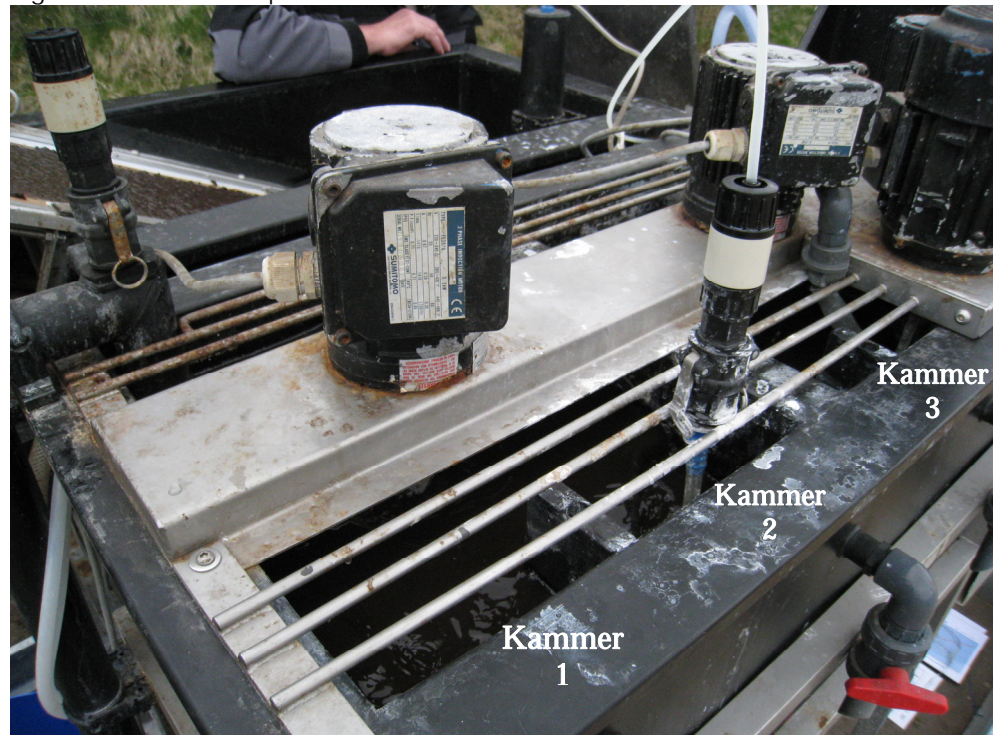
Figur 4.5 Forsøgsopstilling



Blandetanken står bagerst til venstre. Foran står en pallettank til brug til opsamling af rensed vand og skyllevand fra båndfiltret. Selve båndfiltret står på en trailer. Den blå tønde på trailerne er til opsamling af afvandet slam.

På båndfiltret kommer vandet først i Kammer 1, hvor der ikke sker tilsætning af kemikalier inden det løber videre til Kammer 2, hvor dosering af fældningskemikalie foregår. Der doseres efter pH og fosforkoncentrationen i det rensede vand. pH må ikke blive for lav, da polymeren så ikke virker optimal. I dette tilfælde tilstræbte vi at ligge mellem pH 5,8 og 6,8. Herefter løber vandet videre til Kammer 3, hvor polymeren tilsættes. Her sker flokkuleringen ved langsom omrøring, inden flokkene ledes videre til selv båndet. De tre kamre ses på figur 4.6.

Figur 4.6 Blandekamre på båndfilter





På selve båndfiltret skilles flokkene fra den rene vandfase. Jo bedre og stærkere flokke, jo renere bliver vandet og jo højere tørstof opnås i slammet. På figur 4.7 ses båndfiltret med både dårlige og gode flokke.

Figur 4.7 Båndfilter



Til venstre ses gode flokke, hvor slammet på båndet er tykt. Til højre er slammet mere flydende og bliver derfor afvandet dårligere.

Det afvandede slam blev opsamlet i en beholder (figur 4.8). Det rensede vand blev opsamlet i en palletank, hvor også vand fra skylning af båndet blev samlet op. Vandet blev efterfølgende pumpet tilbage til bundfældningsbassinerne (figur 4.9).

Figur 4.8 Afvandet slam.



Figur 4.9 Slambassiner



#### 4.2.4 Forsøgsbeskrivelse

Forsøgene blev udført på en sådan måde, at der for hver skylning af biofiltre, tromlefiltre og slamkegler blev opsamlet ca. 2 m<sup>3</sup> rå skyllevand. Det rå skyllevand blev omrørt under hele forsøget. Båndfiltret blev startet og der blev målt pH i blandekammer 2 efter tilsætning af fældningskemikalie. Kemikaliedoseringen blev indstillet efter, hvad forforsøgene havde fundet mest optimalt. Der blev ændret lidt efterfølgende på doseringen af fældningskemikalie og polymer, hvis pH var for lav eller for høj, eller hvis flokkuleringen ikke var god. Når processen kørte godt, blev der udtaget prøver til senere analyse. Der blev for hver vandprøve af rensede vand også udtaget afvandet slam.

For at se på effekten af hhv. polymer og fældningskemikalie, blev der efter en periode med konstant god afvanding enten skruet op eller ned for dosering af fældningskemikalie eller polymer. Der blev kun ændret på en parameter ad gangen. Efter en ændring fik processen lov at køre tre kvarter inden en ny prøve blev taget. På den måde var det muligt at se på de enkelte parameters indflydelse på processen.

#### 4.2.5 Måleprogram og måleperiode

Forsøgene blev udført ad to omgange. Første forsøgsrunde blev foretaget fra d. 21. til d. 23. april 2009 og anden forsøgsrunde blev foretaget fra d. 6. til d. 10. juli 2009. Ved at ligge forsøgene med 2,5 måneders mellemrum blev afvandingen undersøgt ved forskellig belastning af dambruget.

Der blev udtaget prøver af det rå skyllevand opsamlet i blandetanken (efterfølgende kaldt "spildevand ind"), det rensede skyllevand (efterfølgende kaldt "forrenset vand ud") og det afvandede slam. Alle prøver blev opbevaret i køleboks indtil analyse. Der blev kun udtaget en prøve af "spildevand ind" pr. 2 m<sup>3</sup> opsamlet skyllevand, da der var konstant omrøring under hele forsøget. Derfor er der resultater for "spildevand ind", der er ens for forskellige "forrenset vand ud" - prøver.

Analyserne blev foretaget på Give Renseanlæg, Bækgårdvej 24, 7323 Give. På vandprøver blev der målt total-N, ammonium, total-P, ortofosfat, COD, suspenderet stof og tørstof. På slamprøverne blev målt total-N, total-P, COD og tørstof. Analyserne blev foretaget af Gitte Lind Mogensen med analyse kits fra Hach Lange. Der blev ligeledes sendt prøver til akkrediteret laboratorium (Højvang Miljølaboratorium) til verifikation af resultater. Prøverne til analyser af Højvang blev ligeledes opbevaret i køleboks indtil de blev afhentet af Højvangs opsamlingsbil.

### 4.3 Resultater og diskussion

#### 4.3.1 Forforsøg

Inden forsøg på selve båndfiltret blev forskellige fældningskemikalier og polymerer afprøvet ved Jar-test.

Fældningskemikalie binder ortofosfat i en tungt opløselig forbindelse (aluminiumfosfat) og giver sammen med polymeren vandets partikler bedre flokkuleringsegenskaber. Da valg af polymer og fældningskemikalie afhænger af vandets karakter, skal valg af polymer og fældningskemikalie afprøves fra sted til sted.

Forforsøg viste, at pH efter tilsætning af fældningskemikalie skulle ligge mellem 5,8 og 6,8. Årsagen er, at den pågældende polymer virker bedst i det interval. Ved lavere pH blev flokkene tydeligvis dårligere.

#### 4.3.2 Forsøg med båndfilter

Der blev lavet i alt elleve delforsøg. Rådata fra disse elleve forsøg kan ses i bilag 1. Ikke alle forsøg blev lavet mest optimalt, da vi også ønskede at se effekten af at skru op eller ned af enten polymer eller fældningskemikalie.

Forsøgene viste, at doseringen af fældningskemikalie og polymer har stor betydning for udfaldet af slamafvandingen. På bilag 1 ses at forsøg 5, 6 og 7 er lavet på baggrund af samme vand. I både forsøg 5 og 6 er der doseret 100 ml fældningskemikalie pr. m<sup>3</sup>, mens der er doseret hhv. 70 og 140 ml polymer pr. m<sup>3</sup> i forsøg 5 og 6. Resultater viser her, at der ved højere dosering af polymer fjernes mere af både total-P, ortofosfat, COD og SS. Den højere dosering giver ikke bedre fjernelse af ammonium og total-N. I forsøg 7, hvor der skrues ned for fældningskemikalie ser det ikke ud til at dette har en effekt på rensningen.

Forsøg 8-11 er ligeledes lavet på den samme batch af opsamlet skyllevand. Her er forsøgene igen kombineret med en høj og lav værdi for dosering af fældningskemikalie, og en høj og lav værdi for dosering af polymer. I denne forsøgsrække ses det, at den bedste rensning fås ved høj dosering af polymer og lav dosering af fældningskemikalie. En forøgelse af kemikaliedoseringen giver altså ikke nødvendigvis et bedre resultat. Årsagen er, at den mængde af ladning, der tilføres med kemikalierne ved overdosering giver dårligere flokkulering og dermed dårligere rensning.

Optimering af dosering af hhv. fældningskemikalie og polymer er derfor meget vigtig, for at få rensningen til at løbe optimalt og billigst.

For at udregne båndfiltrets renseseffekt er der taget gennemsnit af værdierne fra bilag 1. Som før beskrevet er ikke alle forsøg lavet mest optimalt og derfor er kun de 4 bedste resultater genstand for den udregnede renseseffekt, der ses i tabel 4.2. For ammoniums og SS's vedkommende er det bedste resultat ikke medtaget i udregningen af renseseffekten, da disse værdier lå meget over alle de andre resultater.

Tabel 4.2: Samlede resultater for forsøgene udført på Ejstrupholm Dambrug

	Total-N	Ammonium	Total-P	Ortofosfat	COD	SS
Renseeffekt i %	80	37	99	99	95	93

Værdierne i skemaet er et gennemsnit af de 4 bedste resultater

Der bygges i dag båndfiltre, der filtrerer med flere hundrede m<sup>3</sup> pr time. Disse filtre er selvfølgelig meget større, end det båndfilter til forsøgskørsel vi brugte i forsøget. Det er derfor tidligere vist, at resultaterne fra vores pilotforsøg kan overføres til, at alt vand fra skylning af filtre og tømning af slamkegler kan renses med ovenstående renseseffekt.

For at se på hvad rensning med båndfilter betyder for den samlede udledning til Holtum å, regnes først på hvad lagunens renseseffekt er. I statusrapporten fra 2. måleår (*Svendsen et. al., 2008*) er beskrevet, hvad der bliver tilført plantelagunen og hvad, der løber ud. På den baggrund er lagunens samlede renseseffekt udregnet. Se tabel 4.3.

Tabel 4.3: Lagunens renseseffekt

Massebalance i kg (nuværende)	Total-N	Total-P	COD	Reference
Tilført slambassin, kg	3.838	2.111	81.655	<i>Svendsen et. al., 2008</i>
Klaringsvand fra slambassin til plantelagune, kg	3.329	646	41.305	<i>Svendsen et. al., 2008</i>
Direkte udløb fra produktionsenhed til plantelagune, kg	17.054	383	29.456	<i>Svendsen et. al., 2008</i>
Tilført plantelagune i alt, kg	20.383	1029	70.761	
Udløb fra dambrug år 2, kg	12.604	347	27.725	<i>Svendsen et. al., 2008</i>
Lagunens renseseffekt, %	38	66	61	

For at se på hvad vores resultater betyder for den samlede udledning, er der regnet på, hvad den mindre udledning til plantelagunen fra slambassinene betyder.

I tabel 4.4 ses hvad rensningen af vand tilført slambassin får af reel betydning for udledning af næringsalte og organisk stof til recipienten.

Tabel 4.4: Udledning fra dambrug med ekstra rensning

Massebalance i kg	Total-N	Total-P	COD	Reference
Baseret på forsøgene udført på Ejstrupholm dambrug er der mulighed for at fjerne, %	80	99	95	Tabel 4.2
"Forrenset vand ud" til plantelagune, kg	768	21	4.083	Udregnet på baggrund af tabel 4.2 og 4.3
Direkte udløb fra produktionsenhed til plantelagune, kg	17.054	383	29.456	<b><i>Svensen et. al., 2008</i></b>
Tilført plantelagune i alt efter rensning, kg	17.822	404	33.359	
Lagunens renseseffekt bibeholdes, %	38	66	61	Tabel 4.3
Udløb fra dambrug efter rensning, kg	11.050	137	13.010	
Mindre udledning efter rensning, kg	1.554	210	14.715	
Mindre udledning efter rensning, %	12	61	53	

Af tabel 4.4 ses det, at det primært er fosfor og organisk stof vi fjerner med båndfiltret. Desuden kommer den største mængde af nitrogen og COD direkte fra produktionsenhederne. Hvis nitrogen skulle fjernes yderligere, er det på den direkte udledning til plantelagunerne, man skal gøre noget.

Slammet var nemt at afvande og båndfiltret var nemt at indstille til et godt resultat. Resultatet var meget stabile flokke, og der skulle store ændringer i dosering af fædningskemikalie og polymer til at gøre flokkene ustabile. Der var ikke forskel på afvandingen mellem de to forsøgsrunder, derfor virker metoden under forskellig belastning af dambruget.

Som det ses af figur 4.8 drænedes det afvandede slam endnu mere ved at ligge i opsamlingsbeholderen. Det giver god anledning til ekstra dræning i speciel indrettet container inden vandet kører til eksempelvis biogasanlæg.

Forsøgene viste, at det er vigtigt, at skyllevandet renses mens det er friskt, da rensningen ellers mindskes og besværliggøres. Dette har betydning for tanken om at gøre anlægget mobilt til anvendelse mellem flere dambrug. Det vil da være nødvendigt at opsamle vand fra skylning af filtre mm., mens båndfiltret renser vand på et andet dambrug. Da der skylles med store mængder vand

hver dag, vil det kræve en stor tank til opsamling/opbevaring og båndfiltret skal være dimensioneret endnu større for at kunne tage alt vandet.

#### 4.3.3 Økonomi

Båndfiltret skal dimensioneres til kun at køre i dagtimerne, mens det eksisterende personale er på anlægget. Driften af et båndfilter kræver altså ikke ekstra mandetimer. Anlægget skal blot startes om morgenen og holdes øje med et par gange i løbet af dagen. Inden personalet går hjem, stoppes anlægget igen. Anlægget kan dog også køre i døgndrift, om man ønsker det.

Resultaterne af forsøgene med båndfilter viser, at der skal bruges mellem 80 og 140 ml fældningskemikalie pr. m<sup>3</sup> og mellem 70 og 140 ml polymer pr. m<sup>3</sup>. Det daglige elforbrug vil ligge på ca. 40 kWh.

På Ejstrupholm Dambrug, der skal have rensat ca. 80 m<sup>3</sup> pr. dag vil der være en omkostning til el, kemikalier og daglig vedligehold på 150-260 kr. pr. dag.

Etablering af et fuldskalaanlæg indebærer omkostninger i størrelsesordenen 850.000 kr. til fortank med omrører, fældningsanlæg og frostsikret hus til anlægget. Med en forrentning og afskrivning på 15 % svarer investeringen til en daglig omkostning på ca. 330 kr.

Den samlede omkostning til forrentning, afskrivning og drift bliver på 480 – 590 kr. pr. dag, eller en årlig omkostning på 175.000 – 215.000 kr.

Med Ejstrupholm Dambrugs nuværende slamsystem er omkostningerne til håndtering og udkørsel af slam på landbrugsarealer ca. 28.000 kr. pr. år. Ændres dambrugets nuværende mulighed for udbringning af slam på nærtliggende landbrugsarealer, kan et alternativ være afsætning til biogasanlæg. Her vil omkostningerne til transport og afgifter ligge på 70 – 100 kr. pr. m<sup>3</sup> slam. Ved udkørsel på landbrugsjord ligger tørstofindholdet i slammet på ca. 3 %. Dette er grundet i en nødvendig vandtilsætning ved pumpning af slammet fra depotet til transportkøretøjet.

Ejstrupholm Dambrug producerer årligt ca. 45 ton slamtørstof, idet der produceres 80 kg slamtørstof pr. tons foder. Ejstrupholms foderkvote er på 536 ton pr. år. 45 ton slamtørstof svarer til en slammængde på 1.500 ton med tørstof på 3 %. Omkostningen til at køre det nuværende slam med tørstof på 3 % til biogasanlæg vil da være ca. 105.000 – 150.000 kr. pr. år under antagelse at slammets vægtfylde er 1 ton/m<sup>3</sup>.

Ved at rense vandet og opkoncentrerer slammet med båndfilter, opnås tørstof på 8 %. 45 ton slamtørstof svarer til en slammængde på 560 ton med tørstof på 8 %. Omkostningen til at køre slam med tørstof på 8 % til biogasanlæg vil være ca. 40.000 – 55.000 kr. pr. år.

Der opnås altså en besparelse på mellem 65.000 og 95.000 kr. pr. år i transport af slam til biogasanlæg ved at afvande slammet fra 3 til 8 %.

Foruden afvandingseffekten af rensningen med båndfilter giver rensningen også en mindre udledning af næringsstoffer, der har betydning for foderkvoten. Ved at mindske udledningen af kvælstof med 12 % giver det en mulighed for foderopskrivning på tilsvarende 12 %. Det svarer til 64 tons foder ekstra. Med en foderkvotient på 0,9 kg foder pr. kg produceret fisk giver det en ekstra produktion af fisk på 71 ton svarende til en merindtægt på 284.000 kr. pr. år. Dette under den forudsætning, at den øgede produktion

kan realiseres i det eksisterende anlæg og med det eksisterende personale. Udgangspunktet for dette er et dækningsbidrag for ørrederne på 4 kr./kg før faste udgifter og kapitalomkostninger. Omkostninger i forbindelse med et båndfilter er opsummeret i tabel 4.5.

Tabel 4.5 Opsummering af omkostning til etablering af båndfilter pr. år.

Omkostning / besparelse	Pris (kr.) / år
Forrentning, afskrivning og drift	175.000 – 215.000
Besparelse ved afvanding fra 3 – 5 % tørstof	65.000 – 95.000
Merindtjening pga. opskrivning af foderkvote	284.000

Ejstrupholm Dambrug kan altså med fordel investere i et båndfilter til rensning af skyllevand fra biofiltre, mikrofiltre og slamkegler og til opkoncentrering af slam, hvis deres nuværende mulighed for at køre deres slam på landbrugsjord ændres.

## 5 Konklusion

Ejstrupholm Dambrug i Midtjylland er et modeldambrug bygget under forsøgsordningen. Dambruget har egen vandboring og recirkulerer 96 % af vandet. Vandet renses ved hjælp af biofiltre, mikrosigter og bundfældning i slamkegler. Filtre og slamkegler renses dagligt ved skylning med procesvand. Vandet herfra opsamles i to slambassiner, hvor det får lov til at bundfælde. Det klarede overfladevand løber videre til en plantelagune før udløbet. Det bundfældede slam opsamles et par gange om året og køres på landbrugsjord. Slammets tørstofindhold er da ca. 3 %.

Der sker stor omsætning i det bundfældede slam, hvilket resulterer i, at der dannes opløste næringsstoffer. Disse stoffer diffunderer op i overfladevandet og transporteres videre med til plantelagunen. Dette giver større belastning af plantelagunen og kan have betydning for den endelige udledning til recipienten.

Dette projekts formål er at adskille slam og skyllevand med det samme, for at mindske forureningen af skyllevand med opløste stoffer fra slammet. Dette gøres ved hjælp af et båndfilter, fældningskemikalier og polymer.

Resultatet af forsøgene var at det var muligt at fjerne 80 % kvælstof, 99 % fosfor, 95 % COD (chemical oxygen demand) og 93 % SS (suspenderet stof) fra skyllevandet over båndfiltret.

Ved at fjerne næringsstoffer og organisk materiale fra skyllevandet med det samme, er det teoretisk muligt at mindske udledningen til recipienten med hhv. 12, 61 og 53 % af kvælstof, fosfor og COD. Udregningen er baseret på at rensegraden for stofferne i plantelagunen bibeholdes.

Den mindre udledning af kvælstof giver mulighed for at hæve foderkvoten med ligeledes 12 %. For Ejstrupholms vedkommende drejer det sig om 64 tons foder ekstra. Med en foderkvotient på 0,9 kg foder pr. kg produceret fisk giver det en ekstra produktion af fisk på 71 ton svarende til en merindtægt på 284.000 kr. pr. år. Dette under den forudsætning, at den øgede produktion kan realiseres i det eksisterende anlæg og med det eksisterende personale. Der regnes med et dækningsbidrag for ørrederne på 4 kr./kg.

Etablering af rensning med et båndfilter kræver foruden selve båndfiltret også en fortank med omrører og et frostsikret hus til opstilling af båndfiltret. Dertil kommer kemikalier, el og vedligehold. Beregninger viser at den årlige omkostning vil være omkring 200.000 kr. inklusiv afskrivning og renter i 10 år.

Hvis Ejstrupholm Dambrugs mulighed med at køre slam på nærtliggende landbrugsjord ophører, vil slammet skulle transporteres til et biogasanlæg. Slammet har et tørstofindhold på 3 %. Ved etablering af et båndfilter vil tørstoffet i slammet kunne hæves til 8 %. Denne forøgelse i tørstofindhold vil ved kørsel til biogasanlæg reducere omkostningen med mellem 65.000 og 95.000 kr. pr. år, da der betales pr. m<sup>3</sup>.

Den testede metode til rensning af skyllevand og opkoncentrering af slam på dambrug viste sig at være særdeles velegnet. Metoden med rensning på båndfilter var meget robust og slammet var velegnet til at blive afvandet. Desuden vil det for modeldambrug økonomisk kunne betale sig at etablerer et anlæg, da omkostningerne ser ud til at blive dækket af en øget foderkvote, samt reduktion af mængden af slam, der skal køres til biogasanlæg.



## 6 Litteraturliste

**Ebeling, J.M.; Rishel, K.L.; Sibrell, P.L. (2005)** Screening and Evaluation of Polymers as Flocculation Aids for the Treatment of Aquacultural Effluents. Aquacultural Engineering vol. 33, iss. 4 (2005) p. 235-249

**Ebeling, J.M.; Welsh, C.F.; Rishel, K.L. (2006)**. Performance evaluation of an inclined belt filter using coagulation/flocculation aids for the removal of suspended solids and phosphorus from microscreen backwash effluent. Aquacultural Engineering 35 (2006) p. 61-77

**Pedersen, P.B. Grønberg, O., & Svendsen, L.M. (red.) (2003)**. Modeldam-brug. Specifikationer og godkendelseskrav. Rapport fra faglig arbejds-gruppe. 82 s. - Arbejdsrapport fra DMU, nr. 183

**Svendsen, L.M.; Sortkjaer, O.; Ovesen, N.B.; Skriver, J.; Larsen, S.E.; Pedersen, P.B.; Rasmussen, R.S.; Dalsgaard, A.J.T. (2008)**. Ejstrupholm Dambrug – et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 2. måleår af monitoringsprojektet med væsentlige resultater fra første måleår. DTU Aqua-rapport nr.: 188-08



## 1 Rådata

Del forsøg 1-3

	Forsøg 1	Forsøg 2	Forsøg 3
Dato	22. april 2009	22. april 2009	23. april 2009
Doserings			
Fældningskemikalie (ml/m <sup>3</sup> )	170	170	100
Polymer (ml/m <sup>3</sup> )	300	70	70
Spildevand (ind)			
pH	7,6	i.m.	i.m.
Total N mg/l	55,2	71,6	62,8 (74)
Ammonium mg/l	17,9	21,9	23,7 (33)
Total P mg/l	20,4	27,2	27,6 (34)
Ortofosfat mg/l	14,9	19,5	20,7
COD mg/l	947	1796	1698 (1300)
Suspenderet stof mg/l	i.m.	i.m.	(900)
Tørstof %	i.m.	0,32	0,32
Forrenset vand (ud)			
pH	i.m.	i.m.	i.m.
Total N mg/l	23,9	28,6	28,4 (26)
Ammonium mg/l	16,7	19,2	20,3 (22)
Total P mg/l	0,279	0,798	1,83* (2,3)
Ortofosfat mg/l	0,100	0,256	0,976
COD mg/l	63,2**	73,6**	53,6 (110)
Suspenderet stof mg/l	i.m.	i.m.	(73)
Afvandet slam (ud)			
Total N mg/kg TS	i.m.	i.m.	(48.000)
Total P mg/kg TS	i.m.	i.m.	(28.000)
COD mg/kg	i.m.	i.m.	(59.000)
Tørstof %	6,2	8,4	6,5 (6,0)

i.m. ikke målt

\* over analysens måleområde (0,05-1,5 mg/l)

\*\* hhv over og under analysens måleområder (5-60 og 100-2000 mg/l)

( ) resultater er analyseret af Højvang Miljølaboratorium

## Del forsøg 4-6

	Forsøg 4	Forsøg 5	Forsøg 6	Forsøg 7
Dato	6. juli 2009	7. juli 2009	7. juli 2009	7. juli 2009
Doserings				
Fældningskemikalie (ml/m <sup>3</sup> )	140	100	100	80
Polymer (ml/m <sup>3</sup> )	210	70	140	140
Spildevand (ind)				
pH	i.m.	6,6	6,6	6,6
Total N mg/l	106	21,1	21,1	21,1
Ammonium mg/l	24,2	4,59	4,59	4,59
Total P mg/l	216	39,3	39,3	39,3
Ortofosfat mg/l	46,2	5,56	5,56	5,56
COD mg/l	3012	464	464	464
Suspenderet stof mg/l	2320	600	600	600
Tørstof %	0,3	i.m.	i.m.	i.m.
Forrenset vand (ud)				
pH				
Total N mg/l	16,9	11,9	11,6	11,4
Ammonium mg/l	13,0	4,56	5,52	5,28
Total P mg/l	1,49	6,51	2,14	1,56
Ortofosfat mg/l	0,158	1,31	0,656	0,547
COD mg/l	181	83*	51,0	40,5
Suspenderet stof mg/l	i.m.	58	30	i.m.
Afvandet slam (ud)				
Total N mg/kg TS	i.m.	i.m.	i.m.	i.m.
Total P mg/kg TS	i.m.	i.m.	i.m.	i.m.
COD mg/kg	i.m.	i.m.	i.m.	i.m.
Tørstof %	6,67	8,59	7,94	6,86

i.m. ikke målt

\* over analysens måleområde (0,05-1,5 mg/l)

\*\* hhv over og under analysens måleområder (5-60 og 100-2000 mg/l)

( ) resultater er analyseret af Højvang Miljølaboratorium

## Del forsøg 7-11

	Forsøg 8	Forsøg 9	Forsøg 10	Forsøg 11
Dato	8. juli 2009	8. juli 2009	8. juli 2009	8. juli 2009
Doserings				
Fældningskemikalie (ml/m <sup>3</sup> )	80	80	120	120
Polymer (ml/m <sup>3</sup> )	140	70	70	140
Spildevand (ind)				
pH	6,6	6,6	6,6	6,8
Total N mg/l	67,6 (89)	67,6 (89)	67,6 (89)	67,6 (89)
Ammonium mg/l	10,6 (13)	10,6 (13)	10,6 (13)	10,6 (13)
Total P mg/l	116 (53)	116 (53)	116 (53)	116 (53)
Ortofosfat mg/l	19,7	19,7	19,7	19,7
COD mg/l	1574 (2100)	1574 (2100)	1574 (2100)	1574 (2100)
Suspenderet stof mg/l	1320 (1900)	1320 (1900)	1320 (1900)	1320 (1900)
Tørstof %	i.m.	i.m.	i.m.	i.m.
Forrenset vand (ud)				
pH				
Total N mg/l	13,2 (14)	13,3 (14)	17,8	14,9
Ammonium mg/l	7,27 (7,5)	7,93 (7,1)	2,34	5,90
Total P mg/l	0,72 (0,14)	5,43 (1,4)	17,7	10,7
Ortofosfat mg/l	0,177	1,02	2,86	1,71
COD mg/l	98* (97)	159 (170)	298	206
Suspenderet stof mg/l	(16)	(80)	i.m.	i.m.
Afvandet slam (ud)				
Total N mg/kg TS	(45000)	(46000)	i.m.	i.m.
Total P mg/kg TS	(50000)	(42000)	i.m.	i.m.
COD mg/kg	(80000)	(73000)	i.m.	i.m.
Tørstof %	6,98 (7,2)	5,43 (5,8)	5,54	5,98

i.m. ikke målt

\* over analysens måleområde (0,05-1,5 mg/l)

\*\* hhv over og under analysens måleområder (5-60 og 100-2000 mg/l)

( ) resultater er analyseret af Højvang Miljølaboratorium