

Utslippstillatelse Stolt Sea Farm, Fjon. I.
Rensedel

RF-1997/230-199

Utslippstillatelse Stolt Sea Farm, Fjon. I. Rensedel

Rapport RF-97/230

Vår referanse: 650/643963	Forfatter(e): A. Bergheim	Versjonsnr. / dato: Vers. 2 /10.12.97
Ant. sider: 20	Faglig kvalitetssikrer: A.U. Myhrvold	Gradering: Åpen
ISBN: 82-7220-852-0	Oppdragsgiver(e): Stolt Sea Farm, Bergen	Åpen fra (dato):
Forskningsprogram:	Prosjekttittel: Utslippstillatelse Stolt Sea Farm Fjon	


Ved Stolt Sea Farms settefiskanlegg i Fjon ble det i 1996 bygget et anlegg som kombinerer avløpsrensing og viderebehandling av produserte slam. Våre målinger viste at det første rensetrinnet, mekanisk siling ved 90 µm lysåpning, normalt renser 50 - 70 % av suspendert stoff og fosfor, mens det for organisk stoff (totalt organisk karbon) og nitrogen er lavere renseeffekt. Avvanningen av spylevann ved siling og sedimentering tydet på å være effektiv og økte konsentrasjonene av tørrstoff fra ca. 1 g/L til 100 - 150 g/L. Produksjonen av ferdig slam var i middel 0,6 - 1 L pr. kg brukt fôr eller 60 - 120 g slamtørrstoff pr. kg fôr. Slammet blir tilsatt kalk, 8 - 12 kg CaO pr. 500 L slam, for stabilisering og hygienisering. Analyser har vist at behandlet slam har høyt innhold av organisk stoff, fosfor og nitrogen, mens innholdet av tungmetaller normalt er under nivåene som begrenser slammets anvendelse som organisk gjødsel i jordbruk. Imidlertid kan slammets innhold av sink og kadmium overstige den nedre grensen for fri anvendelse (Klasse I).

Emne-ord:

Avløpsrensing, slambehandling, avvanning, kalkstabilisering, hygiene

RF - Rogalandforskning er sertifisert etter et kvalitetssystem basert på NS - EN ISO 9001


Prosjektleder
A. Bergheim


for RF - Miljø og næringsutvikling
K. Netland

Forord

I utslippstillatelsen til Stolt Sea Farms settefiskanlegg i Fjon er det skissert ulike krav og tiltak til forbedringer. For planlegging og oppfølgende effektivitetstester av gjennomførte rens tiltak ble Rogalandsforskning engasjert av selskapet. I RFs oppdrag inngår også vurdering av resipienttilstanden i sjøen ved utslippsstedet og i fjorden. Resipientdelen vil bli rapportert i en egen rapport fra RF ved utgangen 1997.

Rapporten omtaler måling av avløpsbelastningen fra anlegget før rens tiltak (april 96) og tre målinger som beskriver rens anleggets effektivitet i ulike faser (juli 96, oktober 96 og april 97). Anlegget består av roterende trommelsiler for partikkelreduksjon i avløpsvannet, totrinns avvanning av slamvann (ny siling etterfulgt av sedimentering) og kalkinnblanding før midlertidig lagring av ferdigbehandlet slam. Det ferdige slammet blir hentet av to lokale bønder og anvendt som organisk gjødsel. Gjødseffekten til slammet i planteproduksjon blir f.t. undersøkt av Haugaland Forsøksring (leder Annlaug Fludal).

Ved gjennomføring av prosjektet har følgende personer ved SSF spilt en viktig rolle:

Harald Mundal, leder Fjon

Grethe Adoff (prosjektkoordinator), Endre Jenssen (prosjektleder) og Tor Andersson (teknisk sjef), alle Bergen

Rense- og slambehandlingsanlegget ble levert av Sterner Aquatech. Jarle Rønhovde ved firmaets avd. i Bergen har hele tiden fulgt opp driften av anlegget og gjennomført flere tekniske forbedringer.

Ved RF er alle kjemiske analyser utført ved Miljølab. Prosjektleder har vært Asbjørn Bergheim som også har skrevet rapporten. Faglig kvalitetssikrer for prosjektet er Arne U. Myhrvold (både rense- og resipientdel).

*Asbjørn Bergheim,
Rogalandsforskning*

*Grethe Adoff,
Stolt Sea Farm as*

Innhold

Forord	i
Innhold	ii
SAMMENDRAG	1
1 PROBLEMSTILLING - MÅLSETTING	4
2 MATERIALE OG METODER	5
2.1 Renseanlegg (SSF)	5
2.2 Driftsforhold	7
2.3 Prøvetaking	8
3 RESULTATER MED KOMMENTARER	11
3.1 Avløpsbelastning	11
3.2 Renseeffekt (Sil I)	11
3.3 Avvanning av slam (fortykning)	14
3.4 Kalkstabilisering av slam	15
3.5 Slamproduksjon	15
3.6 Slamkvalitet	16
3.7 Økonomi	17
4. REFERANSER	20

Sammendrag

Bakgrunn og målsetting

Det omtalte prosjektet hadde som formål å bidra til optimalisering av et komplett system for avløpsrensing og slambehandling ved Stolt Sea Farms smoltanlegg i Fjon. Oppbygning og dimensjonering av systemet for slambehandling bygde i stor grad på tidligere eksperimentelle erfaringer med sedimentering av partikler og stabilisering av slam ved andre smoltanlegg. I tillegg til de gjennomførte målingene for å optimalisere renseanlegget er det også utført resipientundersøkelser ved utslippsstedet i Fjonavika for å vurdere effekten av rensiltakene.

Rense- og slambehandlingsanlegg

Partikler i avløpsvannet fra fiskekarene blir rensed fra gjennom fire Hydrotech trommelsiler utstyrt med filterduk med lysåpning 90 μm . Da filterduken tilbakespyles kun ved behov (trykkforskjell), blir mengden spylevann relativt lav (normalt omkring 1 % av gjennomstrømmende vannmengde) og partikkelinnholdet tilsvarende høyt (ca. 1 g/L). De fire trommelsilene var dimensjonert for en vannmengde to ganger høyere enn det nåværende nivå på 30 - 35 m^3/min . Den høye kapasiteten er valgt for å oppnå driftsmessig sikkerhet av renseanlegget (ved driftsstans i én trommel vil de resterende tromlene opprettholde rensingen) og for å ha fremtidig kapasitet i forbindelse med anleggsutvidelse.

Spylevannet ble opprinnelig oppkonsentrert gjennom to trinn: først en ny siling (80 μm silduk) etterfulgt av partikkelsedimentering i en rund tank utstyrt med konisk bunn for slamavsetning. Etterat spylevannet var oppkonsentrert gjennom silen ble det løftet 3 - 4 m til sedimenteringstanken vha. en membranpumpe, spesielt skånsom overfor partikkelknusing. Sedimenteringstanken har en diameter på 205 cm (overflateareal 3,30 m^2) og et volum på ca. 5,5 m^3 . Ved de målte spylevannsmengdene mellom 1 og 10 L/min tilsvarte den hydrauliske belastning på tanken tidligere en oppholdstid på over 9 timer (overflatebelastning 0,02 - 0,2 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{time}$).

Fra 1. oktober d.å. er imidlertid silen koblet ut slik at spylevannet nå føres *direkte* fra trommelsilene til sedimenteringstanken. Silen for første avvanningstrinn syntes ikke å fungere helt som forventet (se *Avvanning*) under praktiske forhold og i tester. Den midlere spylevannsmengden er nå 10 - 15 L/min (H. Mundal, pers. medd.) som tilsvarer en hydraulisk belastning på tanken på 0,18 - 0,27 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{time}$. Den absolutt maksimale belastning på tanken er 120 l/min tilsvarende 2,2 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{time}$ (alle trommelsilene med kontinuerlig tilbakespyling).

Råslam blir så tappet fra sedimenteringstanken med 1 - 3 dagers intervall og tilsatt brent kalk i en egen lukket tank (500 l volum) med røreverk. Ved tilsetning av 8 - 12 kg brent kalk pr. 500 L vil pH stige til i overkant av 12,0. Mengden kalk bør justeres etter slammets tørrstoffinnhold og er økt noe i forhold til tidligere da det ble målt en

betydelig pH-nedgang gjennom lagring av slammet. Til slutt blir stabilisert slam lagret i en beholder inntil transport i tankvogn til to lokale bønder.

Avløpsbelastning

Stoffmengden i avløpet fra anlegget ble målt gjennom et døgn våren 96 før renseanlegget ble tilkoblet. Anlegget hadde en fiskebestand på 46 tonn og et fôrforbruk på 440 kg/døgn. Det ble målt lave konsentrasjonsøkningene gjennom anlegget: + 5 mg S-TS/L, + 0,5 mg TN/L og + 0,1 mg TP/L. Dette er typiske avløpskonsentrasjoner i settefiskanlegg med rikelig tilgang på ferskvann. Ved omregning til avløpsbelastninger utgjorde stoffmengdene fra anlegget ca. 300 kg S-TS, 25 kg TN og 5 kg TP pr. døgn. Den beregnede belastningen var overraskende høy i forhold til den tilførte fôrmengden og skyldtes trolig midlertidig nedsatt appetitt og dermed relativt mye fôrspill. Normalt er fôrutnyttelsen ved anlegget meget god, i underkant av 1,1 kg fôr/kg tilvekst.

Den målte belastningen er klart lavere enn normalt i august - september da fôrforbruket vil kunne komme opp mot 1000 kg/døgn, spesielt når den forventede mengden med settefisk av regnbueørret økes i fremtiden (E. Jenssen, pers. med.).

Avløpsrensing

Renseeffekten til trommelsilene ble målt to ganger, høsten 96 og våren 97. Den første målingen pågikk i en stormsituasjon med springflo og mye løvfall. Periodisk stans i rensingen og klogging av avvanningssilen medførte at renseseffekten var lavere enn vanlig: 35 - 50 % for SS og TP, og svært lav for TN. Under mer normale forhold ble målt høyere rensing (70 % for SS og 50 % for TP) våren 97. Det er planlagt å gjennomføre en ny måling under maksimal avløpsbelastning i august - september 98.

Avvanning (Fortykking)

Ved måling høsten 96 ble oppnådd 3 - 4 ganger økt partikkelkonsentrasjon gjennom silen i første avvanningstrinn (fra ca. 1 g SS/L til ca. 4 g SS/L). Gjennom dette trinnet gikk tapt 1 - 10 % av partiklene (til resipient). Et såvidt høyt tap av partikler som 10 % er ikke akseptabelt og effektiviteten til denne silen ble derfor vurdert på nytt. Fra 1. oktober 97 ble denne silen koblet ut og spylevannet fra trommelsilene ble dermed ført direkte til sedimenteringstanken.

I sedimenteringstanken økt partikkelinnholdet fra ca. 4 g/L i inngående slamvann til 100 - 180 g i utfelt slam. Tørrstoffinnholdet i slammet er avhengig av intervallet mellom hvert slamuttak - mindre enn ett døgn avsetning gir vannholdig slam (< 8 - 10 % TS, mens flere døgn avsetning normalt vil øke tørrstoffinnholdet til 15 - 20 %. Ved å sammenligne konsentrasjonene av partikler i innløps-(urenset) og utløpsvann (renset) vann var renseseffekten til sedimenteringstanken, basert på én måling, ca. 90 % (mao. ble 90 % av partiklene omdannet til slam). Utfra erfaringstall var den forventede effekten til tanken høyere enn målt, men dette skyldtes trolig at tilfeldige variasjoner påvirket målingen, samt eventuelle målefeil.

De refererte målingene omtaler situasjonen før silen for avvanning ble koblet fra systemet. I dag er partikkelinnholdet i inngående slamvann omkring 1 g/L, mens tørrstoffinnholdet i produsert slam ikke er målt under de nye forutsetningene.

Slamproduksjon

Det beste uttrykket for renseanleggets effektivitet er mengden produsert slam i forhold til tilført fôrmengde. Ved den midlere fôrutnyttelsen ved anlegget (ca. 1,1 kg fôr/kg tilvekst) blir det produsert en partikkelmengde fra fisken som tilsvarer ca. 150 g tørrstoff pr. kg tilført fôr. Basert på løpende målinger høsten 96 (oktober - desember) var produksjonen av slam fra renseanlegget i middel 115 g tørrstoff pr. kg tilført fôr. Selv om også fôrutnyttelsen varierer gjennom året, kan det tyde på at opp mot 2/3 deler av alle partikler fra fisken ble holdt tilbake i ferdig slam.

Den daglige slamproduksjon ved anlegget vil følge årstidsvariasjonen i fôrforbruk og vil være mellom 80 og 400 L i døgnet (slam med 10 % TS).

Økonomi

Det totale budsjettet er dominert av investeringene til betongarbeid, oppføring av bygning og innkjøp av renseutstyr. Som nevnt har renseanlegget høy kapasitet i forhold til den nåværende belastning av sikkerhetsmessige årsaker og for å møte evt. fremtidig anleggsutvidelse. Basert på 10 % årlig avskrivning og 5 % renter på kapital utgjør de faste kostnadene 85 % av totalkostnadene til rensing. De resterende variable kostnadene til arbeid, vedlikehold, elektrisitet, kalkinnkjøp, etc. utgjør altså bare 15 % av totalt. Totalkostnadene for det komplette renseanlegget tilsvarer omlag kr. 0,40 pr. produsert smolt på 100 g eller ca. 4 % av total produksjonskostnad.

1 PROBLEMSTILLING - MÅLSETTING

Behovet for å utvikle metoder og utstyr for å rense avløpsvann fra fiskeoppdrettsanlegg, som også kombinerer viderebehandling av produsert slam, har vært omtalt under tidligere prosjekter under SFTs "Program for renere teknologi innen havbruk"(f. eks. Bergheim *et al.* 1995).

Med rense- og slambehandlingsutstyr fra UNIK Filtersystem as gjennomførte RF-Rogalandsforskning og NIVA et utviklingsprosjekt ved Bøvågen Fiskeoppdrett (Bergheim *et al.* 1996). Det ble utført tester, under eksperimentelle og kommersielle betingelser, av partikkelutfelling i sedimenteringstanker for spylevann fra siler bl.a. for å vurdere effekten av ulik hydraulisk belastning og varierende partikkelinnhold. Videre gjennomførte NIVA tester over inaktivering av patogene bakterier og virus i kalkstabilisert slam ved pH 11 - 12,5 og økende påvirkningstid. Det stabiliserte slammet ble benyttet som gjødsel i sammenlignende vekstforsøk med handelsgjødsel (Ytre Midthordland forsøksring).

Det omtalte prosjektet ved Bøvågen Fiskeoppdrett gav klart uttrykk for at en slambehandling basert på partikkelfelling og kalkstabilisering fungerte under vanlige driftsmessige betingelser. Prosjektet var, i tillegg til andre erfaringer (f. eks. Liltved *et al.* 1991), utgangspunktet for valg av metoder ved etablering av det kommersielle rense- og slambehandlingsutstyret ved SSFs smoltanlegg i Fjon.

Til tross for et betydelig kunnskapsnivå, var det fortsatt flere vesentlige problemstillinger som gjensto å løse for å oppnå et optimalt fungerende system. Blant de viktigste var følgende:

- bruk av alternative system for tilbakespyling av siler i første rensetrinn. Kontinuerlig spyling gir stor spylevannsmengde med lavt partikkelinnhold som krever høy kapasitet på avvanningsutstyret

- bruk av utstyr som på en mest mulig skånsom måte transporterer spylevann fra siler til slamsedimentering. Knusing av partikler underveis i systemet vil raskt ødelegge effekten til enhetene for avvanning av slam (sedimenteringstank, sil)

- bruk av utstyr som på en effektiv og hurtig måte blander inn riktig kalkmengde i ferdig råslam

De gjennomførte testene med slam fra Bøvågen Fiskeoppdrett som gjødsel i planteproduksjon gav sprikende resultater mht. gjødseffekt. Dessuten tydet analysene av slam både fra dette og andre anlegg på at innholdet av tungmetaller, spesielt kadmium, kunne være betenkelig høyt i forhold til de nye mer restriktive kvalitetskravene til organisk gjødsel benyttet i landbruk. Det var derfor av interesse å gjennomføre analyser av slam med nyere, mer nøyaktige analysemetoder.

2 MATERIALE OG METODER

2.1 Renseanlegg (SSF)

Rense- og slambehandlingsanlegget er fremstilt i Figur 1. Anlegget er teknisk og driftsmessig beskrevet av Adoff (1997) og i mer popularisert form av Bergheim *et al.* (1997). Her vil bare de viktigste forholdene mht kapasitet og effektivitet bli omtalt.

Hovedfilter (Hydrotech trommelfiltre). Også omtalt som Sil I. De fire filterne har hver en oppgitt hydraulisk kapasitet på 15 - 20 m³/min ved den anvendte lysåpning på silduken, 90 µm. Mao har filterne en total kapasitet som er ca. 200 % av det nåværende høyeste vannforbruk (35 m³/min). Den høye kapasiteten er vesentlig utfra en sikkerhetsmessig vurdering. Filterduken tilbakespyles kun ved behov når trykkforskjellen over duken overstiger et visst nivå. Dette medfører at spylevannsmengden blir redusert og partikkelkonsentrasjonen tilsvarende forøket. Prinsippet med temporær, behovsstyrt spyling er derfor av den største betydning for både dimensjon og effektivitet til avvanningsutstyret.

Avvanningsfilter (Hydrotech trommelfilter). Også omtalt som Sil II. Spylevannet blir ført med selvfall til første avvanningstrinn, filtrering gjennom en 80 µm silduk. Renset spylevann ledes direkte til resipient. Pr. 1. oktober 97 ble Sil II koblet ut slik at spylevannet nå går direkte fra Sil I til Sedimenteringstank.

Pumpe. For å oppnå effektiv avvanning/fortykking av spylevannet er det avgjørende å unngå knusing av partiklene. Ved løfting av vann 3 - 4 m fra Sil II til Sedimenteringstank ble det funnet at bruk av en luftdrevet membranpumpe var mest skånsomt mot partiklene.

Sedimenteringstank. Tanken har en diameter på 205 cm (overflateareal 3,30 m²) og et volum på ca. 5,5 m³. Ved de målte spylevannsmengdene før 1. oktober 97 mellom 1 og 10 L/min var den hydrauliske belastning på tanken:

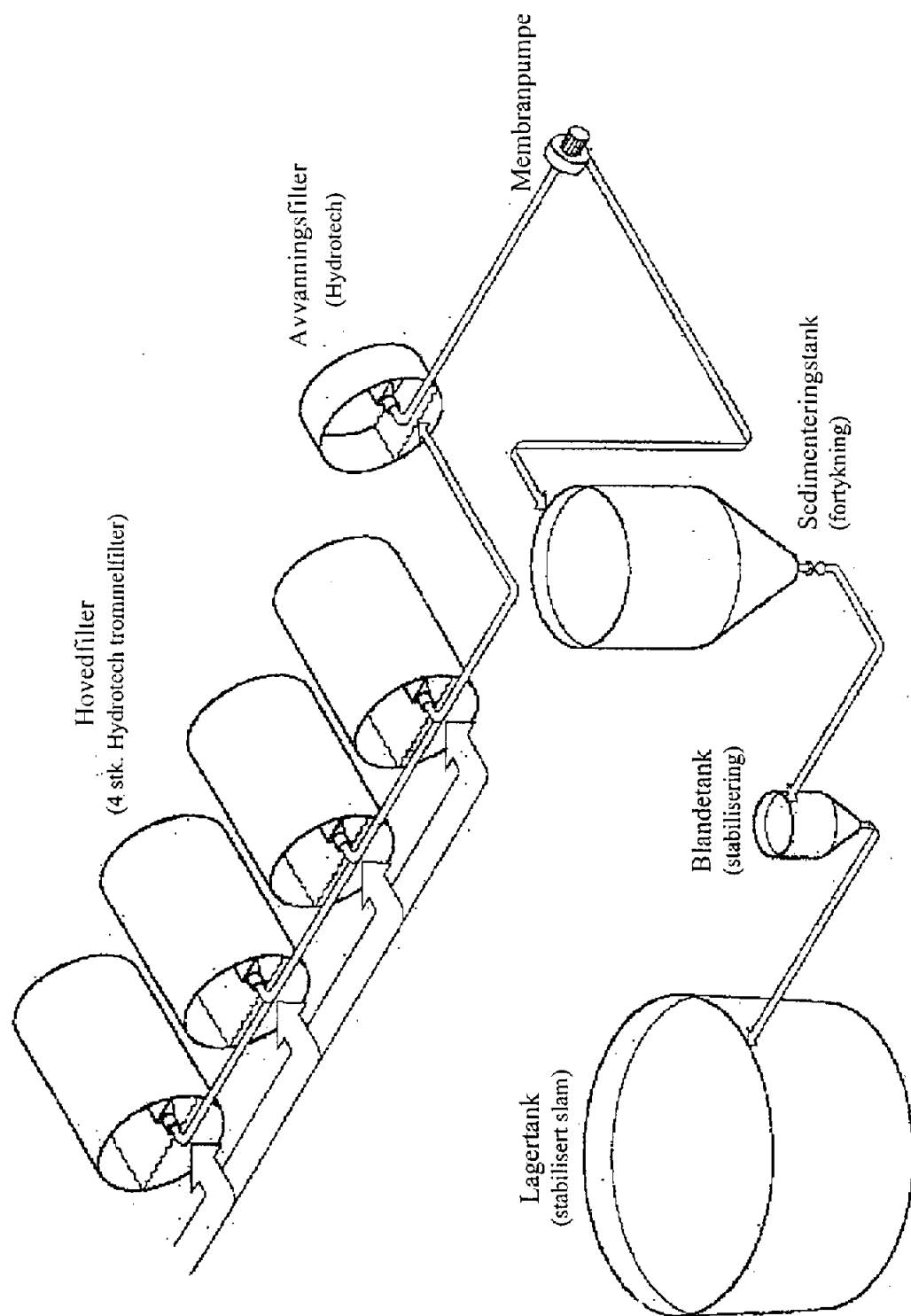
Overflatebelastning	0,02 - 0,2 m ³ /m ² /time
Oppholdstid	9 timer - 4 døgn

Ved den nåværende driftssituasjon, uten Sil II, er den hydrauliske belastning følgende (H. Mundal, pers. medd.):

Mengde spylevann	10 - 15 l/min (max 120 L/min)
Overflatebelastning	0,18 - 0,27 m ³ /m ² /time
Oppholdstid	6 - 9 timer

Den absolutt maksimale belastning på tanken er nå 120 l/min tilsvarende 2,2 m³/m²/time (alle trommelsilene med kontinuerlig tilbakespyling).

I følge tidligere målinger (Norsk Bioakva 1990 - 91, Bøvågen Fiskeoppdrett 1995 - 96) skulle tankens høye kapasitet i forhold til den hydrauliske belastningen tilsi en



Figur 1. Anlegg for avløpsrensning og slambehandling ved SSF. Fjon (Skisse: Sterner Aquatech).

tilbakeholdelse av 90 - 95 % av suspenderte partikler (S-TS). Det sedimenterte råslammet holder et tørrstoffinnhold omkring 10 % etter én - to døgns utfelling.

Blandetank (stabilisering). Tanken rommer 500 L og har god kapasitet for daglige slamuttak ved høyeste belastning gjennom året (april, august - september). Hver tankfylling tilsettes 8 - 12 kg ulesket kalk (CaO) som blandes inn i slammet i løpet av 5 - 10 min vha et røreverk. Generelt anbefales et pH-nivå ved 12 for å oppnå stabilisering og hygienisering.

Lagertank (stabilisert slam). Det stabiliserte slammet blir midlertidig lagret i en tank på 7 m³ med kapasitet på 14 - 30 dagers slamproduksjon. pH-nivået kontrolleres jevnlig i tanken (omkring pH 12).

Problemer med drift av anlegget gjennom frostperioder krever at anlegget må bygges inn. Bygningen er under oppføring.

2.2 Driftsforhold

Settefiskanlegget i Fjon er stort med en årlig produksjon omkring 1,5 mill. smolt, yngel og settefisk av laks og ørret. I 1996 var produksjonen 106 tonn med et fôrforbruk på 114 tonn som tilsvarende en midlere fôrfaktor på 1,08 kg fôr/kg tilvekst. Den gode fôrutnyttelsen er et uttrykk for lite fôrspill og relativt lave utslipp av organisk stoff og næringssalter. Vannforsyningen er rikelig gjennom størstedelen av året og ekstra oksygentilsetning til hovedvannstrømmen er bare aktuelt på ettersommeren i tørre, varme perioder. Fôrtilførselen er automatisk og det benyttes EWOS Vextra fôr.

Tabell 1. Driftssituasjon ved SSF Fjon under måling av avløpsbelastningen og effekten til rensanlegget.

	29 - 30.04.96 (før rensing)	29 - 30. 10.96 (rensing)	29.04.97 (rensing)
Vanntemp., °C	5,4 - 6,2	10	6
Biomasse, kg	46.936	33.110	38.330
Vannforbruk:			
m ³ /min	32,6	34,6	32,0
L/kg fisk/min	0,69	1,05	0,83
Fôrforbruk:			
kg/dag	440	450	310
kg/100 kg fisk/døgn	0,94	1,36	0,81

Tabell 1 beskriver driftsforhold ved anlegget som medfører høy avløpsbelastning:

i slutten av april, før leveranse av smolt, er fiskebestanden maksimal og fôrforbruket høyt til tross for relativt lav temperatur,

i oktober er fiskebestanden mindre men fôrforbruket er likevel høyt som følge av høyere temperatur

2.3 Prøvetaking

Prøvetaking I, 29 - 30. april 96

Denne prøvetakingen ble utført før renseanlegget var tilkoblet og anlegget hadde to adskilte hovedavløp før felles avløpsledning, kalt "Kanal" og "Rør". Prøvene av avløpsvann ble tatt automatisk med 2 stk. ISCO mod. 6700 prøvetakere hhv. plassert i Kanal og Rør. Prøvetakerne var innstilt på uttak av 4 timers integrerte prøver (2 L pr. delperiode, deluttak pr. 10 min à 50 ml). I løpet av natta oppsto batterisvikt bl.a. som følge av sterkt temperaturfall (til - 2 °C) og prøvetakerne koblet ut (kl. 01 for prøvetaker "Rør" og kl. 04:54 for prøvetaker "Kanal"). For å beregne *avløpsbelastningen* kunne derfor konsentrasjonene gjennom resten av døgnet (kl. 01/05 til kl. 11) bare anslås på grunnlag av de tidligere målte konsentrasjoner (se Kap.3.1).

Prøvetaking II, 29 - 30. oktober 96

Det ble lagt opp til en mer omfattende prøvetaking som inkluderte både prøver av avløpsvann fra settefiskanlegget (før - etter Hovedfiltrene) og prøver av ulike trinn i avvannings- og slambehandlingsutstyret.

Vannprøvene ble tatt automatisk med 2 stk. ISCO mod. 6700 prøvetakere hhv. plassert Før (urenset avløp) og Etter (renset avløp) Hovedfiltrene (Sil I). Prøvetakerne var innstilt på uttak av 4 timers integrerte prøver (4 L pr. delperiode, deluttak pr. 10 min à 160 ml). Som følge av ekstremt høy vannstand (springflo) og oppstuvning i utløpsrørene (kl. 11:40 - kl. 13:30 og 23:40 - kl. 01:30) ble prøvene Etter Hovedfiltrene en *blanding av renset og urenset avløpsvann gjennom omlag 4 timer pr. døgn*. Ved springflo ble dermed renseeffekten lavere enn under normale forhold.

Gjennom to prøveserier 29. oktober ble det tatt ut manuelle prøver av Spylevann og Slam etter følgende program (se Figur 2):

- A) Innløp Filter (Sil II) / Spylevann I
- B) Utløp Filter (Sil II) / Renset spylevann
- C) Spylevann II fra Filter (Sil II) / Innløp Sed.tank
- D) Renset spylevann / Utløp Sed.tank
- E) Slam fra Sed.tank

Den første prøveserien ble foretatt under springflo med kontinuerlig tilbakespyling av Hovedfiltrene (Sil I), mens den andre prøvetakingen ble utført ved vanlig vannstand og normal (temporær) tilbakespyling. Målinger viste at spylevannsmengden var ca. 10 ganger høyere ved kontinuerlig spyling enn ved normal (temporær) spyling av Hovedfiltrene: Q_C ved kontinuerlig spyling var 10 L/min, Q_C ved normal spyling var 1 L/min.

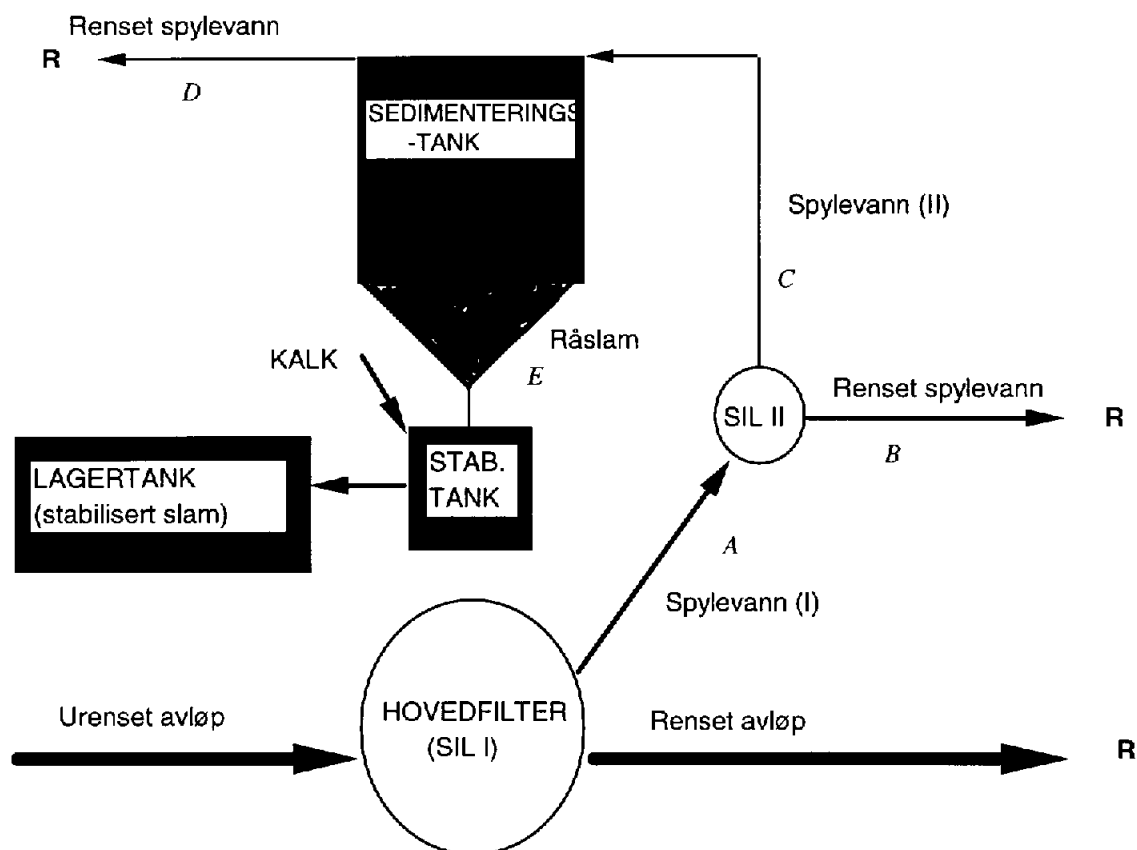
Prøvetaking III, 29. april 97

Det ble kun tatt ut prøver for å teste renseeffekten til Hovedfiltrene. Prøvene ble tatt automatisk med 2 stk. ISCO mod. 6700 prøvetakere hhv. plassert Før (urenset avløp) og Etter (renset avløp) Hovedfiltrene (Sil I). Prøvetakingen pågikk fra kl. 9:15 til kl. 21:15

(12 timer). Prøvetakerne var innstilt på uttak av 2 timers integrerte prøver (4 L pr. delperiode, deluttak pr. 10 min à 320 ml). Det ble mao tatt ut 6 prøver Før og Etter Hovedfiltrene (totalt 12 prøver).

Prøvetakinger av slam og fôr

Det ble rutinemessig tatt ut en rekke prøver av råslam (E, Fig. 2) i perioden oktober 96 - jan 97. Prøveuttakene har vært knyttet til de rutinemessige slamtappingene fra sedimenteringstankene, primært for å kvantifisere den løpende produksjonen av slamtørrestoff. I flere tilfeller ble enkeltprøver fra ulike tidspunkt blandet sammen før analyse for å karakterisere slamkvaliteten i løpet av perioder. Det ble også analysert prøver av det benyttede fôret.



Figur 2. Avmerkede steder for prøvetaking av spylevann og slam ved SSF Fjon 29. oktober 1996. Sil II ble koblet ut pr. 1. okt. 97. A - E: prøvetakingssteder, R: resipient.

Ekstra prøvetaking, 15. juli 96

Ved oppbygging av avvanningsutstyret ble det tatt et fåtall prøver for å vurdere effektiviteten til Sil II og Sedimenteringstank. På basis av prøvene ble forandringer

(ombygning) av utstyret foretatt. Dessuten ble avvanning av spylevann vha en spesiell filterduk målt. Resultatene fremgår av Vedlegg IV.

Analysemetoder

Vannanalyser:

Etter prøvetaking ble vannprøvene umiddelbart transportert til Miljølab., RF der filtrering av 2 - 3 L prøve for S-TS (suspendert tørrstoff) ble foretatt, mens det ble tatt ut delprøver (konservering) for analyse av TOC (total organisk karbon), TN (total nitrogen) og TP (total fosfor). Prøver av slamvann (A - D, Fig. 2) ble kun analysert for S-TS. Analysemetodene er utført i henhold til Norsk Standard.

Slamanalyser (fôr):

Alle slamprøver ble analysert for Total tørrstoff (T-TS) og tungmetallene Sink (Zn), Kobber (Cu), Bly (Pb) og Kadmium (Cd). Videre ble de fleste prøvene også analysert for Total gløderest (T-GR), Krom (Cr), Nikkel (Ni) og Kobolt (Co). En prøve ble dessuten også analysert for Kjeldahl nitrogen (KN), Total fosfor (TP), Kalium (K), Kalsium (Ca) og Magnesium (Mg). Tungmetallene ble analysert med ICP-MS og samtlige analyser ble utført etter Norsk Standard.

Kjeldahl nitrogen ble analysert ved Fylkeslab. i Østfold, mens de øvrige parametrene ble analysert ved Miljølab., RF.

3 RESULTATER MED KOMMENTARER

3.1 Avløpsbelastning

Undersøkelsen over avløpsbelastningen fra anlegget før rens tiltak er beskrevet i Vedlegg 1 og resultatene er summert i Tabell 2. De registrerte konsentrasjonsøkningene gjennom anlegget er typiske for settefiskanlegg med rikelig tilgang på ferskvann: + 5 mg S-TS/L, + 0,5 mg TN/L og + 0,1 mg TP/L. Ved begrenset tilgang på vann i varme tørkeperioder på ettersommeren - høsten vil konsentrasjonene av partikler og næringssalter kunne øke mer gjennom anlegget.

Ved omregning til belastninger framgår det at ca. 300 kg S-TS, 25 kg TN og 5 kg TP gikk ut fra anlegget pr. døgn ved høy fiskebestand (ca. 46 tonn) og et fôrforbruk på 440 kg. I forhold til den tilførte fôrmengden var belastningen overraskende høy (> 70 % av tilført N og P i fôr), noe som kan skyldes en midlertidig nedsatt appetitt hos fisken ved prøvetaking og/eller for høy beregnet belastning. Det kan innskytes at det ved samme fôrforbruk senere (29 - 30. oktober 96) ble målt klart lavere avløpskonsentrasjoner, spesielt for S-TS, enn ved den omtalte registreringen.

Den såkalte spesifikke belastning som g/kg fisk/døgn er også beregnet (Tab. 2).

Som følge av den relativt lave temperaturen, 5 - 6 °C, var fôrprosenten under 1 % (kg fôr/100 kg fisk/døgn). I august - september med temperaturnivå omkring 14 - 16 °C og stor fiskebestand før levering av høstmolt (0+), er gjerne den daglige fôrmengde opp mot 600 - 700 kg (H. Mundal, pers. medd.). Dermed representerer ikke nødvendigvis målingen fra slutten av april 1996 (Tabell 2) den høyeste avløpsbelastningen i løpet av året.

3.2 Renseeffekt (Sil I)

De målte effektene til Hovedfiltrene (Sil I) er presentert i Tabell 3 og Figur 3 (hhv. 29 - 30. okt. 96 og 29 - 30. april 97). Den oppnådde renseseffekten i oktober var lavere enn forventet, omkring 40 % for S-TS og TP, og ikke målbar for de øvrige parametrene. Denne målingen ble foretatt under uheldige forhold med ekstrem springflo som satte Hovedfiltrene ut av drift flere timer i løpet av døgnet (etter justering fungerer nå filtrene uavhengig av vannstand). Den høye vannstanden og mye løv medførte videre at tilbakespylingen av filtrene var i funksjon en større del av tiden enn normalt (se Kap. 3.3).

Ved den gjentatte målingen (april 97) var forholdene mer "normale" og de målte effektene var trolig nærmere den karakteristiske renseseffekten til utstyret (ca. 70 % for S-TS og ca. 50 % for TP). Imidlertid representerer målingen kun halve døgnet - normalt er konsentrasjonen av partikler i avløpet lavere om natta, noe som vanligvis medfører redusert renseseffekt. I en omfattende test med slike siler (Hydrotech trommelsiler med 60 µm lysåpning) målte Ulgenes (1994) følgende renseseffekter for avløp fra et smoltanlegg: 67 - 97 % for S-TS, 21 - 86 % for TP og 4 - 89 % for TN. Erfaringer tyder på at det er lite å oppnå i økt renseseffekt ved å redusere lysåpningen på

filtrene fra 100µm og nedover mot 30 - 60 µm (Kelly *et al.* 1997). Naturlig nok er størrelsesfordelingen av partiklene i avløpsvannet helt avgjørende for i hvilken grad mekanisk renseutstyr (siler, sedimenteringstanker for spylevann) vil kunne fungere effektivt (Cripps, 1995).

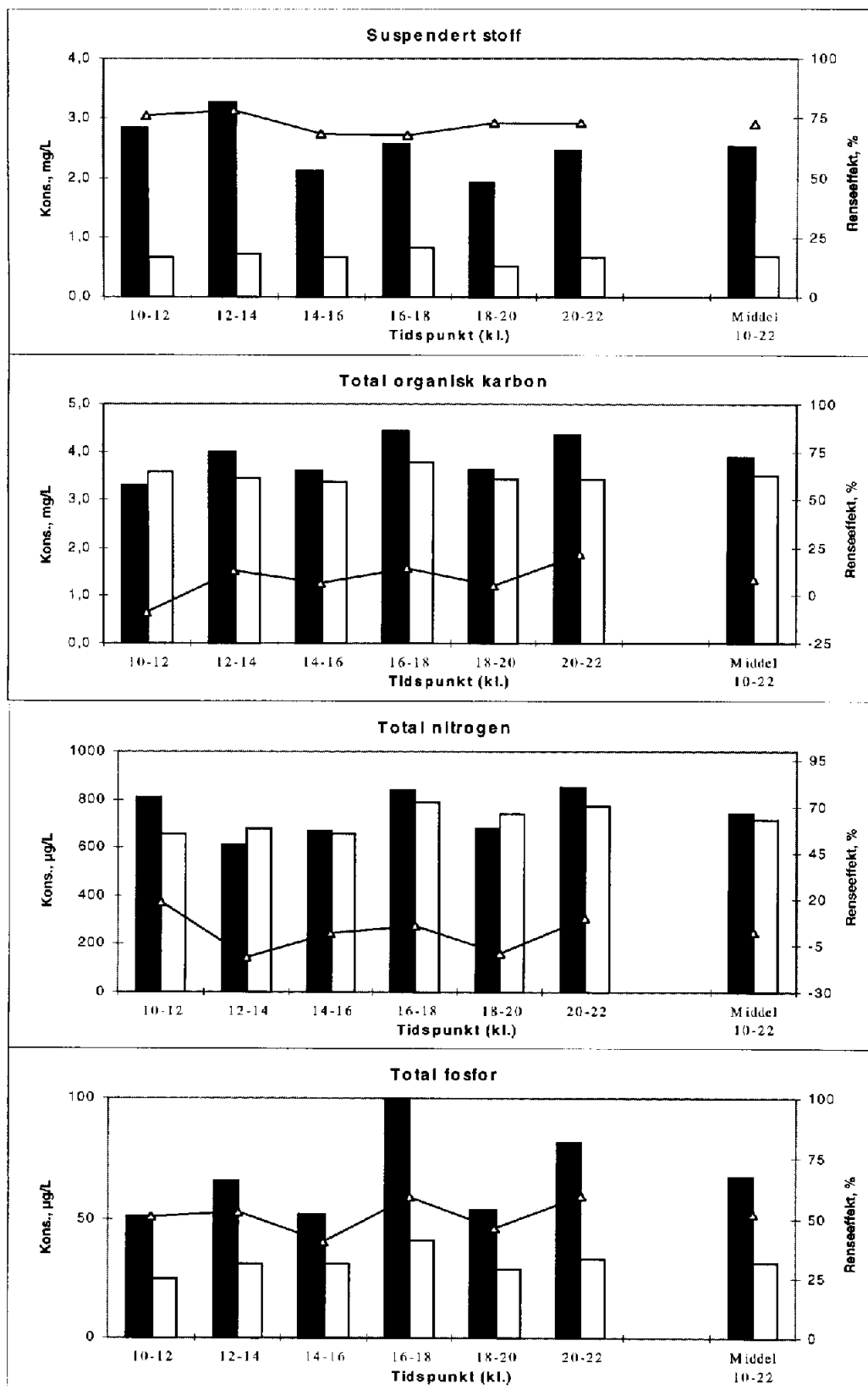
Tabell 2. Avløpsbelastning ved SSF Fjon 29 - 30. april 1996. Fiskebestand 46.936 kg.

Konsentrasjoner - Belastning	S-TS	TOC	TN	TP
Middelkonsentrasjon, mg/L:				
Innløp	< 1	2,8	0,44	0,011
Avløp	6,9	5,0	0,98	0,104
Belastning:				
Brutto avløp, kg/døgn	310,9	240,1	45,2	5,1
Innløp, kg/døgn	23,5	131,4	20,6	0,5
Anlegg, kg/døgn	287,4	108,7	24,5	4,6
Spesifikk, g/kg fisk/døgn	6,1	2,3	0,52	0,10

Tabell 3. Renseeffekt til Hovedfiltrene (Sil I) ved SSF Fjon 29 - 30. oktober 1996.

Parameter/ målested	Middelkonsentrasjon, mg/L	Renseeffekt, %
S-TS:		
Før Hovedfilter	1,78	
Etter Hovedfilter	1,13	36 (45)
TOC:		
Før Hovedfilter	3,72	
Etter Hovedfilter	3,65	2 (1)
TN:		
Før Hovedfilter	0,70	
Etter Hovedfilter	0,67	4 (4)
TP:		
Før Hovedfilter	0,057	
Etter Hovedfilter	0,033	42 (54)

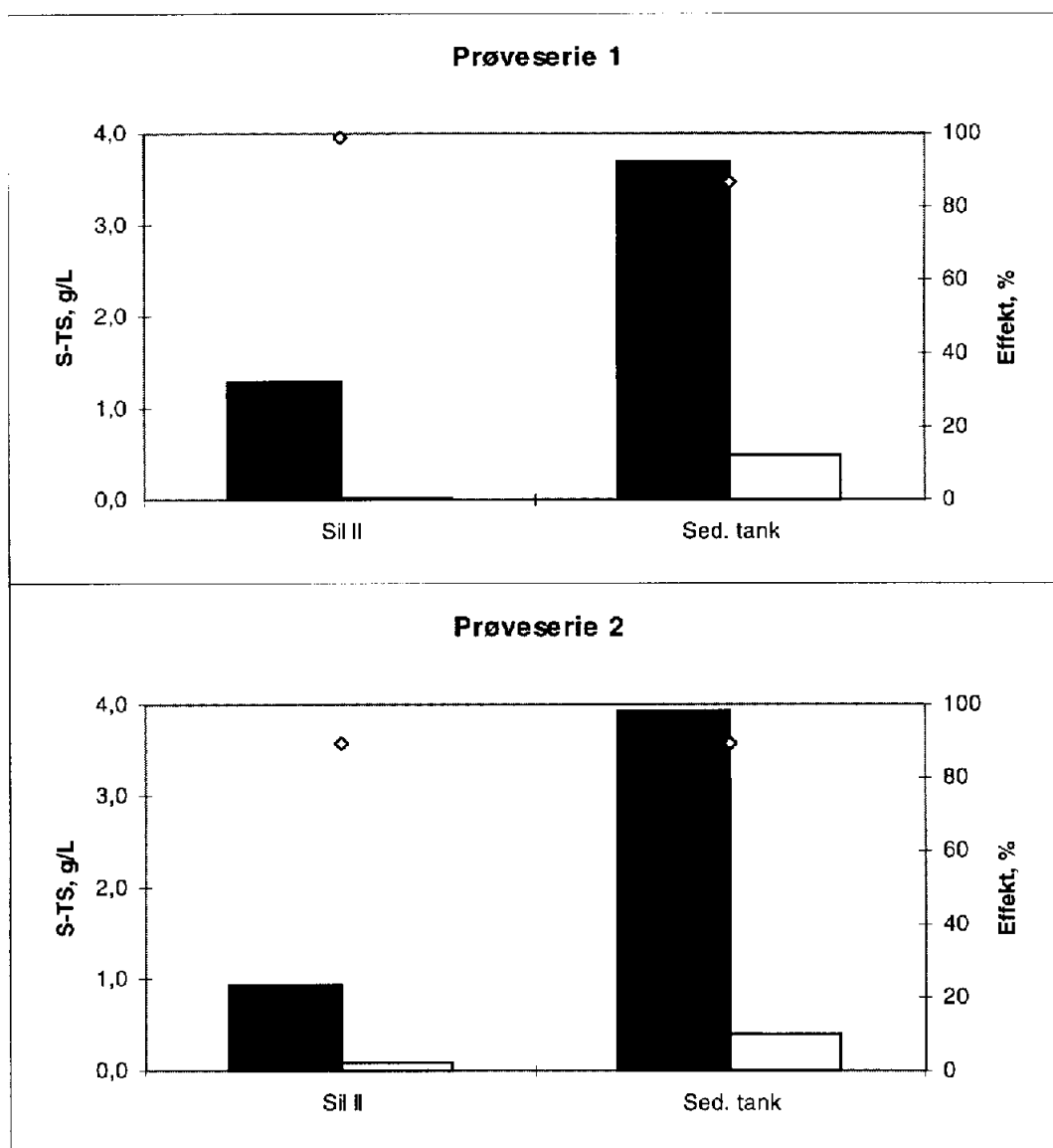
() : korrigert for driftstans pga. springflo (se tekst)



Figur 3. Renseeffekt til Hovedfiltrene (Sil I) ved SSF Fjon 29. april 1997. Konsentrasjoner: Før rensing - svarte stolper, etter rensing - åpne stolper. Renseeffekt - kurve.

3.3 Avvanning av slam (fortykning)

Resultatene av testene er framstilt i Figur 4. I Prøveserie 1 ble trommelsilene (Sil I) kontinuerlig tilbakespylt (springflo) og spylevannsmengden var ca. 10 ganger høyere enn under Prøveserie 2 (normal spylevannsmengde, temporær tilbakespyling). Likevel var effekten til Sil II høyere til tross for større hydraulisk påvirkning, hhv. 99 % og 90 % i Serie 1 og 2. Den nedsatte effekten under den andre prøvetakingen kan dessuten skyldes de uheldige driftsforholdene med tendenser til klogging pga. stort løvfall. Under normale forhold er den forventede effekten til en sil med 80 μm ved såvidt høy innløpskonsentrasjon (ca. 1000 mg S-TS/L) minimum 95 % (f.eks. Liltved, 1988).



Figur 4. Avvanningseffekt til Sil II og til Sedimenteringstank ved SSF Fjon 29. oktober 1996. Konsentrasjoner: Innløp enhet - svarte stolper, utløp enhet (til resipient) - åpne stolper. Effekt i % - symbol.

Den hydrauliske belastningen på sedimenteringstanken var som omtalt lav, 0,02 - 0,2 m³/m²/time. Tidligere tester med tilsvarende sedimentering, ved Norsk Bioakva (Bergheim *et al.* 1993) og ved Bøvågen Fiskeoppdrett (Bergheim *et al.* 1996), skulle tilsi en forventet effekt på over 95 %. Den totale effekten av avvanningen (Sil II og Sed. tank) var altså lavere enn forventet og 10 - 20 % av partiklene i spylevannet (S-TS) gikk tapt til resipienten gjennom de to behandlingstrinnene. Målsetningen ved vanlig drift bør være maksimalt 5 - 10 % tap av partikler fra Hovedfiltrene (Sil I) til ferdig slam.

Som påpekt ble prosessen forsøkt forbedret ved å koble ut silen for avvanning (1. oktober d.å.). Den nåværende midlere hydraulisk belastning på tanken (0,18 - 0,27 m³/m²/time) er fortsatt lav og skulle tilsi en høy forventet sedimenteringseffekt (ca. 95 %, *op. cit.*). Ved den absolutt maksimale belastningen på tanken, tilsvarende 2,2 m³/m²/time, er den forventede effekten ennå rimelig høy (ca. 80 %). I praksis tyder det på at tanken fungerer bedre etterat vannmengden har økt, bl.a. synes strømningsmønsteret i tanken og slamavsetningen å fungere mer tilfredsstillende (H. Mundal, pers. medd.).

Den totale prosessen fra ubehandlet avløpsvann ut fra fiskekarene til konsentrert råslam stiller store krav til utstyrets kapasitet og effektivitet. I urensset avløpsvann er partikkelinnholdet 2- 5 mg S-TS/L som via tre mekaniske behandlingsledd økes til ca. 100.000 mg/L (10 % tørrstoff) i sedimentert råslam, dvs. en oppkonsentrering på 20.000 - 50.000 ganger.

3.4 Kalkstabilisering av slam

Basert på erfaringene fra prosjektet ved Bøvågen Fiskeoppdrett (Bergheim *et al.* 1996) ble det rutinemessig tilsatt ca. 150 g ulesket kalk (CaO) pr. kg slamtørrstoff. Hyppige målinger viste at det ved denne doseringen ble oppnådd en pH på omkring 12,0, men at pH-nivået i slammene falt betydelig etter lagring. For å oppnå et mer lagringsstabil slam blir det nå tilsatt 200 - 250 g kalk pr. kg slamtørrstoff (12 kg kalk pr. 500 L slam). Dermed oppnås en luktfri lagring der patogene bakterier og virus vil være totalt inaktivert (tester utført av NIVA i Bøvågen prosjektet).

Som også påpekt i tidligere prosjekter er det viktig å tilsette kalk til ferskt slam før de luktproduserende forråtnelsesprosessene kommer i gang. Dette er særlig viktig i sommerhalvåret ved høy vanntemperatur da slamtapping/kalktilsetting bør skje daglig.

3.5 Slamproduksjon

Produksjonen av slam fra et oppdrettsanlegg vil i første rekke avhenge av fiskens fôrutnyttelse (Fôrfaktor) og effektiviteten til renseutstyret. I tidligere tester (*op.cit.*) er det målt mengder fra 20 - 100 g slamtørrstoff pr. kg fôr. Den gjennomsnittlige slamproduksjonen ved anlegget (SSF) for periodene oktober - desember 1996 var 0,75 L slam tilsvarende 115 g slamtørrstoff pr. kg fôr (Tabell 4). Dette tyder på høy midlere renseeffekt og eventuelt noe nedsatt fôrutnyttelse i desember. Frostproblemer i januar - februar medførte stans i avløpsrensningen - for ettertiden vil ikke kulde skape problemer da rense- og slambehandlingsanlegget blir overbygd høsten 97 (isolert

bygning). Den meget høye slamproduksjonen i mars var et resultat av nedsatt appetitt hos fisken (mye fôrspill) i forbindelse med vaksinerings (H. Mundal, pers. medd.). Relativt høy slamproduksjon i april - juni på omkring 1 L/kg fôr har sammenheng med lavere tørrstoffinnhold (<10 %, ikke målt) da sedimenteringstanken ble tømt hyppigere enn høsten før. For pumping og transport av slam i tankvogn er det gunstig med et relativt lavt tørrstoffinnhold, i området 6 - 10 %.

Viktigheten av hyppig slamtapping fra sedimenteringstanken er ofte påpekt. Det har vist seg at vinkelen på den koniske bunndelen av tanken er for liten (ca. 30 °, bør være min. 45 °). Dermed har det vært et problem med avsetning av slam langs tankveggen, særlig ved for lang tid mellom tømningene. Tømming med 1 - 2 dagers intervall er nå innført som fast rutine.

Tabell 4. Månedlig slamproduksjon i forhold til fôrforbruk ved SSF Fjon høsten 1996 og deler av 1997.

Måned	Fôrforbruk, tonn/mnd	Slamprod.,		Slam-TS,	
		m ³ /mnd	L/kg fôr	%	g/kg fôr
Oktober 96	14,200	8,5	0,60	14,2	85
November 96	10,400	3,5	0,34	18,6	63
Desember 96	4,175	5,5	1,3	14,9	196
Mars 97	1,155	2,3	2,0	-	
April 97	5,225	5,6	1,1	-	
Mai 97	9,835	10,2	1,0	-	
Juni 97					
(20 dager)	5,900	4,2	0,71	-	
Oktober 97*	18,250	12,5	0,68	-	

*: uten avvanningssil

3.6 Slamkvalitet

Analyseverdier av slam og fôr er presentert i Tabell 5. Det ble lagt hovedvekt på analyser av tørrstoffinnhold og innhold av tungmetaller. Prøvene ble tatt ut før kalktilsetning (råslam). Slammets innhold av plantenes hovednæringsstoffer (N, P, K, Ca, Mg) er tidligere analysert ved flere oppdrettsanlegg (Bergheim *et al.* 1996). Det

relativt høye tørrstoffinnholdet, mellom 14 og 19 %, er et uttrykk for at det vanligvis gikk flere dager mellom hver uttapping av slam fra sedimenteringstanken.

Med utgangspunkt i "Forskrift om handel med gjødsel og jordforbedringsmidler m.v" (1993/95) var slammets innhold av kadmium og sink over grensene for anvendelse uten restriksjoner som organisk gjødsel (Klasse I: 0,5 mg Cd/kg TS, 300 mg Zn/kg TS). Mengdene av de øvrige tungmetallene lå langt under de respektive grensene for fri anvendelse. Slammet blir brukt innblandet i husdyrgjødsel ved de to lokale gardsbrukene. Husdyrgjødsel har svært lavt innhold av de to aktuelle elementene (Cd, Zn).

3.7 Økonomi

En økonomisk kalkyle er presentert i Tabell 6. Investeringskostnadene er relativt høye pga. utgifter til isolert bygning, omfattende grunnarbeider (bl.a. omlegging av avløpsnett) og dobbel kapasitet på rense- og slambehandlingsutstyr. Anlegget ble bygd med dobbel kapasitet for å oppnå driftsmessig sikkerhet og for å kunne møte framtidige planer om utvidelse av smoltproduksjonen. De faste kostnadene pr. år er kalkulert til 337.000 kroner eller 86 % av de totale rensekostnadene. Driftskostnadene til arbeid, elektrisitet, kalk og vedlikehold utgjør altså kun 14 % av de totale kostnadene.

Ved en produksjon på 1 mill. smolt pr. år utgjør de ekstra kostnadene til rensing og slambehandling ca. kr. 0,40 pr. smolt på 100 g. Den ekstra kostnaden tilsvarer omlag 4 % av den totale produksjonskostnaden (ca. kr. 10,- pr. 100 g smolt). Etter utvidelsen av anlegget til 2 mill. smolt pr. år vil den ekstra kostnaden til rensing bli redusert til ca. kr. 0,25 pr. smolt (2 - 3 % av total produksjonskostnad).

Tabell 5. Analyseresultater av Fiskefôr og Råslam* ved SSF Fjon okt. 96 - jan. 97.

Tungmetaller analysert med ICP-MS.

* før kalktilsetning

Parameter	Enhet	Fôr		Slam				
		7.nov.	20.jan.	20.okt.	Blandpr. okt.	Blandpr. nov.	11.des.	20.jan.
pH		-		5,3	-	-	-	-
Totalt tørrstoff (T-TS)	% av Våttvekt	92,5	96,7	14,5	14,2	18,6	14,9	15,7
Total gløderest (T-GR)	% av T-TS				19,8	29,7	-	-
Kjeldahl Nitrogen (KN)	"	-		8,14	-	-	-	-
Total fosfor (TP)	"	-		4,26	-	-	-	-
Kalium (K)	"	-		0,044	-	-	-	-
Kalsium (Ca)	"	-		11,3	-	-	-	-
Magnesium (Mg)	"	-		0,16	-	-	-	-
Tungmetaller (mikronæringsstoffer):								
Kobber (Cu)	mg/kg T-TS	-	14	29	24	26	-	25
Sink (Zn)	"	231	270	562	572	608	-	572
Bly (Pb)	"	-	0,15	2,3	2,5	1,7	-	2,4
Kadmium (Cd)	"	-	0,24	0,75	0,6	0,79	-	0,82
Krom (Cr)	"	-	1,5	-	2,1	1,9	-	1,0
Nikkel (Ni)	"	-	4,5	-	18,6	12,2	-	10,1
Kobolt (Co)	"	-	3,1	-	3,2	2,4	-	2,5

- ikke analyse

Tabell 6. Investeringer og driftskostnader til avløpsrensing og slambehandling ved SSF Fjon. Oppgaver fra SSF.

	Beregningsgrunnlag	Årlig kostnad (NOK)
Investeringskostnader:		
Bygning, grunnarbeider	1,500 mill. NOK	
Utstyr for avløpsrensing og slambehandling	1,200 mill. NOK	
Totalt investering	2,700 mill. NOK	
Avskrivning (investering)	10 %	270.000
Kapitalkostnader	5 % pr. år	67.000
Faste kostnader		337.000
Driftskostnader:		
Arbeid	0, 5 t/dag	29.000
Kalk	4 tonn/år, 1,60 kr/kg	6.500
Vedlikehold, service		11.000
Elektrisitet	2 kW, 0,42 kr/kWh	7.500
Driftskostnader		54.000
Totale kostnader		391.000
Kostnad pr. produsert smolt	1 mill. smolt/år, smolt á 100 g	0,39
Kostnad pr. kg produsert smolt	100 tonn/år	3,90

4. REFERANSER

- Adoff, G. 1997. Prosjekt Renseanlegg Fjon. Stolt Sea Farm a.s. Fremdriftsrapport pr. 8. april 1997. SFT prosjektnr : 96251.
- Bergheim,A., Sanni, S., Indrevik, G. & P. Hølland. 1993. Sludge removal from salmonid tank effluent using rotating microsieves. *Aquacultural Engineering*, 12: 97 - 109.
- Bergheim,A., Liltved,H., Cripps,S., Indrevik, G. & L. Fløystad. 1996. Avvanning, stabilisering og utnyttelse av våtslam fra fiskeoppdrett. Rapport fra Rogalandforskning, RF-96/280. 49 s.
- Bergheim, A., Rønhovde, J., Mundal, H. & S.J. Cripps. 1997. Efficient sludge treatment for land-based fish farms. *Fish Farming International*, 24 (4): 30 - 32.
- Bergheim,A., Salte,B., Litlehamar, L. & N. Øvrebø. 1995. Slamfjerning ved landbaserte anlegg. Tester av pilotutstyr. Rapport fra Rogalandforskning, RF-95/260.
- Cripps, S.J. 1995. Serial particle size fractionation and characterisation of an aquacultural effluent. *Aquaculture*, 133: 323-339.
- Kelly, L.A., Bergheim, A. & J. Stellwagen. 1997. Particle size distribution of wastes from freshwater fish farms. *Aquaculture International*, 5. 65 - 78.
- Liltved, H. 1988. Utprøving av Unik hjulfilter for rensing av vann i settefiskanlegg. NIVA-Rapport, O-88027. ISBN-82-577-1399-6. 31 s.
- Liltved, H., Vethe, K. & K. Øren. 1991. Kalkstabilisering og kondisjonering av slam fra fiskeoppdrett. NIVA-Rapport, O-86085. ISBN 82-577-1874-2. 19 s.
- Ulgenes, Y., Eikebrokk, B. & R. Gebauer. 1994. Oppsamling, karakterisering og behandling av slam fra landbaserte oppdrettsanlegg. Rapport STF60 A94065. 106 s.