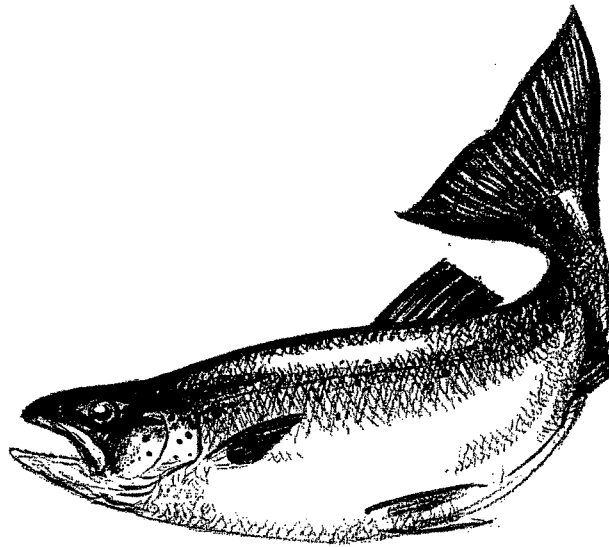


RAPPORT LNR 3915-98

**Slamhåndtering i  
flytende lukkete  
oppdrettsanlegg**

Optimalisering av  
sedimentasjonstrinn/  
Slambehandling



**Hovedkontor**

Postboks 173, Kjelsås  
0411 Oslo  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 22 18 52 00  
Internet: www.niva.no

**Sørlandsavdelingen**

Televeien 1  
4890 Grimstad  
Telefon (47) 37 29 50 55  
Telefax (47) 37 04 45 13

**Østlandsavdelingen**

Sandvikaveien 41  
2312 Ottestad  
Telefon (47) 62 57 64 00  
Telefax (47) 62 57 66 53

**Vestlandsavdelingen**

Nordnesboder 5  
5008 Bergen  
Telefon (47) 55 30 22 50  
Telefax (47) 55 30 22 51

**Akvaplan-NIVA A/S**

9015 Tromsø  
Telefon (47) 77 68 52 80  
Telefax (47) 77 68 05 09

Tittel Slamhåndtering i flytende lukkede oppdrettsanlegg  Optimalisering av sedimentasjonstrinn / Slambehandling	Løpenr. (for bestilling) 3915-98	Dato 1998, 08.28
	Prosjektnr. Undernr. O-97238 -	Sider Pris 35 -
Forfatter(e) Norgaard, Erik Liltved, Helge	Fagområde HAVBRUK	Distribusjon ÅPEN
	Geografisk område NORGE	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Marine Production AS	Oppdragsreferanse Samarbeidsavtale datert 15.07.98
--	--

**Sammendrag**

Målet med prosjektet har vært å optimalisere behandlingstrinnene for avløpsvann og slam fra et lukket havbruksanlegg med egenutviklet enhet for separasjon av partikler (slam og pellets). Resultatene har vist at et vanlig trommelfilter kan holde tilbake noe i underkant av 35 % av tilført suspendert stoff (SS). Dette representerer opp mot 40 % fjerning av fosfor og mer enn 40 % av nitrogen. Hovedandelen av det partikulære stoffet synes å være av organisk opprinnelse. Slammet fra trommelfilteret sedimenterer svært godt. I sedimenterings-tester med slamvann som inneholdt 3753 og 8130 mg SS/l ble henholdsvis 77 og 91% av SS fjernet ved en overflatebelastning på 1,4 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> \* time. Av de ulike slambehandlingsalternativene ble det vist at den mest effektive behandling av slamvannet oppnås ved separering i sedimenteringskon med jevnlig uttapping av slam til mellomlager (slambåt). Dersom sedimenteringskonen drives med lavt slammivå, d.v.s. med slamtømming 2-3 ganger pr. uke, holdes > 80% av SS, nitrogen og fosfor tilbake. Problemene med utlekking av næringssalter gjennom hydrolyse av slammet er minimale ved denne driftsformen. En reduksjon av fôringsfaktoren fra ca. 1,3 kg fôr/kg produsert biomasse til ned mot og under 1,0 vil være et viktig tiltak for å redusere det totale næringssaltutslippet. Slammet har en kvalitet som er svært lovende i forhold til bruk i landbruket, bl.a. som N:P:K-gjødsel. Tilsetning av kalk er et rimelig alternativ for stabilisering og hygienisering av slammet. I rapporten foreslås ytterligere tiltak for å redusere luktspredning fra anlegget.

Fire norske emneord 1. Havbruk 2. Miljøforurensning 3. Slam 4. Avløpsrensning	Fire engelske emneord 1. Aqua culture 2. Environmental pollution 3. Sludge 4. Waste water treatment
---	---

  
Norgaard, Erik

Prosjektleder

ISBN 82-577-3503-5

  
Wathne, Bente

Forskningssjef

# **Slamhåndtering i flytende lukkede anlegg**

Optimalisering av sedimentasjonstrinn

Slambehandling

## Forord

I 1996 ble Oksefjorden Havbruksanlegg etablert i Arendal kommune. Anlegget som er et flytende, lukket oppdrettsanlegg for produksjon av laks er tilrettelagt for å kunne fjerne partikler fra utløpet og gjennom det også generere slam.

Dette delprosjektet inngår som ett av tre prosjekter, i et samarbeide mellom anleggseier, utstysleverandører og FoU. Målet er å optimalisere avløpsbehandlingen og slamhåndteringen slik at påvirkningen av nærmiljøet blir minst mulig samtidig som verdifulle ressurser ved produksjon i oppdrettsanlegg kan tas vare på for videreforedling.

Ved å være finansiert fra SFT er prosjektet et nasjonalt demonstrasjonsprosjekt som beskriver muligheter for avfallshåndtering ved flytende lukket produksjon.

Delprosjektleder har vært Erik Norgaard, NIVA-Sørlandsavdelingen

Prosjektgruppen har ellers bestått av:

Helge Liltved	NIVA-Sørlandsavdelingen
Frode Eriksen	Sterner AquaTech AS
Johnny Marcussen	Marine Production AS

Styringsgruppen for prosjektet har vært ledet av:

Harald Sveier	NorAqua Innovation AS
---------------	-----------------------

Øvrig sammensetning av styringsgruppen:

Torjan Bodvin	Marine Production AS
Bjarne Pettersen	Sterner AquaTech AS
Kjell Maroni	KPMG (saksbehandler for SFT), observatørstatus i styringsgruppe

Procean AS v/Knut Vangen har vært tilknyttet prosjektet som leverandør av anlegget

Oslo, 04.09 1998

*Erik Norgaard*

---

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>6</b>
<b>1. Bakgrunn</b>	<b>7</b>
<b>2. Definisjon av prosjektmål</b>	<b>7</b>
2.1 Dokumentasjon av renseeffekt, inklusive separasjon av slam ved ulike sedimenterings- og lagringsløsninger	7
2.2 Slam fra Oksefjorden Havbruksanlegg - Forslag til håndtering og anvendelse	8
<b>3. Materialer og metoder</b>	<b>9</b>
3.1 Anleggsbeskrivelse	9
3.2 Sedimenteringstester	11
3.2.1 Fremgangsmåte	11
3.3 Dokumentasjon av effekt av trommelfilter	11
3.4 Dokumentasjon av effektk av slamseparasjonsenheter	12
3.4.1 Status i slambåt gjennom forsøksperiode	12
3.4.2 Status i sedimenteringskon gjennom forsøksperiodene	12
<b>4. Resultater</b>	<b>13</b>
4.1 Biomasse og førtilsetning	13
4.2 Renseeffekter i trommelfilteret	14
4.3 Sedimenteringstester	15
4.3.1 Dimensjonering av sedimenteringskon	16
4.4 Slamseparering og tilbakeholdelse av næringssalter fra slam / effekter av slamlagring	17
4.4.1 Båt som sedimenteringsbasseng	17
4.4.2 Utlekking av ortofosfat og ammonium fra slambåt	17
4.4.3 Slamseparasjon i sedimenteringskon med høyt slamnivå	18
4.4.4 Slamseparasjon i sedimenteringskon med lavt slamnivå	19
4.5 Stofftransport gjennom havbruksanlegget i Oksefjorden	21
<b>5. Slamkvalitet / Bruksområder</b>	<b>24</b>
5.1 Kvalitet i slam fra Marine Production AS	24
<b>6. Konservering av slam</b>	<b>27</b>
6.1 Kalk for konservering av slam fra Marine Production AS	27
6.2 Maursyre for konservering av slam fra Marine Production AS	28
6.3 Anbefalinger vedrørende slamhåndtering / Beregninger av slammengder, kjemikaliekostnader og tømmefrekvenser	29
<b>7. Luktreduksjon</b>	<b>30</b>
7.1 Luktilder	30

7.2 Tiltak for å avgrense luktproblemer	31
7.2.1 Diffuse luktkilder	31
7.2.2 Punktkilder	32
7.2.3 Fotooksydasjon for behandling av luktende avkast fra Marine Production AS	32
<b>8. Referanseliste</b>	<b>35</b>

## Sammendrag

Tilbakeholdelse av partikler i avløpsstrømmer fra det lukkede havbruksanlegget til Marine Production AS er vist å ligge på 32-34% av tilførte mengder. Renseeffekter m.h.p. TOC på i underkant av 70% tyder på at en større mengde av dette utgjøres av organiske partikler.

Renseeffektene m.h.p. fosfor ligger på 30-40%, mens trommelfilteret synes å være langt mer effektivt med hensyn på fjerning av nitrogen (> 60% i henhold til gjennomsnittresultatene fra 2 forsøk).

Slammet i vaskevannet fra trommelfilteret (slamvannet) sedimenterer svært godt. Dersom sedimenteringsenheten dimensjoneres for en belastning på  $1,4 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{time}$ , oppnås en renseseffekt på > 77% med hensyn på SS. Den mest effektive behandling av slamvannet oppnås ved separering i sedimenteringskon og uttapping av slam til båt for mellomlagring. Dersom sedimenteringskonen drives med lavt slammivå, d.v.s. tømning 2 - 3 ganger pr. uke, holdes > 80% av SS, nitrogen og fosfor tilbake. Problemene med utlekking av næringssalter gjennom hydrolyse av slammet er minimale ved denne driftsformen.

Av næringssaltutslippene synes fosformengdene å være noe høye i forhold til utslippstillatelsen. En bedring av fôringsfaktoren på 1,28 – 1,42 kg fôr/kg produsert biomasse til ned mot og under 1,0 vil være et viktig tiltak for å redusere fosforutslippet.

Slammet har en kvalitet som er svært lovende i forhold til bruk i landbruket. Betrachninger gjort med bakgrunn i slamanalyser viser at slammet har en såkalt bytteverdi med handelsgjødsel på 537 kr/kg TS.

Slammet må konserveres og rapporten peker på bruk av kalk i doser på 250 kg  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  / tonn slam-TS som et godt og rimelig alternativ.

Luktspredning fra anlegget knyttes til diffuse kilder og punktkilder. For å unngå diffus luktavgivelse vil et godt renhold være tilstrekkelig som tiltak. Rapporten foreslår at slambåten og lukkede transportveier til denne etableres som en punktkilde, ved installasjon av en vifte. Avkastet fra denne punktkilden undergår behandling, f.eks i et foto-oksidasjonsanlegg (UV og  $\text{O}_3$ ) eller annet system som tar minst mulig plass og ikke krever lagring av farlige eller aggressive kjemikalier.

Kalkstabilisering av mellomlagret slam forventes å minimere luktmengder fra slambåten, men rutiner i forbindelse med slamtømming bør innrettes slik at luktsjenansen blir minst mulig.

# 1. Bakgrunn

Ved Støytland Fisk AS gjennomførte Procean i 1995 et SFT-finansiert prosjekt med tittel *Tilpasning, testing og demonstrasjon av pelletoppsamlingsystemer for flytende lukkede oppdrettsanlegg*. Prosjektet hadde som målsetting å teste ut forskjellige typer avløpssystemer for flytende, lukkede anlegg med tanke på å oppnå en mest mulig rasjonell oppsamling av spillfôr og fiske-feces. Et av hovedresultatene i prosjektet var at et todelt avløpssystem med en separat slamlomme samlet opp hovedandelen av de sedimenterbare organiske partiklene i bare 1 % av den totale vannstrømmen gjennom anlegget.

I 1996 ble Oksefjorden Havbruksanlegg etablert i Arendal kommune. Anlegget er et flytende, lukket oppdrettsanlegg for produksjon av laks. Oppdrettsvolumet er på 6 000 m<sup>3</sup> bestående av 4 lukkede poser á 450 m<sup>3</sup> og 6 poser á 800 m<sup>3</sup>. Alle posene er utstyrte med det før nevnte avløpssystemet. Anlegget, som eies og drives av Marine Production AS, er tilpasset en integrert produksjon av laks og skjell. Den miljømessige målsettingen for Marine Production AS er at det i løpet av en 5-års periode ikke skal være netto tilførsel av organisk stoff eller næringssalter til resipienten fra selskapets samlede virksomheter. For å oppnå dette, vil både direkte rensetiltak og integrert drift inngå som deløsninger

## 2. Definisjon av prosjektmål

### 2.1 Dokumentasjon av renseeffekt, inklusive separasjon av slam ved ulike sedimenterings- og lagringsløsninger

Havbruksanlegget i Oksefjorden behandler avløpsvannet i et trommelfilter med automatisk spyling. Slamvannet eller spylevannet vil videre være gjenstand for én av 2 separeringsløsninger:

1. Overføring av spylevannet direkte til en såkalt slambåt som drives som et ettersedimenteringsbasseng med overløp til resipient
2. Overføring av spylevann til sedimenteringskon med overløp til resipient. Slammet vil videre overføres til slambåt som fungerer som et slamlager uten kontinuerlig overløp.

Slambåten må uansett løsningsvalg tømmes med jevne mellomrom.

I prosjektet vil renseeffekter og separasjonseffekter i ulike løsningskombinasjoner dokumenteres som grunnlag for valg av endelig løsning, dimensjonering og driftsforhold.



## **2.2 Slam fra Oksefjorden Havbruksanlegg - Forslag til håndtering og anvendelse**

Slam fra havbruksvirksomhet kan i utgangspunktet regnes å være rikt på protein og ulike mineraler og sporstoffer som bør være å anse som ressurser i ulike sammenhenger innenfor jordbruk og jordforbedring. Marine produkter vil også kunne være interessante "curing-produkter" til bruk ved behandling av ulike plantesykdommer eller for å etablere motstandsdyktige kulturer innenfor landbruket.

Marint slam vil i utgangspunktet inneholde en del salt. Avhengig av sluttbruken kan det være nødvendig å blande inn andre avfallsfraksjoner for å oppnå ønsket saltholdighet. Siden slammet er energirikt vil det raskt gå i forråtnelse under lagring. Tiltak for å stabilisere slammet vil derfor være nødvendige for å oppnå en stabil kvalitet i sluttproduktet.

Disse momentene gjør at det kan være behov for tiltak som senker saltnivå og/eller forhindrer/hemmer forråtnelse og/eller forhindrer spredning av lukt til det omkringliggende miljø fra moduler i valgt slamprosesseringslinje.

Delprosjektet skal utrede mulige løsninger på ovenfor stående problemstillinger. I tillegg vil verdien av slam som gjødsel vurderes.

## 3. Materialer og metoder

### 3.1 Anleggsbeskrivelse

Oppdrettsanlegget Oksefjorden Havbruksanlegg består av lukkede poser på 450 (små) eller 800 m<sup>3</sup> (store).

Avløpet fra bunnen av posene pumpes til et trommelfiltere (type Hydrotech HDF801-3) for rensing. Vannmengden som pumpes til filteret er målt til 480 l/min. Denne tilsvarer 0,76% av maksimal vannmengden som kan pumpes gjennom anlegget (3 pumper hver med kapasitet 350 l/sek).

Filteret spyles automatisk når væsknivået på utløpssiden overstiger en grense. Maksimal spylevannsmengde er 20 l/min (ved kontinuerlig spyling av filteret). I ulike beregninger har rapporten benyttet en spylevannsmengde på 15 l/min.

Det finnes to alternative behandlinger for slamvannet:

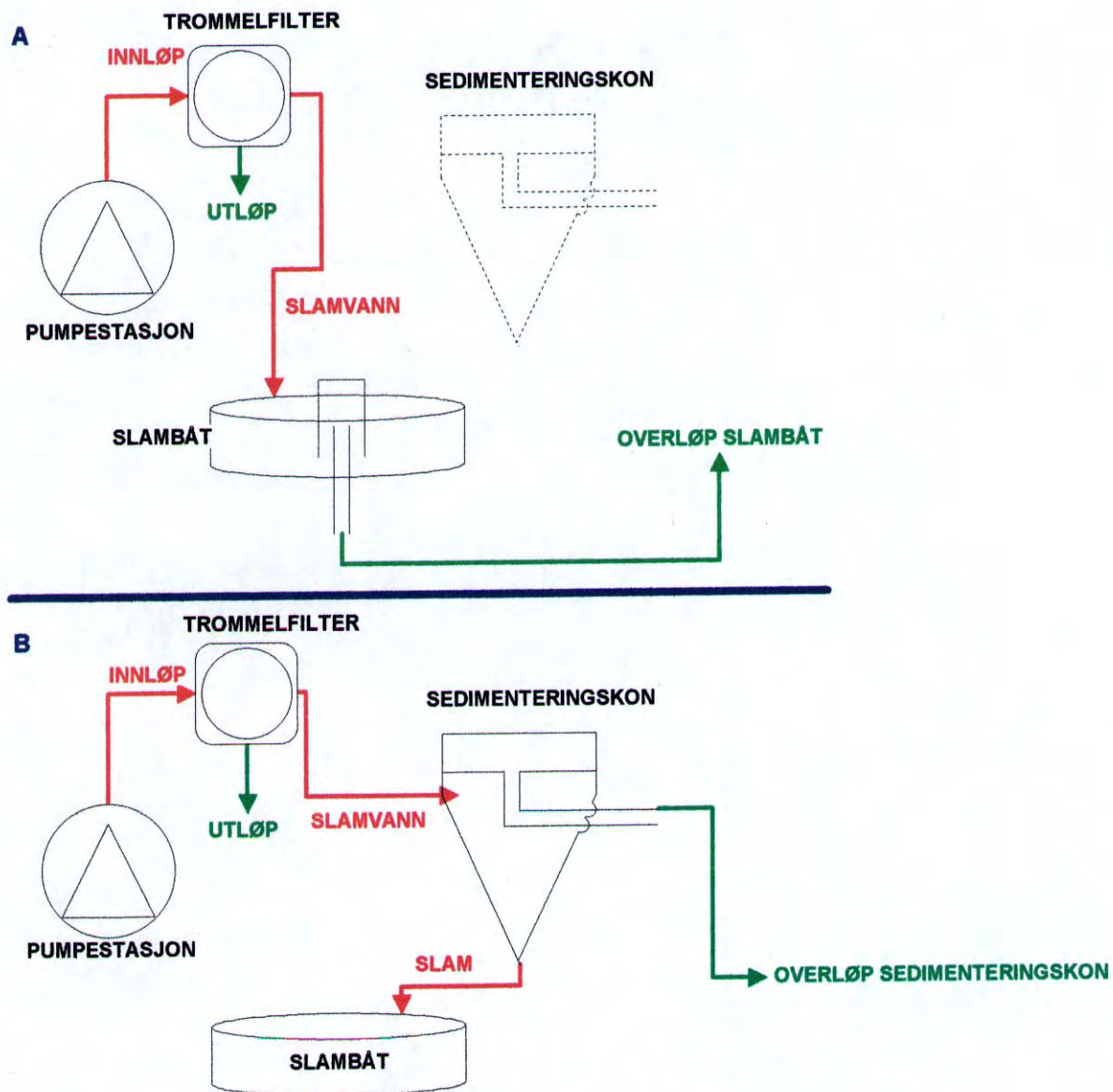
#### 1. Båt som sedimenteringsbasseng

Slamvannet føres til en slambåt som er ombygd for tilbakeholdelse av partikulært materiale. Båten er 26 fot lang, har en største bredde på 2,5 m, og en gjennomsnittlig dybde på ca. 1,5 m. Det totale våtvolumet er ca. 16 m<sup>3</sup>. Båten er utstyrt med overløp for utledning av behandlet vann til resipient. Den hydrauliske overflatebelastningen er svært lav, 0,08 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> \*time ved en slamvannsmengde på 15 l/min. Teoretisk oppholdstid for slamvannet er i overkant av 17 timer når det ikke er slam i båten.

#### 2. Båt som mellomlager for slam

Slamvannet føres til en sedimenteringskon. Denne har en diameter på 1,9 m, et overflateareal på 2,8 m<sup>2</sup>, og et volum på 3,1 m<sup>3</sup>. Konen har stuss for tapping av slam fra bunnen, og er utstyrt med overløp til resipient. Overflatebelastningen ved 15 liter slamvann pr. min. er 0,32 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> \* time, mens den gjennomsnittlige oppholdstiden er 3,4 timer uten slam i konen. Under prøvetakingen i prosjektperioden har konen ligget i vannet. Ved kontinuerlig drift må konen monteres på flåten for avtapping av slam til slambåt som da vil fungere som et mellomlager for slam.

Figur 1 viser flyt av avløps- og slamvann gjennom rense- og slamsepareringsanlegg ved Marine Production AS.



**Figur 1.** Flytskjema som viser alternative væske- og slamstrømmer gjennom trommelfilter og slamsepareringssystemer ved Marine Production AS.  
System A: Slambåt som sedimenteringsbasseng og overløp  
System B: Slamseparering i sedimenteringskon og slamlagring i båt

## 3.2 Sedimenteringstester

Sedimenteringstester utføres for å studere sedimenteringsegenskapene for partikler i en valgt vannkvalitet (f.eks avløpsvann). Normalt måles endringer i suspendert stoff i ulike nivåer av sedimenteringsenheten som funksjon av tid. Endringene vil typisk oppgis som %-vis reduksjon.

Dersom det trekkes linjer mellom "tidspunkter" med lik prosentvis reduksjon, såkalte isokonsentrasjonslinjer, vil linjens form fortelle noe om sedimenteringshastigheten.

Lineære isokonsentrasjonslinjer beskriver en diskret partikkelsedimentering, d.v.s. at hver partikkel har en jevn sedimenteringshastighet nedover i kolonnen, og påvirkes lite av andre partiklers sedimenteringshastigheter.

Konkave kurver med økende krumning med økende dyp beskriver flokkulent sedimentering, d.v.s. at det dannes større partikler (fnokker) med økende dyp, som gir økende sedimenteringshastighet.

Med grunnlag i informasjonen om sedimenteringshastigheter (overflatebelastning) kan dimensjonen på sedimenteringstanken bestemmes; d.v.s. nødvendig overflateareal og dybde for en ønsket renseeffekt målt som prosentvis SS-reduksjon.

### 3.2.1 Fremgangsmåte

Sedimenteringstestene ble utført i en plexiglass-kolonne med høyde 100 cm og diameter 20 cm. Kolonnen var utstyrt med tappekraner i ulike "dybder". Kolonnen ble fylt opp med slamvann fra trommel-filteret. Tilnærmet homogen suspensjon ble etablert i kolonnen v.h.a. luftinnblåsing fra bunnen. Etter avsluttet luftinnblåsing, ble det tatt ut prøver fra ulike sjikt (10, 30, 50 og 70 cm under overflaten) ved ulike tider (0, 5, 10, 30 og 60 min).

Prøvene ble analysert m.h.p. suspendert stoff (SS).

Det ble gjennomført sedimenteringstester ved 2 driftsdøgn i anlegget.

## 3.3 Dokumentasjon av effekt av trommelfilter

Det ble tatt ut prøver før og etter trommelfilteret i to separate perioder (02.02.98-06.02.98 og dagene 6.03 - 7.03 og 24.03 1998).

I den første perioden, som gikk parallelt med prøvetakingen fra innløp og utløp til båten, ble manuelle delprøver tatt ut 4 ganger daglig fra hvert prøvetakingspunkt. Fra disse ble det laget en blandprøve som ble analysert m.h.p. SS, TOC, tot-P og tot-N.

### 3.4 Dokumentasjon av effektk av slamseparasjonsenheter

De ulike slamseparasjonsenhetene ble fulgt opp i perioder på 4 - 6 døgn med uttak av blandprøver for analyser både fra innløp og utløp.

Det ble benyttet automatiske blandprøvetakere (Endress & Hauser) som ble stilt til å ta ut små volumer (50 ml) hvert 10. minutt. Blandprøvene ble analysert i.h.t. tabell 1.

**Tabell 1.** Utvalgte parametere og analysemetoder benyttet for bestemmelse av separasjonseffekt i henholdsvis slambåt og slamkon

Parameter	Kortform	Metode	Instrument
Suspendert stoff	SS	Gravimetrisk etter tørking ved 105°C	
Totalt organisk karbon	TOC	Katalytisk oksydasjon ved 680°C	Karbonanalysator
Totalt nitrogen	Tot-N	Oppslutning med persulfat, colorimetrisk	Hach DR 2000
Ammonium	NH <sub>4</sub> -N	Nessler metode, colorimetrisk	Hach DR 2000
Totalt fosfor	Tot-P	Kolorimetrisk	Hach DR 2000
Ortofosfat	PO <sub>4</sub> -P	Ascorbinsyre, colorimetrisk	Hach DR 2000

#### 3.4.1 Status i slambåt gjennom forsøksperiode

Det var akkumulert slam i båten over flere måneder forut for prøvetakingen, som pågikk fra 02.02.98 til 05.02.98. Båten var full av slam mot slutten av april, og ble tømt 24.04.98.

#### 3.4.2 Status i sedimenteringskon gjennom forsøksperiodene

Det ble gjennomført to overvåkingsperioder av sedimenteringskonen:

1. Når sedimenteringskonen inneholdt mye slam (slamnivå 10-15 cm under overflaten ved slutten av prøvetakingsperioden). Forut for prøvetakingen hadde det blitt ledet slam inn på konen i uke 7, med opphold i uke 8, før slamvannet igjen ble ført til konen i prøvetakingsperioden (24.02.98 - 27.02.98).
2. Når sedimenteringskonen inneholdt lite slam, i en periode rett etter tømning fra 20.05.98 til 25.05.98.

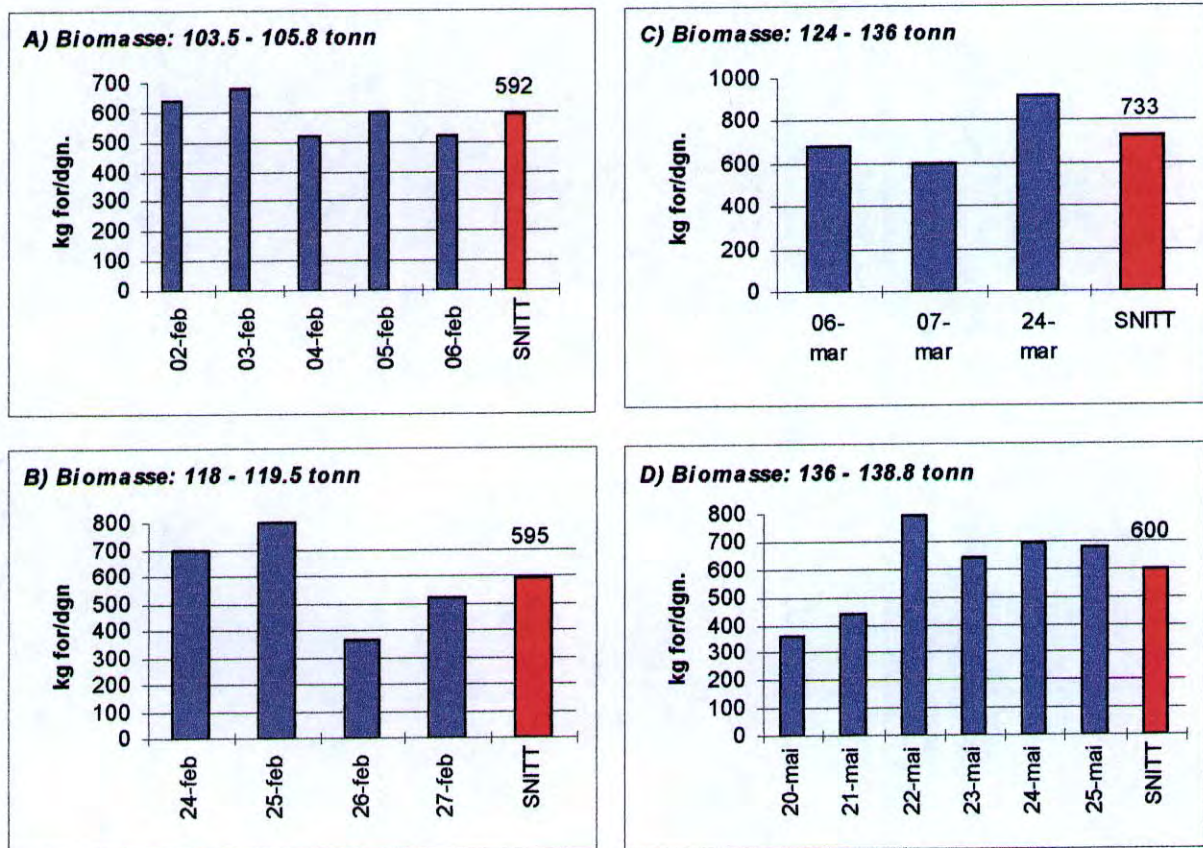
Resultatene fra forsøkene skulle gi grunnlag for å kunne vurdere eventuelle forskjeller i effekt som funksjon av slamnivå i konen.



## 4. Resultater

### 4.1 Biomasse og fôrtilsetning

Dokumentasjonen av trommelfilter og renseenheter ble foretatt i perioden sen vinter - vår 1998. Figuren under viser tonn biomasse i anlegget ved start og avslutning av de ulike testperiodene sammen med fôrtilsetning pr. døgn.



**Figur 2.** Biomasse i anlegg ved start og avslutning av testperioder sammen med fôrtilsetning pr. døgn i periodene

Basert på mengde biomasse i anlegget og gjennomsnittlig fôrmengder kan fôringsfaktoren beregnes til 1,28 kg fôr/kg biomasse - 1,42 kg fôr/kg biomasse .

## 4.2 Renseeffekter i trommelfilteret

Tabell 2 og 3 viser middelverdier for innløp- og utløpsprøvene, samt beregnede "rense-effekter," for hver av de to periodene.

En mer effektiv fjerning av TOC i forhold til SS er noe overraskende (tabell 2). En mulig forklaring kan være at vesentlige deler av TOC er bundet til store partikler som effektivt holdes tilbake i trommelfilteret.

Høyere konsentrasjoner m.h.p. SS og tot-P i innløpsvannet i mars enn i februar kan forklares med at biomassen i anlegget hadde øket.

**Tabell 2.** Konsentrasjonsnivåer i innløp og utløp fra trommelfilteret, samt beregnede renseeffekter. Hver verdi representerer middelverdien av daglige manuelle blandprøver fra perioden 02.02.98-06.02.98 (n=5).

	Benevning	SS	min / max	TOC	min / max	Tot-P	min / max	Tot-N	min / max
Innløp	mg / l	278	148/534	93,2	45/181	4,0	2,2/6.5	9,6	8/12
Utløp	mg / l	181	147/255	29,1	10,5/47.6	2,4	1,7/3.4	5,6	4/8
Rense-effekter	%	34,9		68,8		40,0		41,7	

**Tabell 3.** Konsentrasjonsnivåer i innløp og utløp fra trommelfilteret, samt beregnede renseeffekter. Hver verdi representerer middelverdien av automatiske blandprøver fra dagene 6, 7 og 24. mars 1998 (n=3).

	Benevning	SS	min / max	Tot-P	max / min
Innløp	mg/l	629	580 / 666	13,3	12 / 15
Utløp	mg/l	419	390 / 448	7,2	5 / 10
Renseeffekter	%	33,4		45,9	

### 4.3 Sedimenteringstester

Ved den første sedimenteringstesten (03.03.98) var slamvannet relativt tynt (3 753 mg SS/l). Resultatene fra testen er vist i figur 3. Her er prosentvis reduksjon av SS i ulike dyp til ulike tider angitt. Ved 50 cm dyp er den prosentvise reduksjonen 66, 74, 77 og 79 etter henholdsvis 5, 10, 30 og 60 minutters henstand. Tilsvarende prosentvis reduksjon ved 70 cm dyp er 33, 72, 77 og 79.

Som tallene viser skjer det en rask sedimentering av hovedfraksjonen av SS i løpet av kort tid. Det etableres hurtig et tydelig grensesjikt mellom slam-fasen og det overliggende gråvannet. Det eneste av prøveuttakene i forsøket som ble påvirket av slam-fasen var uttaket fra 70 cm dyp etter 5 minutter. Selv om sedimenteringen var god, >70% etter 10 min og ca. 80% etter 60 min, var det fortsatt mye SS igjen i vannsøylen, henholdsvis ca. 1 000 og 750 mg/l.

Fra 31 liter slamvann i kolonnen ble det produsert 3,1 liter slam som inneholdt 57 g TS/l, d.v.s. at slammet hadde et tørrstoffinnhold på 5,7% etter 60 min sedimentering. 3,6 % av tørrstoffet var aske.

Ved den andre sedimenteringstesten (27.04.98) var slamvannet fra trommelsilen mer konsentrert (8 130 mg SS/l). Grensesjiktet mellom slamfasen og det overliggende gråvannet beveget seg noe langsommere, noe som medfører at de "dypeste" prøvene etter henholdsvis 5 og 10 min ble påvirket av slamfasen (figur 4). Ellers skjedde det svært lite ved økende sedimenteringstid over 30 min. Med konsentrert slamvann i utgangspunktet synes den prosentvise fjerning å bli noe høyere (>90% etter 30 min) sammenliknet med for tynt slamvann. (jfr. den første testen). Restkonsentrasjonen av partikler i vannsøylen etter 30 minutters sedimentering var ca. 800 mg SS/l.

Fra 31 l slamvann i kolonnen ble det produsert 7,5 l slam som inneholdt 93 g TS/l<sup>1</sup>, d.v.s. et tørrstoffinnhold på 9,3 % etter 60 min sedimentering. 4,1 % av tørrstoffet var aske.

Tørrstoffet (TS) i sedimentert slam er 1,5 - 2,8 ganger høyere enn suspendert tørrstoff (SS) i slamvannsprøven før sedimentering. At denne faktoren er >1 kan delvis forklares ved at bestemmelse av TS i en prøve også vil inkludere løst organisk stoff, noe SS prøven ikke vil gjøre. Det er grunn til å tro at en annen feilkilde i vårt tilfelle er at homogenitet i slamvannet ved prøvetaking før sedimentering ikke var fullstendig. Dette fordi det ikke var mulig, selv med kraftig luftinnblåsing, å få med store partikler med høy synkehastighet (eksempelvis fôr-pellets) i prøvevolumet. Den sistnevnte effekten vil imidlertid være med på å gi sikkerhet ved dimensjonering ut fra prosentvis SS-fjerning som beskrevet i det følgende.

---

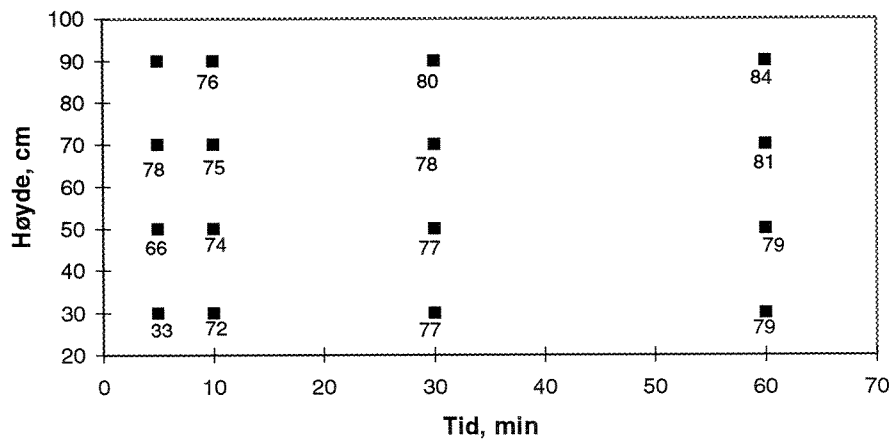
<sup>1</sup> TS i prøven etter inndamping



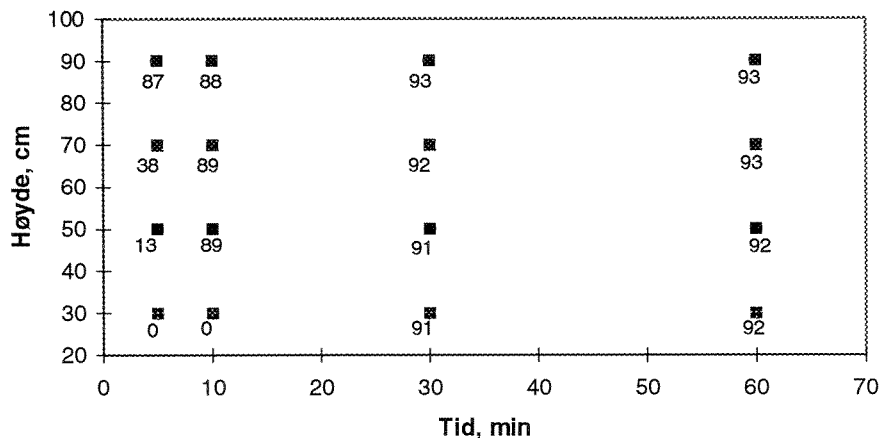
### 4.3.1 Dimensjonering av sedimenteringskon

På grunn av den raske sedimenteringen av hovedfraksjonen med partikler, og små forskjeller i prosentvis fjerning ved økende sedimenteringstid, er det vanskelig å trekke isokonsentrasjonslinjer. Ved 30 min (0,5 h) sedimenteringstid og 70 cm (0,7 m) dyp blir den korresponderende overflatebelastningen 1,4 m/h (0,7 m/0,5 h). I den første sedimenteringstesten (figur 3) vil 77% av partiklene ha sedimenteringshastigheter høyere enn 1,4 m/h. D.v.s. at renseeffekten vil være >77% dersom man dimensjonerer sedimenteringstanken for en overflatebelastning på 1,4 m<sup>3</sup> avløpsvann pr. time pr. m<sup>2</sup> tankareal (1,4 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> x time).

I den andre sedimenteringstesten (figur 4) vil 91% av partiklene ha sedimenterings-hastigheter som er høyere enn 1,4 m/time, og man kan påregne renseeffekter på >91% dersom sedimenteringstanken dimensjoneres for en overflatebelastning på 1,4 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> x time.



Figur 3. Sedimenteringstest i plexiglass-kolonne, med tynt slamvann (3753 mg SS/l). Prosentvis reduksjon av SS ved ulike dyp og etter ulike sedimenteringstider.



Figur 4. Sedimenteringstest i plexiglass-kolonne med konsentrert slamvann (8130 mg SS/l). Prosentvis reduksjon av SS ved ulike dyp og etter ulike sedimenteringstider.

Sedimenteringskonen som ble benyttet i fullskala-forsøkene ble kjørt med en overflatebelastning på  $0,32 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{time}$  ved 15 liter slamvann pr. min., altså med betydelig lavere belastning enn det som er antydning overfor. God slamseparasjon i sedimenteringskonen er derfor forventet.

#### 4.4 Slamseparering og tilbakeholdelse av næringsalter fra slam / effekter av slamlagring

##### 4.4.1 Båt som sedimenteringsbasseng

Tabell 4 viser inn- og utløpskonsentrasjonene for SS, TOC, Tot-P og Tot-N i slambåt. Den gjennomsnittlige reduksjonen i SS ved sedimentering av slamvann i båt er på hele 81,7 %, mens TOC-reduksjonen er langt lavere (43,7 %), noe som i første rekke skyldes høye verdier av oppløst organisk karbon (DOC) inn på slambåten. Målinger som ble utført 02.02.98 viste at DOC i utløpet utgjorde så mye som 78,3 % av TOC. Tilbakeholdelse av tot-P i slambåten er på ca. 65%, mens tilsvarende for Tot-N er på ca. 35%.

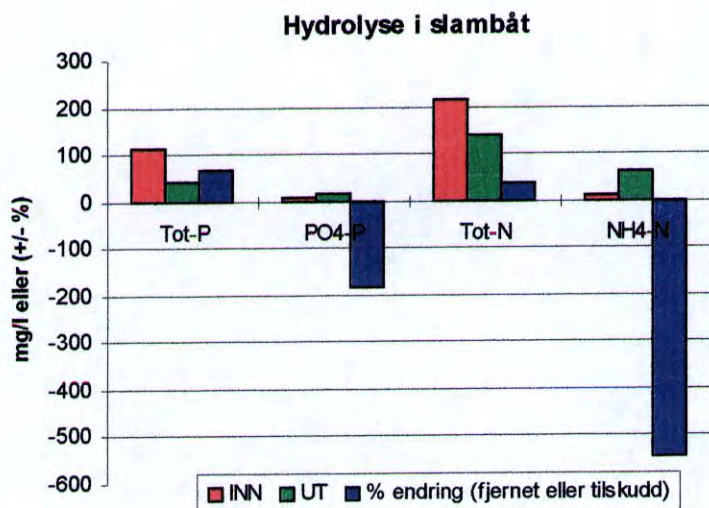
**Tabell 4.** Tilbakeholdelse av SS, TOC, Tot-N og Tot-P i slambåt oppgitt som gjennomsnitt. Standardavvik oppgis i mg/l.

Parameter	Benevning	Innløp	St.avvik	Utløp	St.avvik	Renseeffekt %
SS	mg/l	4 481	± 2 013	821	± 243	81,7
TOC	mg/l	1 165	± 258	656	± 127	43,7
Tot-P	mg/l	115	± 48	40	± 2	65,2
Tot-N	mg/l	213	± 25	138	± 25	35,2

##### 4.4.2 Utlekking av ortofosfat og ammonium fra slambåt

Figur 5 viser at både fosfor- og nitrogentilskuddet til overløpet er anseelig, og spesielt for nitrogen er dette en viktig årsak til den relativt beskjedne renseseffekten på ca. 35%.

Det antas å være anaerobe hydrolyseprosesser som løser ut ammonium ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) og ortofosfat ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) i vannsøylen. Siden det vil være teknisk vanskelig å etablere løsninger for å binde opp  $\text{NH}_4\text{-N}$  og  $\text{PO}_4\text{-P}$  fra vannfasen vil det være vanskelig å unngå dette tapet av næringsalter når båten har funksjon som et tradisjonelt sedimenteringsbasseng med overløp.



**Figur 5.** Tilbakeholdelse av nitrogen og fosfor i slambåt, tilskudd av ortofosfat og ammonium til overløp (slamhydrolyse)

#### 4.4.3 Slamseparasjon i sedimenteringskon med høyt slamnivå

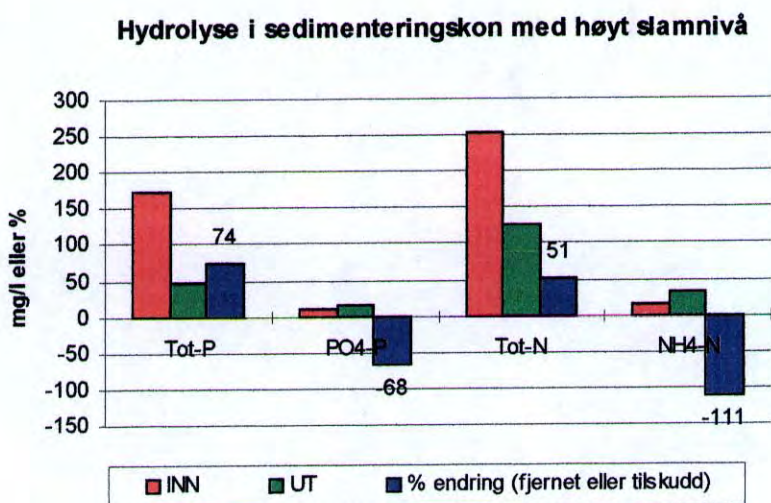
Tabell 5 viser gjennomsnittsverdier av SS, TOC, Tot-N og Tot-P i innløps- og utløpsprøver fra sedimenteringskonen når denne drives med høyt slamnivå (slamteppe ca. 10 cm fra overløp)<sup>2</sup>. Til tross for betydelig dårligere gjennomsnittlig tilbakeholdelse av suspendert stoff og TOC i konen enn i båten, synes "renseeffektene" m.h.p. tot-P og tot-N å være høyere, spesielt for sistnevnte. Dette forklares i første rekke med mindre utlekkingen av PO<sub>4</sub>-P og NH<sub>4</sub>-N, noe som framgår av figur 6.

**Tabell 5.** Tilbakeholdelse av SS, TOC, Tot-N og Tot-P i sedimenteringskon når denne drives med høyt slamnivå. Verdiene representerer gjennomsnitt. Standardavvik oppgis i mg/l.

Parameter	Benevning	Innløp	St.avvik	Utløp	St.avvik	Renseeffekt %
SS	mg/l	8 197	± 3 503	2 938	± 880	64,2
TOC	mg/l	1 280	± 251	983	± 93	23,7
Tot-P	mg/l	174	± 12	46	± 16	73,6
Tot-N	mg/l	253	± 66	125	± 29	50,0

<sup>2</sup> anslag





**Figur 6.** Tilbakeholdelse av nitrogen og fosfor og tilskudd av ortofosfat og ammonium til overløp (slamhydrolyse) i sedimenteringskon med høyt slamnivå.

#### 4.4.4 Slamseparasjon i sedimenteringskon med lavt slamnivå

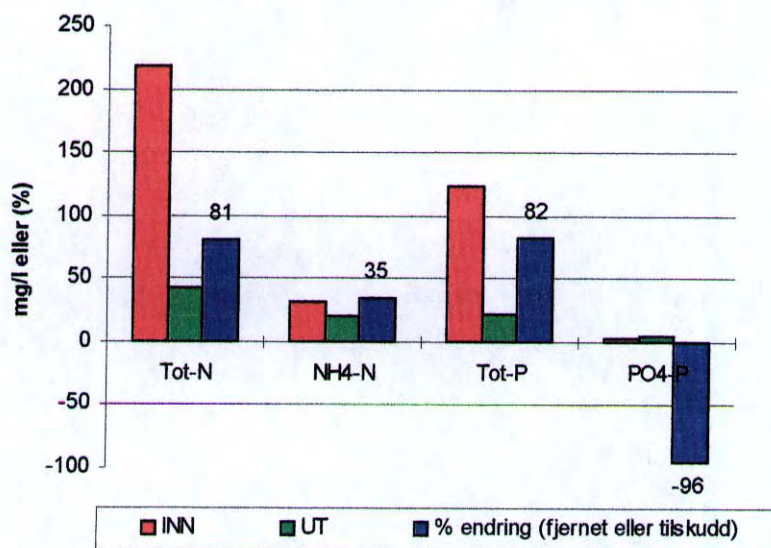
I sedimenteringskon med lavt til midlere slamnivå (slamteppe > 30 cm fra overløp)<sup>3</sup> er renseseffekten langt bedre med hensyn på Tot-N og Tot-P (tabell 6). Ved drift av sedimenteringskon med lavt slamnivå synes det mulig å oppnå en viss tilbakeholdelse av ammonium, mens det fortsatt tapes ortofosfat med utløpet. Mengde næringsalter til resipient synes uansett å ligge på et langt lavere nivå med løsninger som baseres på hyppig tømning av slam fra sedimenteringskon til slambåt (figur 7).

**Tabell 6.** Tilbakeholdelse av SS, TOC, Tot-N og Tot-P i sedimenteringskon når denne drives med lavt til midlere slamnivå. Verdiene representerer gjennomsnitt. Standardavvik oppgis i mg/l.

Parameter	Benevning	Innløp	St.avvik	Utløp	St.avvik	Renseeffekt
SS	mg/l	6969	± 760	1269	±286	81,8
Tot-P	mg/l	123	± 43	22	± 2,4	82,1
Tot-N	mg/l	219	± 85	42	± 7,5	80,8

<sup>3</sup> slamteppe steg i løpet av testperioden. Anslaget gjelder høyeste slamnivå i konen.

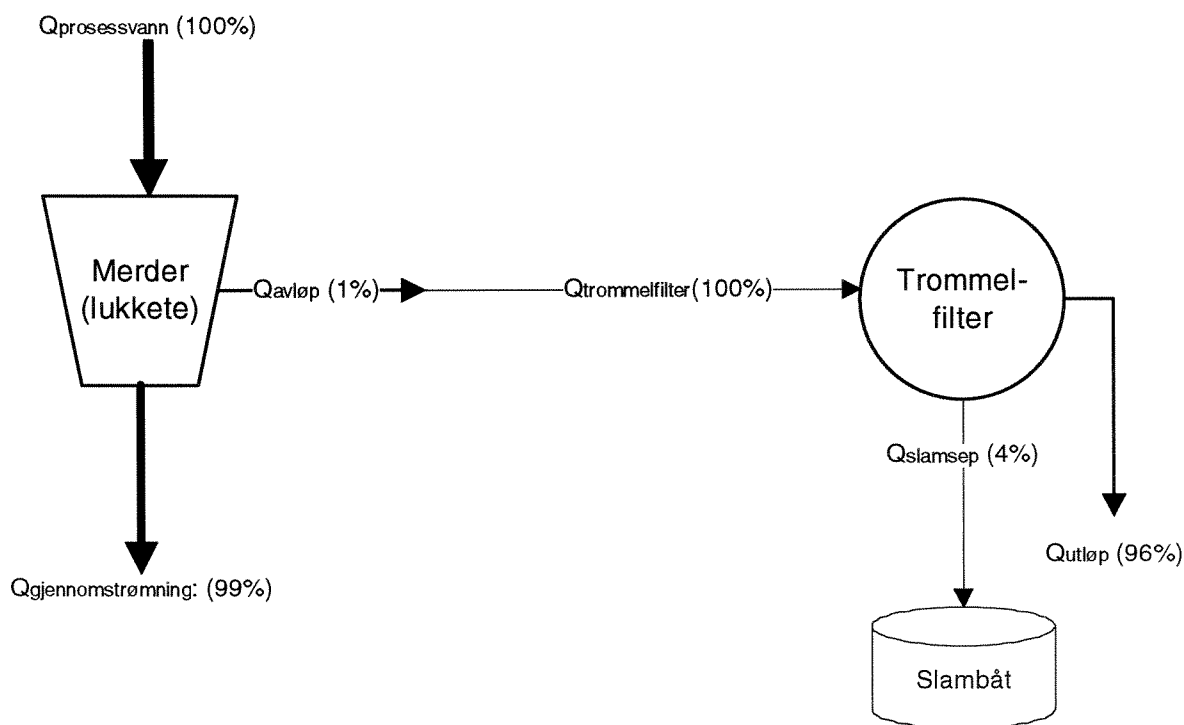
## Hydrolyse i sedimenteringskon med lavt slamnivå



**Figur 7.** Tilbakeholdelse av nitrogen og fosfor og tilskudd av ortofosfat og ammonium til overløp (slamhydrolyse) i sedimenteringskon med lavt til midlere slamnivå.

## 4.5 Stofftransport gjennom havbruksanlegget i Oksefjorden

Fordelingen av vannstrømmer gjennom anlegget i Oksefjorden fremgår av figur 8 under. Beregningene i rapporten er gjort med grunnlag i en hydraulisk belastning av trommelfilteret på 480 liter/min.



**Figur 8.** Fordeling av vannstrømmer gjennom anlegget. Tilførsel av prosessvann til merdanlegg og "avløpsvann" til trommelfilter regnes som 100%. Delstrømmer fra disse enhetene utgjør %-andeler

I tabell 7 beskrives kvaliteten i ubehandlet og behandlet avløpsvann fra produksjonsenhetene i Marine Production AS. Det presiseres at avløpsvannet kun utgjør ca. 1 % av den totale prosessvannsmengden.

Kvaliteten er fremstilt som kg/tonn biomasse \* døgn (se figur 2). Tabellen angir også SS, nitrogen og fosfor som % andel av tilsvarende i tilført fôr.

**Tabell 7.** Kvalitet i avløpsvann før og etter behandling i trommelfilter. Verdiene benevnes kg / kg biomasse \* døgn. Basert på kunnskap om førtilsetninger (figur 2) er % transport av SS, N og P fra henholdsvis anlegg og trommelfilter også beregnet.

Parameter m/benevning	Slamvann til trommelfilter februar 1998 <sup>1</sup>			Utløp etter trommelfilter februar 1998 <sup>1</sup>			Slamvann til trommelfilter mars 1998 <sup>2</sup>			Utløp etter trommelfilter mars 1998 <sup>2</sup>		
	snitt	max	min	snitt	max	min	snitt	max	min	snitt	max	min
SS: kg SS / tonn biomasse * døgn	1.8	3.5	1.0	1.2	1.7	1.0	3.4	3.6	3.2	2.3	2.5	2.2
SS: % av kg tilsatt fôr	0.3	0.7	0.2	0.2	0.3	0.2	0.5	0.5	0.5	0.3	0.4	0.2
P: kg Tot-P / tonn biomasse * døgn	0.03	0.04	0.01	0.02	0.02	0.01	0.07	0.08	0.07	0.04	0.06	0.03
P: % av kg P i tilsatt fôr	0.3	0.6	0.2	0.2	0.3	0.1	0.7	0.8	0.6	0.4	0.6	0.2
N: kg Tot-N / tonn biomasse * døgn	0.1	0.2	0.1	0.04	0.05	0.03	0.05	0.06	0.03	0.01	0.02	0.01
N: % av kg N i tilsatt fôr	0.4	0.5	0.3	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.03	0.04	0.02

<sup>1</sup> Blandprøver av 5 manuelle prøver tatt på dagtid (n=5)

<sup>2</sup> Døgnblandprøver (n=3)

Ut fra resultatene i tabell 7 vil et anslag på stofftransport pr. døgn og tonn biomasse i fra henholdsvis slamuttak fra lukket anlegg og i utløp fra trommelfilter være som vist i tabell 8. Tabellen viser også belastningen på resipient ved ulike mengder biomasse i anlegget.

**Tabell 8.** Belastning av trommelfilter ved Marine production AS og anslag over belastninger av resipient ved ulike mengde biomasse i anlegget.

Parameter	Til trommel- filter <sup>1</sup> kg/tonn*dgn.	Fra Trommelfilter kg/tonn*dgn.	Belastning (tonn/år)		
			100 tonn biomasse i anlegg	200 tonn biomasse i anlegg	300 tonn biomasse i anlegg
SS	2,6	1,75	64	128	192
Tot-N	0,075	0,0025	0,9	1,8	2,7
Tot-P	0,05	0,03	1.1	2,2	3,3

<sup>1</sup> Tallene er gjennomsnitt fra måleperiodene i februar og mars 1998 (fr. tabell 7)

Det vil være et mål å få ned spesielt fosforverdien. Med grunnlag i at fôringsfaktoren synes å være høy (1,28 - 1,42 kg fôr/kg biomasse produsert) synes en bedring av denne til ned mot og under 1,0 å være det mest effektive tiltaket for å oppnå en reduksjon i P-utslippet.

Drift med redusert tetthet vil forhindre / dempe stress hos fisken, noe som igjen kan senke fôringsfaktoren.

Med grunnlag i data i tabellene 4-6 (renseeffekter ved ulike sedimenteringsløsninger) beskriver tabell 9 anslag over årlige uttak av SS, nitrogen og fosfor i slammet fra sedimenteringstrinnet ved Marine Production AS. Verdiene representerer gjennomsnittet av resultatene i tabellene 4-6, (som viser renseseffekten ved 3 ulike sedimenteringsløsninger). Tabellen viser på tilsvarende måte belastningen på resipient fra overløpet i sedimenteringstrinnet.

**Tabell 9.** Uttak av SS samt nitrogen og fosfor (i slam) fra sedimenteringstrinnet ved Marine Production AS samt tilførsel av tilsvarende til resipient via overløp. Gjennomstrømning av slamvann er satt til 15 l/min

Parameter	SLAM (tonn pr. år)			OVERLØP (tonn pr. år)		
	100 tonn bio- masse	200 tonn bio- masse	300 tonn bio- masse	100 tonn bio- masse	200 tonn bio- masse	300 tonn bio- masse
SS	31	62	93	11.2	22.4	33.6
Tot-P	0,67	1,34	2,01	0,24	0,48	0,72
Tot-N	0,7	1,4	2,1	0,7	1,4	2,1



## 5. Slamkvalitet / Bruksområder

I rapporten *Produksjon av kompost fra homogene og høyverdige avfallstyper - En vurdering av avfallsvolumer og kvalitet, prosess og økonomi* (Norgaard og Ugland, 1997) beskrives avfallsprodukter av marin opprinnelse som interessante til bruk som gjødsel, delvis p.g.a. høyt nitrogennivå, men også på grunn av forholdet mellom nærings saltene nitrogen, fosfor og kalium ligger på et nivå som minimerer bruken av tilleggsgjødsling med kaliumsalpeter ( $KNO_3$ ). Høye magnesiumverdier vil også være med å gi marine gjødselprodukter et fortrinn.

### 5.1 Kvalitet i slam fra Marine Production AS

Gjødselverdien i slam fra flytende lukket oppdrett baseres i rapporten til Norgaard og Skaar på anslag. Det er således et behov for en nærmere dokumentasjon av slammet som produseres ved Marine production AS.

Tabell 10 under viser sammensetningen i slamprøve fra Marine production AS.

**Tabell 10.** Kvalitet i slam fra oppdrettsanlegg hos Marine Production AS

Parameter	Benevning	Verdi
pH		5,71
Tørrstoff (TS)	%	18,6
Total gløderest	% av TS	26,4
Kjeldahl-Nitrogen	% av TS	3,83
Total-Fosfor	% av TS	2,18
Kalsium	g / kg TS	30,6
Kalium	g / kg TS	4,64
Kadmium	mg Cd / kg TS	0,63
Bly	mg Pb / kg TS	< 0,50
Nikkel	mg Ni / kg TS	< 5,0
Sink	mg Zn / kg TS	279
Kobber	mg Cu / kg TS	30,6
Krom	mg Cr / kg TS	8,55

Tabell 11 sammenlikner innholdet av nitrogen, fosfor, kalium og kalium i slam fra oppdrettsanlegget med tilsvarende fra avløpsslam og husholdningskompost (Ugland, 1998)

**Tabell 11.** Innhold av plantenæringsstoffer angitt som kg pr tonn tørrstoff i slam fra oppdrettsanlegg, avløpslam og husholdningskompost (Ugland, 1998).

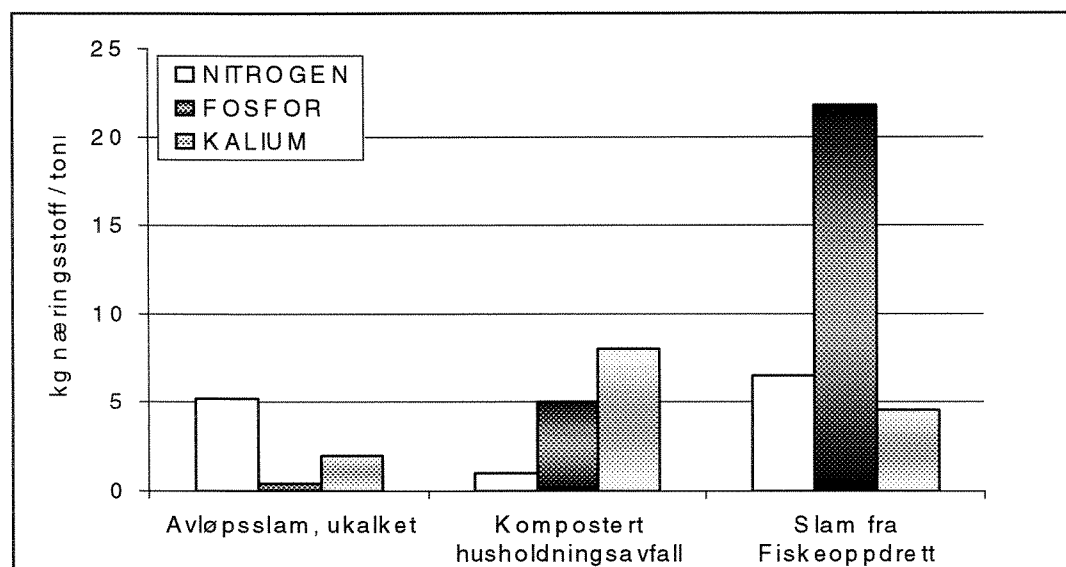
	Oppdrettsanlegg	Avløpslam	Husholdningskompost
N-Kjeldahl	38,3	22	24
Fosfor	21,8	14	5
Kalium	4,64	2	6
Kalsium	30,6	11	28

Som tabellen viser er nitrogeninnholdet i slammet fra anlegget svært høyt i forhold til middelverdiene for kompost og avløpslam. Frigivningshastigheten for det organisk bundne nitrogenet er det vanskelig å mene noe eksakt om, men i en rekke andre avfallstyper brukes en nøkkel som angir 10% av totalnitrogen + 80% av mineralisert fraksjon.

Andelen ammonium og urea utgjør maksimum 10 % av total-N. Med basis i dette vil et forsiktig anslag være en gjødseffekt på 6,5 kg N pr. tonn tørrstoff i det året avfallet brukes.

Innholdet av fosfor er også svært høyt, og det er grunn til å forvente en høy utnyttelsesgrad av dette hos plantene.

Kaliuminnholdet i avfallet er ikke svært forskjellig fra de øvrige avfallstypene, mens innholdet av kalsium indikerer at avfallet vil kunne ha en svak positiv virkning på jordreaksjonen.



**Figur 9.** Sammenlikning av forventet næringsverdi i 3 avfallstyper, avløpslam, kompostert husholdningsavfall og avfall fra fiskeoppdrett i 1. år.

**Nitrogen** i avløpslam og slam fra fiskeoppdrett er beregnet som 10% av organisk bundet N + 80% av mineralisert N. I kompostert husholdningsavfall regnes 80-100% av mineralisert nitrogen.

Tilgjengeligheten av **fosfor** i avløpslam er redusert p.g.a. bruk av fellingskjemikalier. (Ugland, 1998)

Den tilgjengelige næringen for plantene fra et avfallsprodukt er nødvendigvis ikke det samme som det kjemiske innholdet. I Planteforsk-prosjektet *Bruk av slam i jordbruket* (Ugland *et al.*, 1998) som var et samarbeid med NORVAR, NLH og en rekke renovasjonsselskap, ble det konkludert med at bruk av fellingskjemikalier førte til en vesentlig reduksjon av fosfortilgjengeligheten i avløps-slam. Videre har våre undersøkelser vist at nitrogenerneffekten av kompostert husholdningsavfall i første år kun er den mineraliserte fraksjonen.

Et anslag over plantetilgjengeligheten av N, P og K i slam fra Marine Production AS er vist i figur 9 sammen med tilsvarende for avløpsslam og husholdningskompost. Figuren illustrerer at slam fra oppdrettsindustrien er spesielt verdifulle som nitrogen- og fosforgjødsel.

Forutsatt at denne forventningen er riktig, vil bytteverdien i handelsgjødsel, regnet etter markedsverdi være kr 537 pr. tonn tørrstoff. I denne sammenhengen er det viktig å være klar over at fosfor kjøpes i billigste handelsvare for kr 20,30 pr. kg - og at dette stoffet er det dyreste stoffet i mineralgjødselblandinger.

Mengde organisk stoff er interessant i den betydning som legges i et avfalls jordforbedrende virkning. Dette har å gjøre med forhold som vannlagringsevne, oppbygging av stabile aggregat i jord og vilkår for mikro-aktivitet i jordmiljøet. En sammenstilling av dette er vist i tabell 12.

**Tabell 12.** Innhold av organisk stoff i aktuelle avfallsprodukter, angitt som prosent av tørrstoffet (Ugland, 1998)

	% av tørrstoffet
Slam fra fiskeoppdrett	73,6
Ukalket slam	47
Kalket slam	33
Kompostert slam	60
Bioavfallskompost fra RKR <sup>1</sup>	57
Gårdskompost fra Planteforsk, Landvik	22
Husdyrgjødsel av storfe	85

<sup>1</sup> RKR: Regionalt avfallsanlegg for Kristiansands-Regionen

## 6. Konservering av slam

Et aktuelt tiltak for å begrense luktproblemene er å stabilisere slammet midlertidig ved hjelp av kalk eller syre. En slik praksis vil også inaktivere eventuelle fiskepatogene mikroorganismer, og derved forebygge faren for å overføre smitte til vannforekomster ved bruk av slammet på åpen mark.

Dersom kalk benyttes, kan denne ha en positiv effekt ved bruk av slammet som jordforbedringsmiddel.

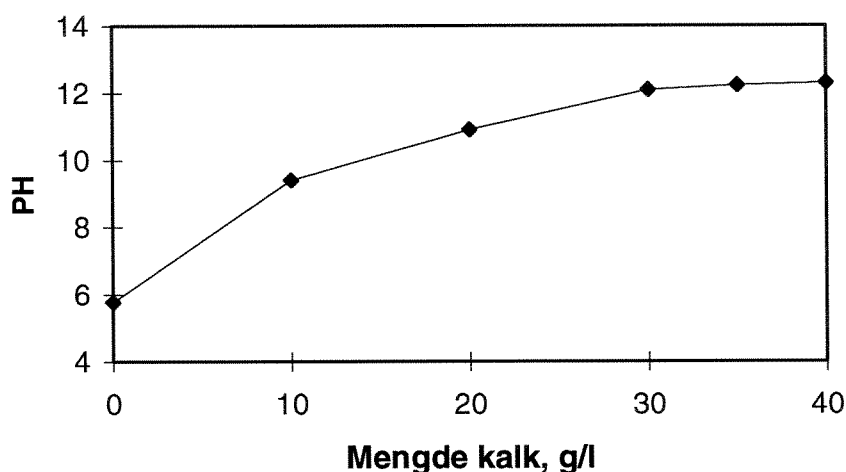
Det er gjennomført forsøk med inndosering av kalk og maursyre til råslam som ble hentet fra sedimenteringskonen 03.03.98. Slammet hadde et tørrstoffinnhold på 186 g/l hvorav 26,4 % (vekt/vekt) var gløderest.

### 6.1 Kalk for konservering av slam fra Marine Production AS

Figur 10 under viser pH-utviklingen i slammet som funksjon av økende mengde tilsatt lesket kalk ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$  - 0 til 0,1 mm, fra Franzefoss Bruk AS). pH-kurven stiger bratt med økende dosering i første del, for deretter å flate ut senere i kurveforløpet. Maksimal oppnåelig pH synes å ligge i området 12,3 - 12,4. Franzefoss angir maksimal pH for lesket og ulesket kalk i området 12,4 - 12,5, noe som gir god overensstemmelse med resultatene fra testen (figur 20). Lesket kalk kan kjøpes i 20 kg sekker til en pris av kr. 2100 pr. tonn (inkl. mva.). Frakt kommer i tillegg.

En minimum dosering på 30 g pr. liter slam, tilsvarende 160 g pr. kg TS, må benyttes for å sikre slammet en pH-verdi >12. Volumøkningen ved denne doseringen var mindre enn 10 %. For å sikre pH verdier >12 over en ønsket tidsperiode bør det imidlertid doseres et visst overskudd av kalk. I en tidligere utført undersøkelse hvor slam fra fiskeoppdrett ble kalkstabilisert med 280 g lesket kalk pr. kg tørrstoff, holdt pH-verdien seg over 12 i 30 døgn ved 16 °C (Liltved *et al.* 1991). Den hygieniserende effekten av kalk-stabilisering er blitt undersøkt av Bergheim *et al.* (1996). Furunkulose-bakterien (*Aeromonas salmonicida* subsp. *salmonicida*) bli redusert med 99,9 % i løpet av 1 time ved pH 12. For å oppnå tilsvarende inaktiverings-effekt ovenfor viruset som forårsaker infeksjons lakseanemi (IPNV), krevdes 1 ukes kontakttid ved 15 °C.

Dersom ulesket kalk ( $\text{CaO}$ ) benyttes, vil forbruket være omtrentlig det samme som for lesket kalk. Hygieniserende effekter av temperaturstigning kan ikke påregnes, da denne vil være lav (<10°C) i det aktuelle slammet (lavt TS-innhold). Ulesket kalk kan kjøpes i 40 kg sekker til en pris av kr. 1900 pr. tonn (inkl.mva. / ekskl.frakt).

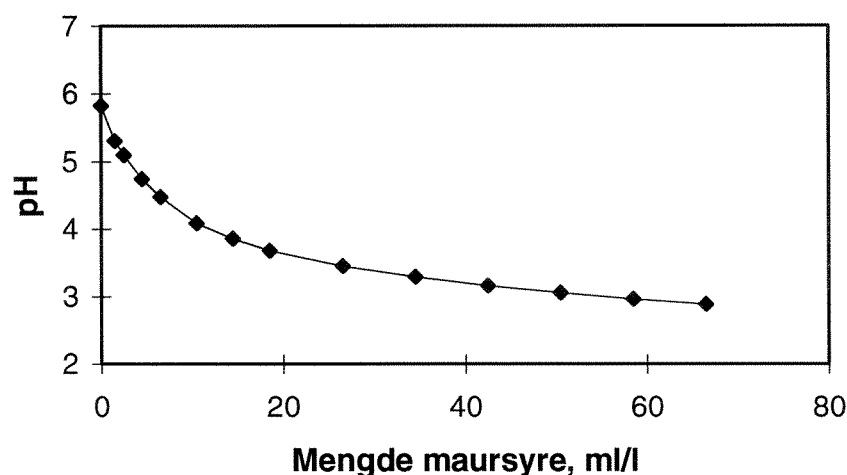


**Figur 10.** pH-verdi i slammet som funksjon av mengde lesket kalk ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) tilsatt (g/l). TS i slammet ble målt til 18,6%

## 6.2 Maursyre for konservering av slam fra Marine Production AS

Når maursyre (pro analysis, 98-100 %, Merck) ble tilsatt slamprøven, måtte 54 ml pr. liter slam doseres for å nå en pH på 3. Dette tilsvarer 290 ml pr. kg tørrstoff. Det er usikkert hvor stabilt slammet er ved denne pH-verdien. Imidlertid vil fiskepatogene mikroorganismer inaktiveres ved tilsats av maursyre til verdier i området 3,5-4,0 (Landbruksdepartementet 1997, Fløgstad og medarb. 1991).

Som vist i figur 11 under, øker syreforbruket kraftig med synkende pH, noe som har sammenheng med at maursyre er en svak syre med syrekonstant  $pK_s = 3.75$ . Når pH skal senkes til verdier under syrekonstanten, kreves forholdsvis mye syre. 85 % maursyre kan kjøpes på 25 l kanner til en kostnad av kr. 10; pr liter (inkludert merverdiavgift / eksklusiv frakt). Én slik kanne vil være tilstrekkelig for å redusere pH til 3 i ca.  $0,4 \text{ m}^3$  slam.



**Figur 11.** pH-verdi i slammet som funksjon av mengde 100 % maursyre tilsatt (ml/l). TS i slammet ble målt til 18,6%.

### 6.3 Anbefalinger vedrørende slamhåndtering / Beregninger av slammengder, kjemikaliekostnader og tømmefrekvenser

Dersom slammet skal stabiliseres ved tilsetning av syre eller lesket kalk er det en forutsetning at slamhåndteringen inkluderer slambåten som et flytende mellomlager.

Slambåten har et bruksvolum / våtvolum på ca. 16 m<sup>3</sup>.

Inndosering av syre eller kalk kan skje via skrue eller pumpe til sedimenteringskonen som dermed også vil fungere som et homogeniseringstrinn. Syren kan alternativt doseres direkte til slambåten. Det anbefales at uttapping av slam skjer hyppig (minst 2-3 ganger pr. uke).

Tabellene 13 og 14 under viser beregnet slamproduksjon og kjemikaliebehov ved ulike behandlingsstrategier (kalking eller syretilsetning). Årlige kjemikaliekostnader og tømmefrekvenser ved de ulike scenariene er også estimert.

Som kommentarer til tabellene anføres at rensegrad og slamtørrstoff er dokumenterte verdier, mens kalkdose er beregnet å gi mellom 180 og 200 g/kg TS (omdannet verdi fra SS).

Suspendert stoff i slamvannet og spylevannsmengder ( $Q_{\text{slam}}$ ) antas å variere over døgnet og året. Valg en gjennomsnittsverdi på 15 l/minutt er gjort med grunnlag i erfaringer fra dagdrift og opplysninger fra røkter og Sterner AquaTech.

**Tabell 13.** Beregning av slammengder, kalkbehov og kjemikaliekostnader (inkl. mva) for stabilisering av slammet ved tilsetning av lesket kalk - dose 250 g Ca(OH)<sub>2</sub> pr. kg SS. Beregningene er gjort med basis i slamproduksjonen i tabell 9.

Biomasse	Slam- prod.	Slam- TS	Slam- volum	Kalk- dose	Slam- volum <sub>stab</sub>	Kalkkostnader
(tonn)	tonn/år	(%)	(m <sup>3</sup> /år)	(tonn/år)	(m <sup>3</sup> /år)	(kr/år)
100	31	18	172	7.8	189	15500
200	62	18	344	15.5	379	31000
300	93	18	517	23.3	568	46500

**Tabell 14.** Beregning av slammengder, maursyrebehov og kjemikaliekostnader (inkl. mva) for stabilisering av slammet ved tilsetning av maursyre - syre-dose 380 ml pr. kg SS. Beregningene er gjort med basis i slamproduksjonen i tabell 9.

Biomasse	Slam- prod.	Slam- TS	Slam- volum	Syre- dose	Slam- volum <sub>stab</sub>	Syrekostnader
(g/l)	tonn/år	(%)	(m <sup>3</sup> /år)	(m <sup>3</sup> /år)	(m <sup>3</sup> /år)	(kr/år)
100	31	18	172	11,8	184	118000
200	62	18	344	23,6	368	236000
300	93	18	517	35,3	552	353000

## 7. Luktreduksjon

Marine Production AS' anlegg i Oksefjorden er i stand til å fjerne en relativt stor del av den partikkelære forurensningen fra sitt prosessvann. I utgangspunktet er slammet regnet å være en ressurs for anvendelse i jordbruket f.eks.

Imidlertid er det heftet miljøproblemer til langtidslagring av organisk materiale (slam), spesielt når det er rikt på protein og sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Dannelse av luktforbindinger, eksplosive ( $\text{CH}_4$ ) og helsefarlige gasser ( $\text{H}_2\text{S}$ ) vil kunne influere negativt på omgivelsene og ellers i mer ekstreme tilfeller også kunne være farlig for arbeidsmiljøet ombord på anlegget.

### 7.1 Luktkilder

Det er to typer luktkilder forbundet med de aller fleste industriprosesser, havbruk inkludert:

1. Diffuse kilder
2. Punktkilder

Nedenfor gjennomgås de kildene vi er kjent med hos Marine Production AS på det nåværende tidspunkt.

#### 7.1.1 Diffuse luktkilder ved Marine Production AS' anlegg i Oksefjorden

På anlegget vil diffuse luktkilder i all hovedsak koples til ulike tilgrisede og fuktige materialer som får ligge i lang tid uten rengjøring eller at det overføres til annen lagringsplass. Fisk, skjellrester, tang og ulike bløtdyr vil gå fort i forråtnelse og avgi sterke og ofte vonde lukter. Siden sjøvann inneholder en del sulfat er det overhengende fare for dannelse av hydrogensulfid som lukter karakteristisk av råtne egg i tillegg til metylmerkaptan og andre sulfider. Ulike biogene aminer (f.eks putrescein og kadaverin) dannes også under anaerobe betingelser, særlig når det er proteinrikt materiale til stede.

En annen diffus kilde som røktere og driftsoperatører bør være oppmerksomme på er fett eller annet organisk materiale som holder seg flytende rundt anlegget. Dersom denne type forurensning får stuve seg opp enten i anlegget eller inn mot land (avhengig av vær og vind) vil de samme anaerobe prosessene kunne føre til produksjon av illeluktende forbindelser. Harskt fett med innslag av forgrenede fettsyrer gir markante luktinntrykk.

## 7.1.2 Punktkilder

Det ligger i ordet lukket oppdrettsteknologi at muligheter for å etablere punktkilder også er tilstede. Fordelene med punktkilder er at det finnes muligheter for å etablere tiltak for å behandle eller rense avgassen(e) slik at luktbelastningene reduseres til et akseptabelt nivå.

På Marine Production AS' anlegg i Oksefjorden kan for såvidt hele slamhåndteringslinjen med eller uten sedimenteringskon betraktes som en lukket prosess som det vil være mulig å håndtere luftstrømmene fra.

Andre punktkilde vil være:

- Lagringstank for ensilert dødfisk
- Prosesseringshus for blåskjell

Av disse kildene er det naturlig nok slambåt/slamkon som vil være de viktigste kildene å kunne kontrollere.

Tømming av slambåten er i seg selv en punktkilde.

Slike rutiner bør forhåndsvarsles (nabovarsel) og fortrinnsvis legges til tider med lav trafikk (sommersesongen med høyt innslag av feriegjester vil f.eks være uegnet som tømmeperiode) og ideelt sett til dager der vindforholdene er gunstig med hensyn til luktspredning. Ut over dette bør det etableres tiltak for å unngå frigivelse av lukt direkte til omgivelsene.

## 7.2 Tiltak for å avgrense luktproblemer

### 7.2.1 Diffuse luktkilder

Lukt fra diffuse kilder som beskrevet i kapittel 6.1.1 vil kunne avgrenses eller elimineres helt gjennom det som på instituttspråk kalles "good laboratory practice". Overført til et havbruksanlegg vil det si at ukontrollert lagring av organisk materiale eller utstyrt som inneholder organisk materiale eller søl generelt unngås. Renhold er et viktig stikkord i denne forbindelse.

Det vil også være viktig at ansamlinger av fett og annet materiale i vannflaten holdes under oppsikt slik at det eventuelt kan fjernes og lagres i slambåt (avhengig av type avfall). aktpågivenhet kan også være viktig med hensyn på å kunne spore kilder til sølet. Tilsvarende kan det være aktuelt å fjerne ansamlinger av fett fra landomgivelsene umiddelbart innefor anlegget.



### 7.2.2 Punktkilder

Midlertidig stabilisering av slammet ved hjelp av kalk eller syre vil være et tiltak som i seg selv forventes å avdempe/begrense luktutslipp fra de aktuelle punktkildene. Det kan i beste fall vise seg at dette tiltaket er tilstrekkelig for å avgrense luktproblemet i en tilstrekkelig grad.

Dersom det viser seg at ytterligere tiltak er nødvendige, kan det være aktuelt å etablere et behandlingstrinn for avgassene som trekkes av slamhåndteringslinjen (sedimenteringskon og slambåt).

Det finnes flere måter å behandle luktutslipp på:

- Biofiltere
- Kjemiske vasketårn (sure, basiske, hypokloritt)
- Ozonvasking
- Spraying av headspace med spesialkjemikalier
- Fotooksidasjonsanlegg

### 7.2.3 Fotooksidasjon for behandling av luktende avkast fra Marine Production AS

På et flytende havbruksanlegg gjelder at plass og volum er "gull verdt", samt at lagring / bruk av aggressive og / eller giftige kjemikalier ikke er ønskelig.

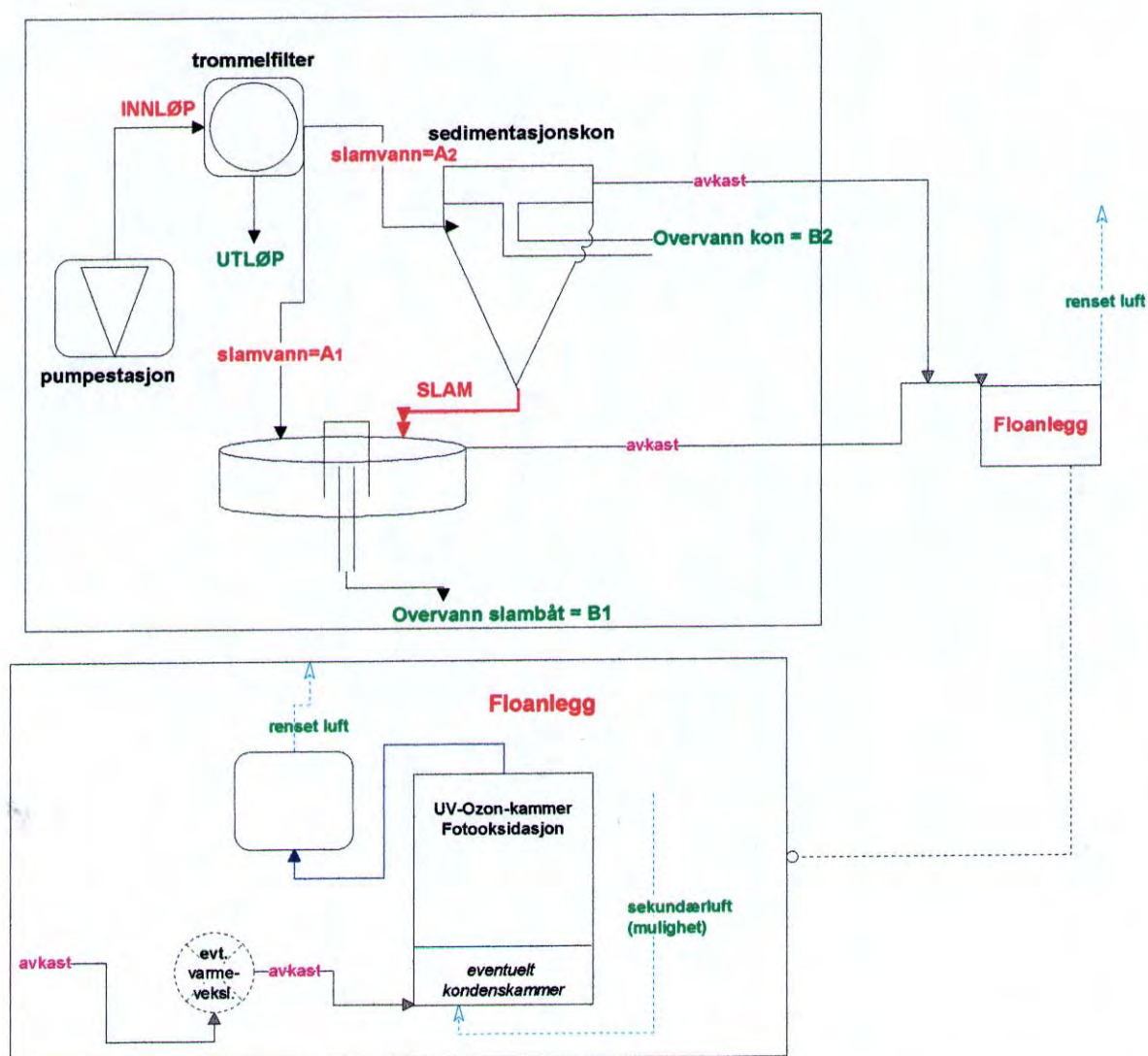
Ut fra dette synes et fotooksidasjonsanlegg å være et brukbart alternativ for behandling av avgass fra sedimenteringskon og slambåt og eventuelt mellomlager (kvern) for dødfisk. Et fotooksidasjonsanlegg utnytter en kombinasjon av UV og ozon for å bryte ned og oksydere luktforbindelser til komponenter som normalt ikke lukter.

UV-strålingen vil ha 3 funksjoner som øker effekten i et kombinert anlegg sammenliknet med et rent ozoneringsanlegg:

1. UV-lyset er essensielt for produksjonen av ozon ( $O_3$ ) fra molekylært oksygen i luften som befinner seg i prosessgassen og eventuelt i innblandet friskluft (behovet vurderes)
2. UV-lys gjør de flyktige organiske forbindelsene lettere tilgjengelig for videre oksidasjon
3. UV lys virker desinfiserende

Et fotooksydasjonsanlegg består av følgende komponenter (se figur 12):

1. Styreskap:  
Styreskapet inneholder trafoer, startere, (eventuelt) PLS, funksjonslamper og timeteller for kontroll av driftstid på UV-lampene
2. Fotooksidasjonskammer:  
Kammeret (boksen) består av UV-lamper. Når prosessgass eller friskluftinnblandet prosessgass eksponeres for lampene dannes ozon. Luktkomponenter oksyderes og mikroorganismer drepes.
3. Reaksjonskammer:  
Det er viktig at avkastet får tid til å reagere med ozonet. For å oppnå en oppholdstid på minimum 2 sekunder, kan det være aktuelt å etablere et reaksjonskammer i tillegg til selve FLO-kammeret.
4. Ventilator / vifte  
Sørger for et undertrykk og plasseres etter selve FLO-anlegget



**Figur 12.** Prinsippsskisse over avløps- og luftbehandling i fotooksidasjonsanlegg (Floanlegg)

Dersom lukt fortsatt defineres som et problem ved normal drift (etter etablering av rutiner for kondisjonering av slammet) og dersom leverandør kan dokumentere at luktreduksjonen i et undertrykkssystem (luftgjennomstrømning 50 - 200 m<sup>3</sup>/time) gir en tilstrekkelig reduksjon av luktkonsentrasjonen i avkastet for å oppnå godtagbare forhold hos naboer foreslår rapporten at Marine Production AS etablerer et anlegg for behandling av opp til 200 m<sup>3</sup> avkast/time.

Som et eksempel beskrives elementer og driftskostnader/rutiner for et fotooksidasjonsanlegg (FLO-anlegg) under. En veiledende investering er satt til NOK 80 000 (eks. mva).

### **Luktbehandling ved Marine Production AS – Et eksempel**

Som et eksempel beskrives elementer og driftskostnader/rutiner for et fotooksidasjonsanlegg (FLO-anlegg) under. En veiledende investering er satt til NOK 80 000 (eks. mva).

1. Floanlegget består av 4 stk 79 W UV-lamper og utføres i rustfritt stål.  
Kammeret inkluderer uttak for dreneringsvann (overføres til egen bærbar tank).
2. Reaksjonskanalen må ha et volum på minimum 200 liter.  
Dette kan godt være en del av ventilasjonskanalen som avsluttes med hette over tak.
3. Maksimalt strømforbruk for FLO-anlegget vil ligge på ca. 550 W.
4. Ettersyn / drift inkluderer rengjøring av lamper (5-10 minutter én gang pr. uke eller etter behov) og kontroll av at lampene virker.  
Det bør også foretas kontroll av timetellerstand for hver enkelt lampe.
5. Driftskostnader innbefatter skifte av UV-lamper.  
Driftstiden er på 8000 - 10000 timer som tilsvarer ca. ett års skift.  
Lampene koster i underkant av 2000 kr. pr. stk.

## 8. Referanseliste

- Bergheim A., Liltved H., Cripps S., Indrevik G. og Nygaard Austrheim L. 1996. Avvanning, stabilisering og utnyttelse av våtslam fra fiskeoppdrett. Rapport RF-96/280 fra Rogalandforskning. ISBN nr: 82-7220-787-7, 49 s.
- Fløgstad, H., Torgersen, Y., Schei, I. og Røttereng, P. J. 1991. Desinfeksjon av blodvann fra fiskeslakterier. SINTEF-rapport STF60 A91096. ISBN nr.: 82-595-7009 -2, 101 s.
- Liltved H., Vethe Ø. og Øren K. 1991. Kalkstabilisering og kondisjonering av slam fra fiskeoppdrettsanlegg. NIVA-rapport 2556, ISBN nr: 82-577-1874-2, 19 s.
- Norgaard, E. og Ugland, T. 1997. Produksjon av kompost fra homogene avfallstyper  
En vurdering av avfallsvolumer og kvalitet, prosess og økonomi. NIVA, 42 s.  
ISBN 82-577-3292-1
- Ugland, T., Ekeberg, E. og Krogstad, T. 1998. Bruk av avløpslam i jordbruket. Planteforsk. Grønn forskning 1998, 13 s. ISBN 82-479-0059-9
- Ugland, T. 1988. Notat med kommentarer til kvaliteten i slam fra Marine Production AS

## **Norsk institutt for vannforskning**

Postboks 173 Kjelsås  
0411 Oslo

Telefon: 22 18 51 00  
Telefax: 22 18 52 00

Ved bestilling av rapporten,  
oppgi løpenummer 3915-98