

RAPPORT LNR 3789-98

**R**esipientundersøkelse  
ved lokaliteten Fosså i  
Hjelmeland kommune

**Hovedkontor**

Postboks 173, Kjelsås  
0411 Oslo  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 22 18 52 00

**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  
5005 Bergen  
Telefon (47) 55 30 22 50  
Telefax (47) 55 30 22 51

**Akvaplan-NIVA A/S**

Søndre Tollbugate 3  
9000 Tromsø  
Telefon (47) 77 68 52 80  
Telefax (47) 77 68 05 09

Tittel <b>RESIPIENTUNDERSØKELSE VED LOKALITETEN FOSSÅ I HJELMELAND KOMMUNE</b>	Løpenr. (for bestilling) 3789-98	Dato 26.1.98
	Prosjektnr. Undernr. O-97052	Sider Pris 34
Forfatter(e) Torbjørn M. Johnsen Lars G. Golmen Einar Nygaard Eivind Oug	Fagområde Akvakultur	Distribusjon
	Geografisk område Rogaland	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Hydro Seafood Rogaland a.s	Oppdragsreferanse Nils Viga
--	--------------------------------

**Sammendrag**

Ved oppdrettslokaliteten Fosså i Hjelmeland kommune har det vært gjennomført miljøundersøkelser med analyser av vannsøylen og bunnforholdene. De kjemiske analysene av vannmassene og sedimentet tilfredsstilte kravene til plassering i tilstandsklasse I ("Meget god") i henhold til SFTs klassifiseringssystem. Bunnanalyser og en nærmere analyse av sedimentkjemien viste at sedimentet tilføres organisk materiale fra oppdrettsvirksomheten. Lokaliteten er imidlertid på ingen måte overbelastet. Modellberegninger viser at ved liten strømfart, høy sjøtemperatur og stor fisketetthet kan det oppstå kritisk lave oksygenkonsentrasjoner i merdene.

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Hjelmeland kommune</li> <li>Sjøresipient</li> <li>Miljøundersøkelse</li> <li>Akvakultur</li> </ol>	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Hjelmeland municipality</li> <li>Marine recipient</li> <li>Environmental investigation</li> <li>Aquaculture</li> </ol>
--	--

*Evy R. Lømsland*  
Evy R. Lømsland

Prosjektleder

ISBN 82-577-3364-4

*Bjørn Braaten*  
Bjørn Braaten  
Forskningsjef

**RESIPIENTUNDERSØKELSE VED**

**LOKALITETEN FOSSÅ**

**I**

**HJELMELAND KOMMUNE**

Prosjektleder: Evy R. Lømsland

Medarbeidere: Lars G. Golmen

Torbjørn M. Johnsen

Inger Midttun

Einar Nygaard

Eivind Oug

Brage Rygg

Lise Tveiten

## Forord

Denne undersøkelsen er gjennomført av Norsk institutt for vannforskning (NIVA) på oppdrag av Hydro Seafood Rogaland a.s med Nils Viga som kontaktperson.

Analysene av oksygen er utført ved NIVA-Vestlandsavdelingen, Bergen, mens de resterende kjemiske analyser er utført ved NIVAs laboratorium i Oslo.

Følgende personer har vært involvert i undersøkelsen: Feltarbeidet er utført av Einar Nygaard som sammen med Lars G. Golmen har utført kapasitetsberegningene. Identifisering, kvantifisering og rapportering av bunnfauna er utført av Brage Rygg og Eivind Oug. Torbjørn M. Johnsen har vært ansvarlig for den resterende del av rapporteringen, mens Evy R. Lømsland har vært prosjektleder.

Bergen, 26. januar 1998

*Evy R. Lømsland*

---

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>1. INNLEDNING</b>	<b>6</b>
<b>2. MATERIALE OG METODER</b>	<b>7</b>
2.1 Lokalitetsbeskrivelse og stasjoner	7
2.2 Metodikk	7
2.2.1 Hydrografi/Vannkjemi	7
2.2.2 Bunnprøver	9
<b>3. RESULTATER</b>	<b>10</b>
3.1 Hydrografi	10
3.2 Vannkjemi	12
3.3 Sedimentkjemi	14
3.4 Bunndyrsamfunn	15
<b>4. Kapasitetsberegninger</b>	<b>18</b>
4.1 Vurdering av egnethet for framtidig produksjon av 2.000 tonn fisk pr. år	18
4.1.1 Tilstand på bunnen	18
4.1.2 Tilstanden i sjøen	18
4.1.3 Vannutskiftning, stagnasjonsperioder	19
4.2 Forventet framtidig belastning og oksygenforbruk	20
4.3 Driftsfaktorer	21
4.3.1 Oksygen	21
4.3.2 Ammonium	22
<b>5. KONKLUSJONER</b>	<b>25</b>
<b>6. REFERANSER</b>	<b>27</b>
<b>Vedlegg A.</b>	<b>29</b>
<b>Vedlegg B.</b>	<b>32</b>

---

## Sammendrag

Undersøkelser av vannkvalitet, sediment og bunnfauna har i 1997 vært undersøkt ved oppdrettslokaliteten Fosså i Hjelmeland kommune.

Næringssaltanalyser fra de frie vannmassene rett ved anlegget og 200 meter utenfor lokaliteten viste seg for alle parametere å ligge innenfor tilstandsklasse I ("Meget god") i SFTs klassifiseringssystem. Ingen klare forskjeller i konsentrasjoner mellom de to stasjonene ble funnet.

Algebiomasse målt som klorofyll a i integrerte vannprøver fra 0 til 10 meter, lå for sommermånedene godt innenfor tilstandsklasse I ("Meget god"). Verdiene for totalt organisk karbon representerte normalverdier for vannmasser i fjordområder.

Kjemiske analyser av sedimentet viste at kravene til klassifisering innen tilstandsklasse I ("Meget god") var tilfredsstillende for begge stasjonene. Analysene viste imidlertid at sedimentet tilføres organisk materiale fra oppdrettslokaliteten med størst tilførsel for stasjonen midt på anlegget.

Bunndyranalysen fra stasjonen ved oppdrettsanlegget hadde en fattig fauna med høyt artsmangfold på grunn av mange arter med få individ. En del forurensningstolerante arter ble funnet, men lave verdier for glødetap og organisk karbon medfører at påvirkningen må betraktes som liten. Stasjonen ligger midt i eksisterende anlegg og det må derfor ansees som naturlig med en observasjon av en viss påvirkning. Belastningen fører imidlertid ikke til opphoping av organisk materiale i sedimentet.

Stasjonen 200 meter sørvest for anlegget viste en bunnfauna stimulert av organiske tilførsler, men glødetapet og det organiske innholdet i sedimentet var lavt. Innslag av forurensningsømfintlige arter viser at lokaliteten ikke er overbelastet. Funnene av en organisk stimulert bunnfauna antas å ha sammenheng med at det i 1996 var plassert oppdrettsmerder i området hvor prøvetakningen fant sted.

En totalanalyse viser at en viss påvirkning av oppdrettsaktiviteten som har pågått i 6 år, kan spores på lokaliteten, men resultatene tyder ikke på overbelastning.

En utvidelse av produksjonen til 2.000 tonn fisk vil medføre årlige utslipp av nitrogen og fosfor på henholdsvis 100-115 og 20-25 tonn for fórfaktorer i området 1,12-1,23. De daglige utslippene fra anlegget kan for perioden med høyest biomasse (antatt 1.500 tonn) komme opp i 700 og 150 tonn for henholdsvis nitrogen og fosfor.

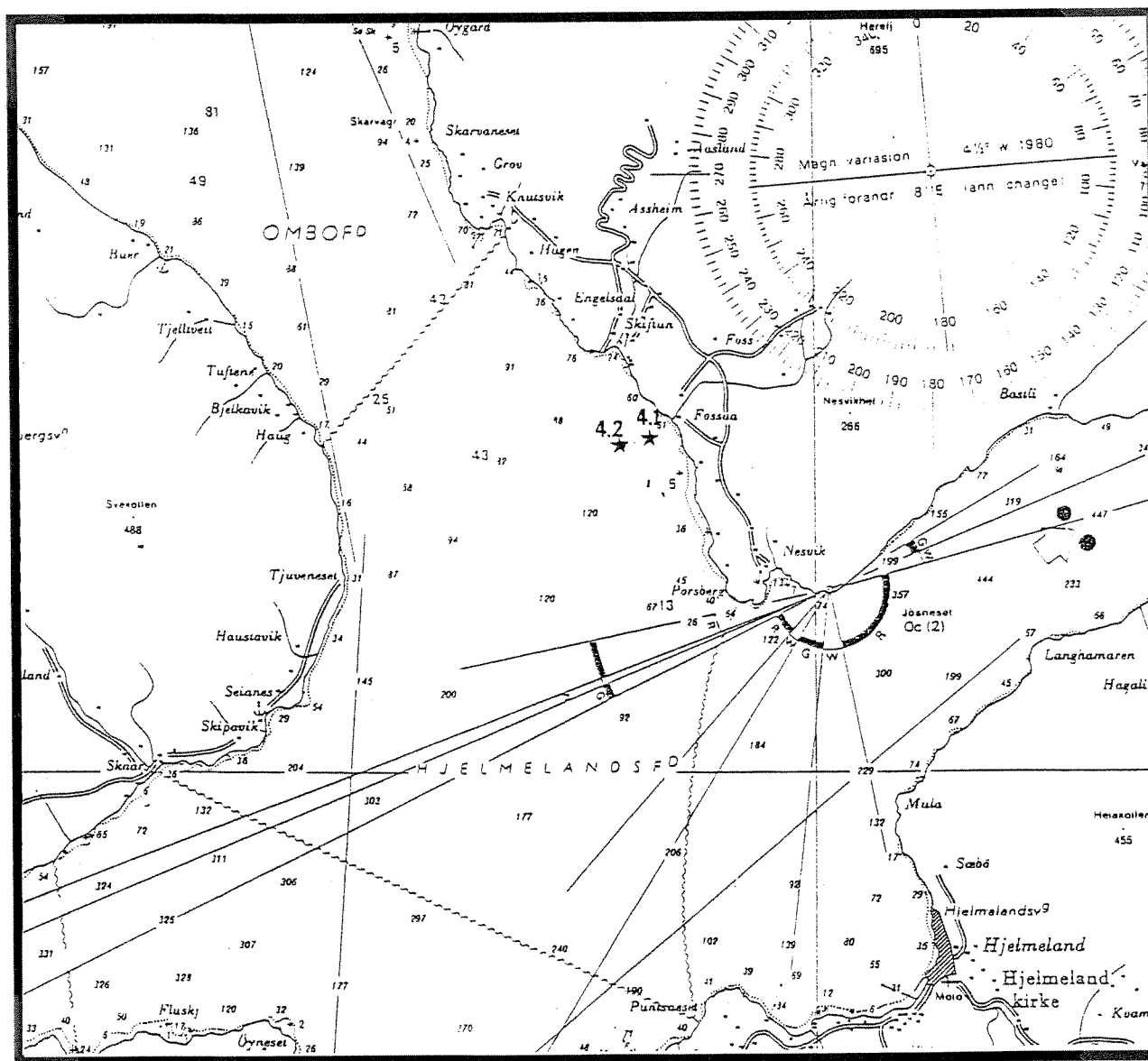
Beregninger viser at i perioder med liten strømfart, høy sjøtemperatur (dvs. lavt oksygeninnhold i sjøen) og stor fisketetthet kan det forekomme perioder med kritiske oksygenkonsentrasjoner i anlegget. Ammoniumkonsentrasjonen synes under slike forhold ikke å overstige faregrensen.

# 1. INNLEDNING

Hydro Seafood Rogaland a.s ønsker å etablere et stort oppdrettsanlegg (opptil 48.000 m<sup>3</sup>) på lokaliteten Fosså i Hjelmeland kommune (figur 1.1). I den forbindelse ble Norsk institutt for vannforskning (NIVA) engasjert av oppdrettsfirmaet for å gjennomføre resipientundersøkelse og egnethet for oppdrettsvirksomhet i henhold til krav fra miljøvernavdelingen hos Fylkesmannen i Rogaland. Lokaliteten har tidligere vært benyttet til oppdrett av laksefisk.

Hensikten med undersøkelsen er:

1. Dokumentere miljøtilstanden på lokaliteten.
2. Vurdere lokalitetens egnethet for produksjon av 2.000 tonn laksefisk i et oppdrettsvolum på 24.000 m<sup>3</sup>.



## 2. MATERIALE OG METODER

### 2.1 Lokalitetsbeskrivelse og stasjoner

Lokaliteten Fosså ligger i Hjelmeland kommune ca. 1,5 km nord for stedet hvor Jøsenfjorden og Hjelmelandsfjorden møtes. Vest for Fosså ligger øya Ombo med Ombofjorden imellom. På lokaliteten varierer dybden mellom 60 og 80 meter med minst dybde inn mot land. Sørvest for lokaliteten mot Hjelmelandsfjorden skråner bunnen ned mot et område med dyp på ca. 120 meter. Nordvestover fra lokaliteten ligger dybden på 80-90 meter.

Det har vært gjennomført innsamling av hydrografiske og vannkjemiske data på to stasjoner (figur 2.1) 4 ganger (11. april, 21. juli, 22. august og 11. oktober) i løpet av 1997. Bunnprøver for analyse av bunndyrsamfunn og sedimentkjemi er prøvetatt 1 gang (vår).

Stasjon 1 (St. 4.1) ble lagt midt på eksisterende anlegg ca. 200 meter fra land (pos. N59°16,32' E06°08,85'). Det har eksistert oppdrettsanlegg på denne stasjonen siden august 1991. Den andre stasjonen (St. 4.2) ble tatt ca. 200 meter lenger ut fra land (pos. N59°16,26' E06°08,70'). Ved nærmere undersøkelse viste det seg at det i 1996-sesongen hadde vært plassert anlegg også her, men alt ble utslaktet samme høst.

### 2.2 Metodikk

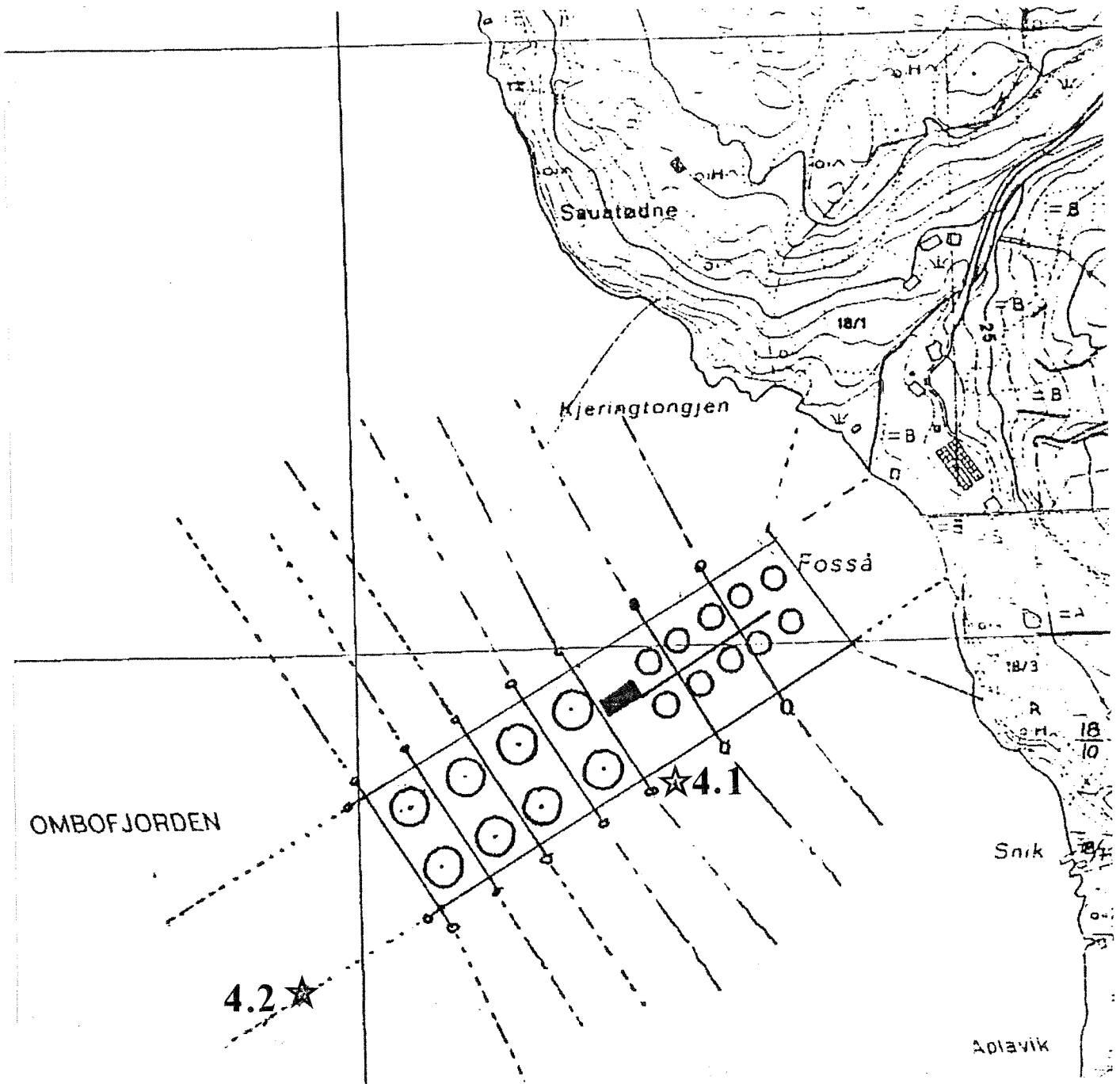
#### 2.2.1 Hydrografi/Vannkjemi

Hydrografiske målinger (temperatur, saltholdighet og oksygen) fra overflaten til bunnen ble gjennomført på samtlige tokt ved bruk av selvregistrerende sonde av merke Seabird. I tillegg er det vår og høst tatt prøver av dypvannet på begge stasjonene ved bruk av vannhenter for analyse av oksygen etter Winklers metode.

Vannprøver for analyse av næringssalter (totalt fosfor (Tot-P), fosfat (PO<sub>4</sub>), totalt nitrogen (Tot-N) og nitrat (NO<sub>3</sub>)) og organisk karbon (TOC) ble tatt på 4 dyp (1, 5, 10 og 15 meter) i april, juli, august og oktober. Siktedybde med fargeangivelse ble samtidig målt.

Integrert vannprøve fra 0-10 meter for analyse av klorofyll *a* ble samlet inn ved bruk av slange i juli og august. Prøvene ble filtrert på membranfilter og frosset ned for senere analyse i spektrofotometer.





Figur 2.1. Lokaliteten Fosså med nåværende og planlagte merder inntegnet.  
Innsamlingsstasjonene (4.1 og 4.2) er markerte med ☆.

### 2.2.2 Bunnprøver

Ved bruk av van Veen-grabb ble det tatt 2 grabbhugg på hver stasjon. For vurdering av sedimenttilstanden ble surhetsgrad (pH) målt på 1 cm dyp i sedimentet i det ene grabbhugget. Målinger av redokspotensial (Eh) ble forsøkt, men måtte gis opp på grunn av instrumentfeil.

Fra hvert grabbhugg ble det tatt ut sedimentprøver til en blandprøve for analyse av kornfordeling (andel finmateriale <63 µm), glødetap, totalt organisk karbon (TOC), nitrogen (Tot-N), fosfor (Tot-P), kobber (Cu) og sink (Zn).

Begge grabbhuggene ble siktet slik at dyr større enn 1 mm ble tatt vare på og konserverert i formalin for kvalitativ og kvantitativ analyse av bunndyrsamfunnene. Før sikting ble det gjort en visuell beskrivelse og karakterisering av sedimentet på grunnlag av farge, lukt, forekomst av fôrrester osv.

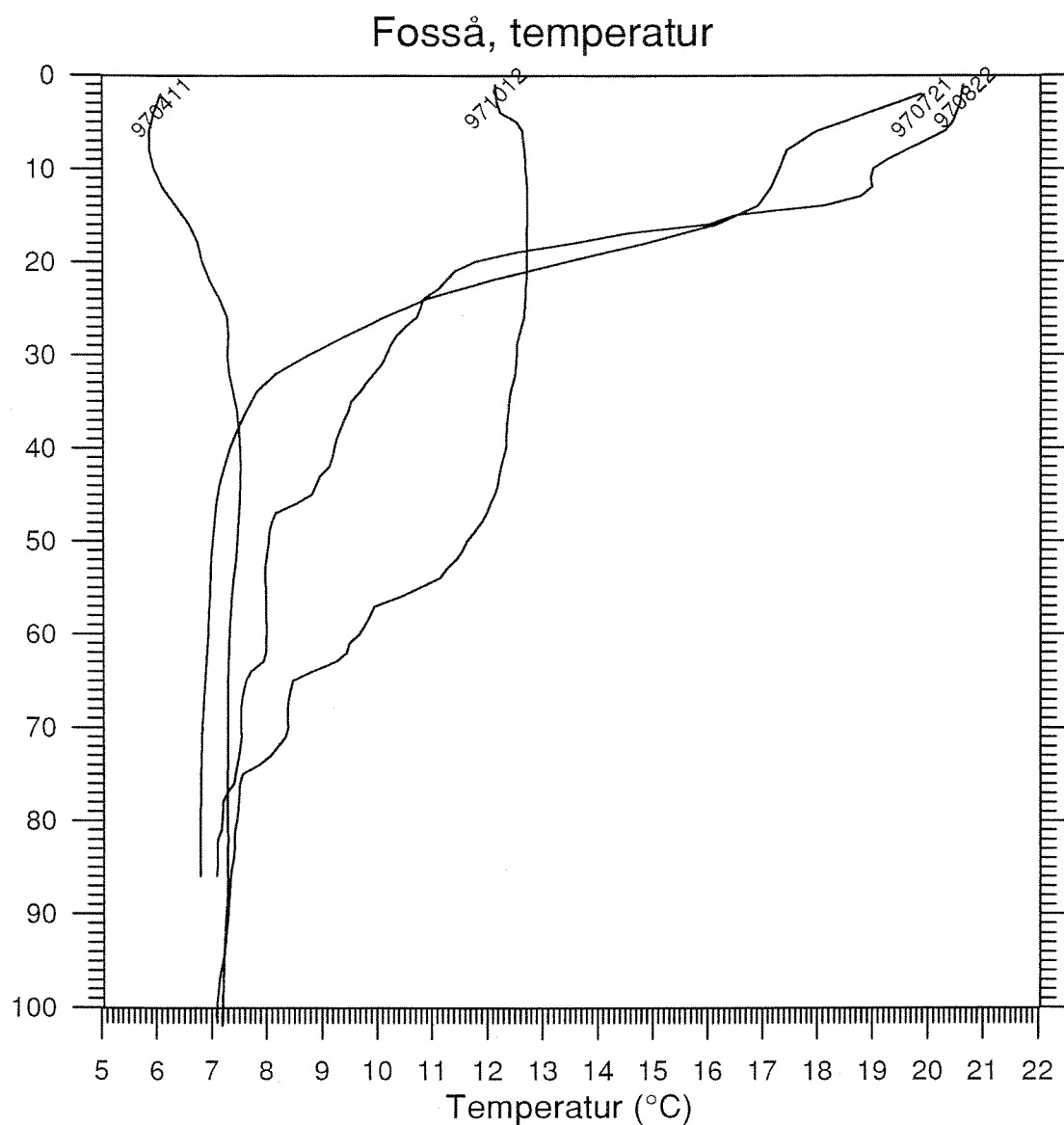
### Kapasitetsberegninger

Beregninger av lokalitetens kapasitet er gjennomført ved bruk av modellen Fiskmeny (Stigebrand 1986). I tillegg er det gjennomført diverse tilleggsberegninger for å finne ut om oksygenkonsentrasjonen i anlegget til tider kan komme under den anbefalte minimumsgrense på 5 mg O<sub>2</sub>/liter.

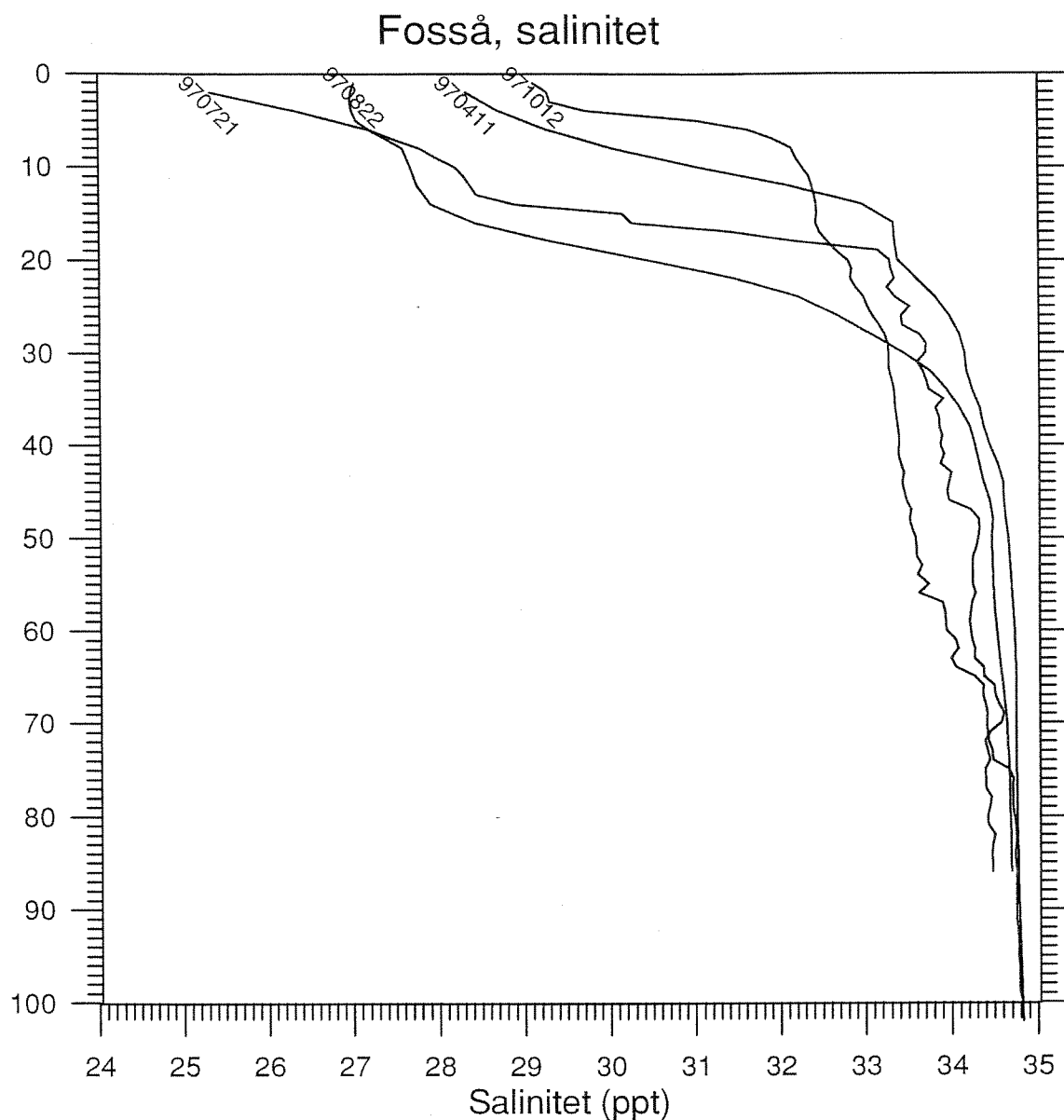
### 3. RESULTATER

#### 3.1 Hydrografi

Figur 3.1 og 3.2 viser temperatur og saltholdighetsprofiler på lokaliteten Fosså. Profilene viser at vannmassene i de øvre 30 meter er delt i 3 ulike lag. Det øvre vannlaget som er mest ferskvannspåvirket, varierer i tykkelse mellom ca.4 og 15 meter med maksimums og minimums tykkelse registrert under målingene i henholdsvis april og oktober.



Figur 3.1. Temperaturprofiler på lokaliteten Fosså 11. april, 21. juli, 22. august og 12. oktober 1997.



Figur 3.2. Salinitetsprofiler på lokaliteten Fosså 11. april, 21. juli, 22. august og 12. oktober 1997.

Under brakkvannslaget ligger et ca.2-5 meter tykt vannlag med relativt stabil saltholdighet. Nederst ligger tyngre og kaldere vann.

Sprangsjiktet lå i oktober mellom 4 og 6 meter, mens det ved de resterende måletidspunktene var svakere definert. I slutten av august ble overflatetemperaturen målt til ca.20,5°C og hele 19,0°C på 12 meters dyp

Målingene i oktober viste en relativt homogen vannmasse fra 8 til 45 meter. Dette tyder på at det like i forkant av målingen har vært en omrøring i dette vannsjiktet.

Resultatene fra oksygenprøver analysert etter Winklers metode er vist i tabell 3.1. Målingene fra oktober er på begge stasjonene noe lavere enn april-målingene, men ved begge målingstidspunktene ligger dypvannet klart i tilstandsklasse I ("Meget god") etter SFTs klassifisering av miljøtilstand (Molvær et al. 1997).

Siktedypet var 8 m på begge stasjonene både om våren og høsten.

Tabell 3.1. Resultater av oksygenanalyser etter Winklers metode på stasjon 4.1 og 4.2.

Dato	St. 4.1			St. 4.2		
	Dyp (m)	mg O <sub>2</sub> /l	Siktedyp (m)	Dyp (m)	mg O <sub>2</sub> /l	Siktedyp (m)
11.04.97	72	9,57	8	100	9,50	8
12.10.97	80	7,98	8	106	8,07	8

### 3.2 Vannkjemi

Resultatene av de vannkjemiske analysene er vist i tabell 3.2. Verdiene for totalt fosfor (Tot-P), fosfat (PO<sub>4</sub>), totalt nitrogen (Tot-N) og nitrat (NO<sub>3</sub>) i de øvre 10 meterene av vannsøylen faller alle både for sommer- og vinterprøver inn under tilstandsklasse I ("Meget god") etter SFTs klassifiseringssystem for overflatelag (Molvær et al. 1997). Det er ingenting som tyder på store forskjeller i næringssaltkonsentrasjonene på stasjonen midt i anlegget og på kontrollstasjonen.

Generelt er forholdet mellom nitrogen og fosfor på vektbasis lik 7,2 for marint planteplankton. Planktoniske alger benytter hovedsaklig nitrat og fosfat som nitrogen- og fosforkilder. Hvis forholdet mellom nitrat og fosfat i vannmassene er lavere enn 7,2 (Redfieldforholdet), betyr det at nitrogentilgangen er vekstbegrensende sett fra planteplanktonets behov. Vår- og høstmålingene viser at det til disse årstidene stort sett er fosformangel som begrenser algenes vekst i de øvre 10 meterene, mens det om sommeren er nitrogen som er vekstbegrensende faktor.

Totalt nitrogen og fosfor inneholder summen av alle målbare nitrogen- og fosforforbindelser i vannsøylen, både organiske og uorganiske. Det vil si at de målte konsentrasjonene inkluderer både nyttbare og unyttbare forbindelser for algene, og dermed reflekterer ikke forholdet mellom Tot-N og Tot-P på samme måte som nitrat og fosfat algenes tilgjengelighet for næring. I marint miljø har det vist seg at forholdet mellom totalt nitrogen og fosfor ligger høyere enn Redfieldforholdet (Olsen & Jensen 1989). Dette viste seg klart å være tilfelle på begge stasjonene i denne undersøkelsen.

Klorofyll a-verdiene fra sommersituasjonen (juli og august) er lave og gir er godt innenfor grensen for tilstandsklasse I ("Meget god").

Gjennomsnittsverdiene for totalt organisk karbon i vannmassene vår og høst representerer normalverdier (0,4-2 mg/l), mens sommerverdiene er noe høyere.

Tabell 3.2. Resultater av næringssaltanalyser og totalt organisk karbon i vannmassene.

Stasjon	Dato	Dyp (m)	Tot-P (µg/l)	PO <sub>4</sub> (µg/l)	Tot-N (µg/l)	NO <sub>3</sub> (µg/l)	NO <sub>3</sub> /PO <sub>4</sub>	TOC (mg/l)	Tot. N/P	Klf.a. (µg/l)
St. 4.1 (ved anlegget)	11.04.97	1	5	2	125	27	13,5	1,2	25,0	
		5	7	3	128	23	7,7	6,8*	18,3	
		10	8	4	140	36	9,0	1,6	17,5	
		15	13	9	165	68	7,6	2,7	12,7	
St. 4.2 (sørvest for anlegget)		1	14	3	126	26	8,7	1,8	9,0	
		5	6	2	132	26	13,0	1,5	22,0	
		10	10	4	132	31	7,8	2,2	13,2	
		15	17	13	175	77	5,9	1,9	10,3	
St. 4.1 (ved anlegget)	21.07.97	1	6	<1	145	4	-	2,2	24,2	0,43
		5	8	<1	165	3	-	3,6	20,6	
		10	6	<1	160	3	-	3,4	26,7	
		15	11	<1	144	3	-	2,3	13,1	
St. 4.2 (sørvest for anlegget)		1	6	<1	150	3	-	2,6	25,0	0,37
		5	7	<1	205	3	-	2,3	29,3	
		10	7	<1	150	3	-	2,4	21,4	
		15	7	<1	143	2	-	2,3	20,4	
St. 4.1 (ved anlegget)	22.08.97	1	7	2	144	4	2,0	2,9	20,6	0,73
		5	7	3	150	4	2,0	2,8	21,4	
		10	8	2	165	4	2,0	2,9	20,6	
		15	8	2	138	4	2,0	2,3	17,3	
St. 4.2 (sørvest for anlegget)		1	7	3	144	4	1,3	2,7	20,6	0,60
		5	7	2	215	4	2,0	2,5	30,7	
		10	7	2	137	<1	-	3,1	19,6	
		15	7	3	131	4	1,3	2,2	18,7	
St. 4.1 (ved anlegget)	12.10.97	1	-	3	-	25	8,3	1,8	-	1,73
		5	10	3	200	25	8,3	1,9	20,0	
		10	10	6	175	25	4,2	1,8	17,5	
		15	10	5	205	25	5,0	1,9	20,5	
St. 4.2 (sørvest for anlegget)		1	7	3	155	23	7,7	1,8	22,1	2,12
		5	8	3	280	25	7,7	2,4	35,0	
		10	8	5	190	25	5,0	1,6	23,8	
		15	8	4	230	25	6,3	1,6	28,8	

\* Denne verdien antas å skyldes enten en analysefeil eller forurensning av prøven.

### 3.3 Sedimentkjemi

Tabell 3.3 viser innhold av organisk materiale og prosentvis andel av finfraksjon i sedimentets øvre 2 centimeter og pH i sedimentets porevann på 1 cm sedimentdyp. Innholdet av organisk materiale var lavt på begge stasjonene. Etter klassifiseringssystemet utarbeidet av Bjerknes et al. (1988) (Tabell 3.4) vil begge stasjonene gi klassifisering "Svært lav" organisk belastning.

Etter SFTs klassifiseringssystem (Molvær et al. 1997) ligger også begge stasjonene (Tabell 3.5) godt innenfor tilstandsklasse I ("Meget god") når det gjelder normalisert totalt organisk karbon. Totalt organisk nitrogen og fosfor inngår ikke i SFTs klassifiseringssystem. Analyseresultatene viser imidlertid 1,50 og 0,92 mg P/g sediment på henholdsvis stasjon 4.1 og 4.2 og <1,0 mg N/g sediment på begge stasjonene.

I fiskefôr er fosforinnholdet normalt 1,0-1,4%, mens fisk inneholder ca. 0,4% fosfor (Ervik & Aure 1990). Det vil si at fisk ikke er istand til å nyttiggjøre seg alt fosforet i fôret. Hele 85% av overskuddsfosforet blir tilført miljøet i form av spillfôr og fekalier som faller til bunns og påvirker bunnsedimentet. Nitrogenutslippene skjer derimot hovedsaklig i oppløst form. Forholdet mellom fosfor og nitrogen i sedimentet vil dermed kunne gi gode indikasjoner på om et sediment påvirkes av oppdrettsvirksomhet.

Tabell 3.3. Organisk materiale, %-vis andel partikler <63 µm og pH i sedimentet.

Stasjon	Dyp (m)	Total gløderest (g/kg)	% organisk materiale	<63 µm (%)	pH
St. 4.1	80	984	1,6	40,7	7,7
St. 4.2	106	979	2,1	24,1	7,6

Tabell 3.4. Klassifiseringsskala for organisk belastning av bunnsediment (Bjerknes et al. 1988).

Total organisk karbon (mg/g)	Klassifisering	Glødetap
>100	Svært høy	>25
60-100	Høy	15-25
30-60	Middels	7,5-15
15-30	Lav	4-7,5
<15	Svært lav	<4

Tabell 3.5. Resultater av sedimentanalyser.

Stasjon	Dyp (m)	TN (mg/g)	Tot-P (mg/g)	TOC (mg/g)	Norm TOC (mg/g)	C/N	N/P	P/C	Cu (µg/g)	Zn (µg/g)
St. 4.1	80	<1,0	1,50	4,2	14,87	>4,2	<0,7	0,357	31,7	32,1
St. 4.2	106	<1,0	0,92	5,0	18,66	>5,0	<0,2	0,184	4,7	29,3

I sedimenter hvor det organiske materialet i hovedsak har marin opprinnelse (f.eks. dødt planktkon), er forholdstallet mellom karbon og nitrogen normalt 6-10, mens det i sedimenter som tilføres betydelige mengder materiale fra land, vil ligge over 10. I havet er det planteplanktonet som assimilerer næringsstoffene i vannet og omdanner disse til organisk materiale. Denne assimilerte næringen blir så overført til høyere trofiske nivå gjennom næringskjeden. For planteplankton i god vekst er det atomære forholdet mellom karbon (C), nitrogen (N) og fosfor (P) = 106:16:1 (Redfieldforholdet). På vektbasis gir dette et C/N-forhold på 5,7, et N/P-forhold på 7,2 og et P/C-forhold på 0,024. Dyrplankton og bakterier binder en prosentvis større andel av det tilgjengelige fosforet enn karbon og har derfor et høyere P/C-forhold enn planteplankton.

Lavt innhold av organisk nitrogen i sedimentet gjør det vanskelig å bedømme C/N-forholdet i prøvene. N/P-forholdet er imidlertid svært lavt og tyder på en opphopning av fosfor i sedimentet på begge stasjonene. Høyt fosforinnhold gir også høye forholdstall mellom fosfor og karbon på begge stasjonene (0,357 og 0,184) med høyest forholdstall på stasjon 4.1. Selv om det organiske innholdet i sedimentet på de to stasjonene er lavt, kan det imidlertid konkluderes med at de organiske tilførselene til sedimentene i hovedsak stammer fra oppdrettsanlegget.

Kobber (Cu) inngår ofte som begroingshindrende middel i notimpregnering og finnes derfor ofte i forhøyede konsentrasjoner under oppdrettsanlegg. Sinkinnholdet (Zn) i fiskefôr er relativt høyt og fôrspill gir derfor forhøyede Zn-konsentrasjoner nær oppdrettsanlegg. På begge stasjonene lå imidlertid både kobber- og sinkverdiene (jfr. Tabell 3.5) innenfor tilstandsklasse I ("Meget god") etter SFTs klassifiseringssystem.

### 3.4 Bunndyrsamfunn

Fullstendige artslister fra bunnfaunaprøvene er gitt i Vedlegg 1.

#### Stasjon 4.1 (80 meter)

Stasjonen, som ligger midt på eksisterende oppdrettsanlegg, hadde en fattig fauna når nematoder (rundmark) unntas (Tabell 3.6). Artsrikdommen var relativt stor, men høyt artsmangfold skyldes mange arter med ett eller få individer (Tabell 3.7). Noe nedsatt verdi for artsindeksen viser et tydelig innslag av forurensningstolerante arter (f.eks. *Capitella capitata*).



Resultatene kan tyde på en forurensningspåvirkning, men er ikke entydige. Mengden totalt organisk karbon (TOC) og glødetap var lavt, og dermed kan andre påvirkningsfaktorer enn organisk belastning tenkes. Prøvetakningen på stasjonen viste at bunnen er en typisk blandingsbunn med skjellsand, stein og leire. Strømmålinger har vist at stasjonen har moderate strømforhold med hovedstrømmen i nordvestlig/sørøstlig retning og med en nettotransport mot sørøst (Nygaard 1997a). Lokalteter med blandingsbunn, gode strømforhold og litt organisk partikkelpåvirkning viser ofte en bunndyrsamfunns sammensetning slik som denne stasjonen framviser.

#### Stasjon 4.2 (106 meter)

Denne stasjonen hadde en meget arts- og individrik bunnfauna (Tabell 3.7), og samfunnet hadde et høyt artsmangfold (Tabell 3.6). Lokalteten, hvor bunnen besto av leire med en del synlige skjell, synes å være stimulert av organiske tilførsler, men artsindeksen indikerer et markert innslag av forurensningsømfintlige arter. TOC og glødetap var lavt. Lokalteten synes å tåle noe organisk belastning.

Tabell 3.6. Antall arter, individtall, individtettheter og artsmangfold i prøvene av bunnfauna fra Fosså 10. april 1997. Artsmangfoldet er gitt ved Shannon-Wiener indeksen ( $H'$ ), og indeksen  $ES_{(100)}$  som gir forventet antall arter ved en prøve på 100 individer. Indeksen AI (artsindeks) gir et mål for forekomst av forurensningsømfintlige arter i prøven, verdier  $>6$  indikerer normale forhold. Tilstandsklasse i henhold til SFTs system for klassifisering av miljøkvalitet er også vist (Molvær et al. 1997).

Stasjon	Areal	Artstall	Ind.	Ind/m <sup>2</sup>	H'	E(S <sub>100</sub> )	AI	Klasse
4.1 <sup>1)</sup>	grabb 1	0,1	16	20				
	grabb 2	0,1	24	64				
	sum	0,2	32	84	420	4,2	-	5,2
4.2 <sup>1)</sup>	grabb 1	0,1	78	566				
	grabb 2	0,1	73	547				
	sum	0,2	101	1113	5565	5,3	39,3	7,6

1) Gruppen Nematoda (rundmark) er ikke tatt med i beregningene fordi disse ikke samles kvantitativt ved prøvetakingen.

Tabell 2. De viktigste artene i prøvene av bunnfauna fra Fosså 10. april 1997. De ti mest individrike artene på hver stasjon er vist.

Stasjon 4.1

Art	Gruppe	Ind /0,2 m <sup>2</sup>
<i>Nematoda indet</i>	NEMATODA	295
<i>Abra nitida</i>	BIVALVIA	17
<i>Chaetozone setosa</i>	POLYCHAETA	14
<i>Capitella capitata</i>	POLYCHAETA	6
<i>Thyasira sarsi</i>	BIVALVIA	6
<i>Nemertinea indet</i>	NEMERTINEA	4
<i>Macoma calcarea</i>	BIVALVIA	4
<i>Nephtys hombergii</i>	POLYCHAETA	3
<i>Aphrodita aculeata</i>	POLYCHAETA	2
<i>Sthenelais limicola</i>	POLYCHAETA	2

Stasjon 4.2

Art	Gruppe	Ind /0,2 m <sup>2</sup>
<i>Polydora cf. caeca</i>	POLYCHAETA	113
<i>Eclysippe vanelli</i>	POLYCHAETA	86
<i>Paramphinome jeffreysii</i>	POLYCHAETA	82
<i>Pseudopolydora paucibranchiata</i>	POLYCHAETA	69
<i>Nemertinea indet</i>	NEMERTINEA	61
<i>Nematoda indet</i>	NEMATODA	54
<i>Thyasira equalis</i>	BIVALVIA	52
<i>Prionospio fallax</i>	POLYCHAETA	49
<i>Abyssoninoe hibernica</i>	POLYCHAETA	42
<i>Notomastus latericeus</i>	POLYCHAETA	32

## 4. Kapasitetsberegninger

### 4.1 Vurdering av egnethet for framtidig produksjon av 2.000 tonn fisk pr. år

#### 4.1.1 Tilstand på bunnen

Resultatene av de kjemiske analysene av sedimentet rett under oppdrettsanlegget (stasjon 4.1) viste påvirkning fra anlegget. Med en årlig produksjon på inntil 1.200 tonn de siste årene, med et bunndyp på ca. 80 meter og moderat strøm er et slikt resultat ikke overraskende. I følge NIVAs strømmålinger (Nygaard 1997a) er hovedstrømretningen mot sør-sørøst. Det innebærer at en kan forvente å finne lignende mengder fôrrester og fekalier i et visst areal på bunnen nedstrøms anlegget i sør-østlig retning.

#### 4.1.2 Tilstanden i sjøen

##### Næringssalter

Næringssaltkonsentrasjonene fra vannprøvene (Tabell 3.2) tatt rett ved og ca. 200 meter i nordøstlig retning utenfor anlegget viste gode forhold sett i relasjon til SFTs vannkvalitets-kriterier. Vanligvis har en naturlig et minimum av næringssalter i sjøens overflatelag om sommeren - gjerne med de laveste verdiene i juli-september (Aure & Johannessen 1997). For totalt nitrogen og totalt fosfor kan variasjonene mellom sommer og vinter dreie seg om henholdsvis 50 og 100%. I denne undersøkelsen foreligger det imidlertid ikke vintermålinger, og kun målingene fra juli og august faller inn under sommermålinger i henhold til SFTs klassifiseringsnorm. Variasjonene i totalt nitrogen og fosfor fra sommer til vinter i vannmassene ved Fosså kan dermed ikke vurderes. Sommervardiene ligger imidlertid på samme konsentrasjonsnivå som målinger i 1995 viste i vannmassene nord for Stavanger (Bokn et al. 1996).

Den målte økningen av næringssalter i oktober kan i utgangspunktet skyldes både økte tilførsler fra oppdrettsanlegget og naturlige prosesser. Målingene viste at den totale fosformengden var høyere midt i oppdrettsanlegget enn 200 meter utfor anlegget. Konsentrasjonene av totalt nitrogen, nitrat (+nitritt) og fosfat viste imidlertid ikke forskjeller mellom de to stasjonene. Temperaturmålingene viste 12-13 grader helt ned til 50-60 meters dyp (fig. 3.1) på det tidspunkt næringssaltmålingene ble foretatt. Dette tyder på at en omrøring av vannmassene var igang. Økningen av næringssalter i vannmassene på dette tidspunktet kan derfor også være et resultat av naturlige prosesser. En økning av algebiomassen i hele området tyder på at vannmassene er blitt tilført næringssalter som har ført til en normal høstopp-blomstring av planteplankton.

### 4.1.3 Vannutskifting, stagnasjonsperioder

Anlegget ved Fosså ligger gunstig orientert i retning sørvest-nordøst (fig. 2.1) med hensyn til dominerende strømreretning som er nordvest-sørøst (Nygaard 1997a).

Strømmålingene gjennomført av NIVA i januar-februar 1997 viste en middelvei for strømfart på 3,4 og 4,8 cm/s på henholdsvis 3 og 15 meters dyp. At strømmålingene på 3 meter ga lavere gjennomsnittsverdi enn på 15 meters dyp kan ha sammenheng med at måleserien på 3 meter var vesentlig kortere enn på 15 meter. Det var også noe forskjellig følsomhets-karakteristikk på instrumentene som ble benyttet. Sensordata type SD-2000 som ble benyttet på 3 meters dyp, har en noe høyere startverdi for rotoren enn Aanderaa RCM7 som målte på 15 meter. Erfaringer har også vist at ved for lave strømverdier er det risiko for at SD-2000 registrerer for lave verdier og underestimerer strømmen med 10-20% (Nygaard & Golmen 1997). Det er derfor rimelig grunn til å anta at middelstrømmen på 3 meters dyp på lokaliteten er minst like sterk som på 15 meter.

Middelstrømverdiene var lavere enn det en typisk finner på en kystlokalitet eller på lokaliteter lenger nord der tidevannsutskiftingen er større. Verdiene avviker imidlertid ikke særlig fra det som ble målt av NIVA for Hydro Seafood Rogaland a.s på andre lokaliteter i Rogaland vinteren/våren 1997 (Nygaard 1997a, b).

Målingene viste ikke noe tydelig innslag av motsatt rettet strøm på de to måledypene slik en ofte finner i sterkt sjiktede fjorder. Før Ulla-Førre reguleringen var det relativt svakt sjikning i Jøsenfjorden (Svendsen 1977), og sjikningen har nok avtatt ytterligere etter reguleringen som har ført til vesentlig mindre ferskvannsavrenning til fjorden. Undersøkelser i 1980-årene gjennomført av Universitetet i Bergen (Lie et al. 1992) synes å bekrefte at sjikningen har avtatt på grunn av vassdragsreguleringen. Målinger foretatt i munningen av Jøsenfjorden rett nord for Hjelmeland (stasjon 82 i Lie et al. 1992) viste at det kun var i juni-august at tydelige vertikalgradienter ble registrert med saliniteter på 8 og 30 henholdsvis i overflaten og på 8 meters dyp. NIVAs hydrografimålinger fra 1997 (figur 3.2) stadfester dette bildet. Dette innebærer at også området ved Fosså har lite innslag av sterk sjikning av vannmassene og eventuelt tilhørende karakteristiske forskjeller i strømmen fra overflaten og nedover.

Varighet av perioder med svak strøm kan likevel være en begrensende faktor for produksjon/egnethet i forhold til det å opprettholde tilfredsstillende vannkvalitet for fisken i merdene (Nygaard & Golmen 1997). Det er derfor naturlig å vurdere egnetheten ut fra dette kriteriet. Målingene i januar-februar 1997 viste at lengste periode med strøm under 2 cm/s var 4,3 timer på 3 meters dyp og 19,3 timer på 15 meters dyp.

## 4.2 Forventet framtidig belastning og oksygenforbruk

Fiskeoppdrett er en av de største bidragsyterne når det gjelder norske tilførsler av antropogent fosfor og nitrogen til sjøvann i kystområdene på Vestlandet (Tjomsland & Braaten 1996). Spesielt gjelder dette fosfor hvor beregninger viser at ca. halvparten av den totale tilførsel av fosfor for kyststrekningen fra Rogaland til Stad, kommer fra akvakultur (Molvær 1997). Disse tilførslene kommer som mange små punktutslipp over et stort område. Lokalt kan slike utslipp ha en eutrofierende virkning, men totalt sett utgjør de antropogene utslippene av næringsalter et lite bidrag til innholdet av næringsalter i vannmassene (Aure & Stigebrandt 1990). I den nylig avsluttede nasjonale utredningen om eutrofisituasjonen på kyststrekningen Jomfruland-Stad (Molvær 1997) ble det likevel uttrykt et klart behov for ytterligere kunnskap om fosfor- og nitrogenutslippene fra akvakulturnæringen. Derfor er det viktig å kvantifisere disse tilførslene når en skal vurdere mulige effekter av framtidig belastning fra store fiskeoppdrettsanlegg.

Tilførslene av nitrogen og fosfor avhenger av fóring og fiskeproduksjon. Fórfaktoren ved moderne anleggsdrift nærmer seg 1,0. Statistikk for 1996 viser verdier på rundt 1,1-1,2 for matfiskanlegg i vestlandsfylkene (Fiskeridirektoratet 1997). For Rogaland og Skagerrakkysten var middelverdien 1,23, dvs. noe høyere enn for fylkene lenger nord. For å beregne den totale årlige maksimale tilførselen av nitrogen og fosfor, har vi benyttet samme metode som i Molvær (1997):

$$\text{Nitrogentilførsel (tonn)} = (\text{Fór} * 0,070) - (\text{Fiskeproduksjon} * 0,029)$$

$$\text{Fosfortilførsel (tonn)} = (\text{Fór} * 0,0134) - (\text{Fiskeproduksjon} * 0,0045)$$

For verdier for fórfaktor ("Fór" har vi tatt utgangspunkt i produsert fiskemengde multiplisert med fórfaktoren.

En framtidig årsproduksjon på 2.000 tonn laks vil tilsvare følgende nitrogen- og fosfortilførsler ved en fórfaktor på 1,23 (middel for regionen i 1997) og 1,12 (fórfaktor for Fosså 1996/97 (N. Viga pers. med.)):

Tilførsler pr. år	Fórfaktor 1,23	Fórfaktor 1,12
Totalt nitrogen (avrundet)	114 tonn	99 tonn
Totalt fosfor (avrundet)	24 tonn	21 tonn

I følge disse beregningene medfører en reduksjon i fórfaktor fra 1,23 til 1,12 til en reduksjon i nitrogen- og fosfortilførslene på ca. 13%. En ytterligere forbedring av fórfaktoren vil naturlig nok redusere tilførslene ved at en større andel av fóret bindes i fisken.

Tilførslene vil imidlertid variere over året med de største tilførslene i månedene april-juli da det er mest fisk i anlegget (N. Viga, pers. med.). De daglige tilførslene kan da være 3-4 ganger høyere enn ellers i året. I perioden med mest fisk i anlegget kan det antas at fiskemengden vil være 1.500 tonn. Føring og ekskresjon fra fisken vil i måneden med størst utføring og produksjon føre til gitte mengder tilførsler av fosfor og nitrogen hvor det kan antas at 50-60% av fosforet og inntil 80-90% av nitrogenet løses i sjøen, mens resten er partikulært bundet (fekalier, førspill) og synker til bunns. Ut fra disse anslagene kan de framtidige utslippene pr. døgn i en periode med høy produksjon beregnes til (fórfaktor 1,2):

Estimerte tilførsler pr. døgn ved maksimal føring	Totalt	Vannløst
Totalt nitrogen (avrundet)	700 kg/døgn	600 kg/døgn
Totalt fosfor (avrundet)	150 kg/døgn	75 kg/døgn

### 4.3 Driftsfaktorer

#### 4.3.1 Oksygen

Oksygen vil kunne være en problemfaktor i perioder med maksimal produksjon, svak strøm og høy sjøtemperatur som gir liten oksygenkonsentrasjon i sjøen. Gjennomsnittlig strømfart ved målt stagnasjon (pga. friksjon i rotor på strømmåler) er beregnet til 0,6 cm/s. Lengste periode med denne strømfarten ble målt til 13 timer. Dette er benyttet for å finne oksygenkonsentrasjonen inne i merd som ligger rett mot strømmen og i en merd som ligger i strømskyggen fra en foranliggende merd. I disse beregningene er merdene antatt å være kvadratiske (25x25 meter, omtrent tilsvarende areal som en 90 metring) og med et dyp på 25 meter. Oksygenforbruket er satt til 10 kg O<sub>2</sub> pr. tonn fisk pr. døgn. Utgangskonsentrasjonen for oksygen er satt lik 9 mg/l. Ved høy fisketetthet er det beregnet 150 tonn fisk i hver merd, noe som vil tilsvare omtrent 2.000 tonn fisk for hele anlegget. Merd2 er nedstrøms merd1, og 75% av vannet som strømmer inn i merd2 er antatt å komme fra merd2.

Beregninger viser at oksygenkonsentrasjonen i merdene er avhengig av fisketettheten (fig. 3.3 og 3.4) og kan ved høy fisketetthet komme ned i 0-1 mg O<sub>2</sub>/l i merden som ligger i strømskyggen.

For å unngå/reducere det potensielle problemet med lav oksygenkonsentrasjon i merden som ligger i strømskyggen, er en løsning å spre merdene over et større område på tvers av hovedstrømretning slik at ingen merder blir liggende i strømskygge.

I tillegg er modellen Fiskmeny (Stigebrandt 1986) benyttet for å beregne miljøbelastningen som den planlagte utvidelsen av matfiskanlegget ved Fosså vil forårsake. Resultatene av modellkjøringen viser at ved lav strømfart om sommeren når fiskemengden i merdene er på sitt største, kan oksygenkonsentrasjonen nær overflaten i merdene komme lavere enn den anbefalte

nedre grense på 5 mg O<sub>2</sub>/l (Vedlegg B). Beregningene i denne modellen utføres for gjennomsnittlig strøm og tar ikke hensyn til forholdene som oppstår under perioder med strømstille/liten strømfart.

For å unngå/ redusere det potensielle problemet med lav oksygenkonsentrasjon i merden som ligger i strømskyggen, er å spre merdene over et større område slik at merdene ikke blir liggende i strømskygge.

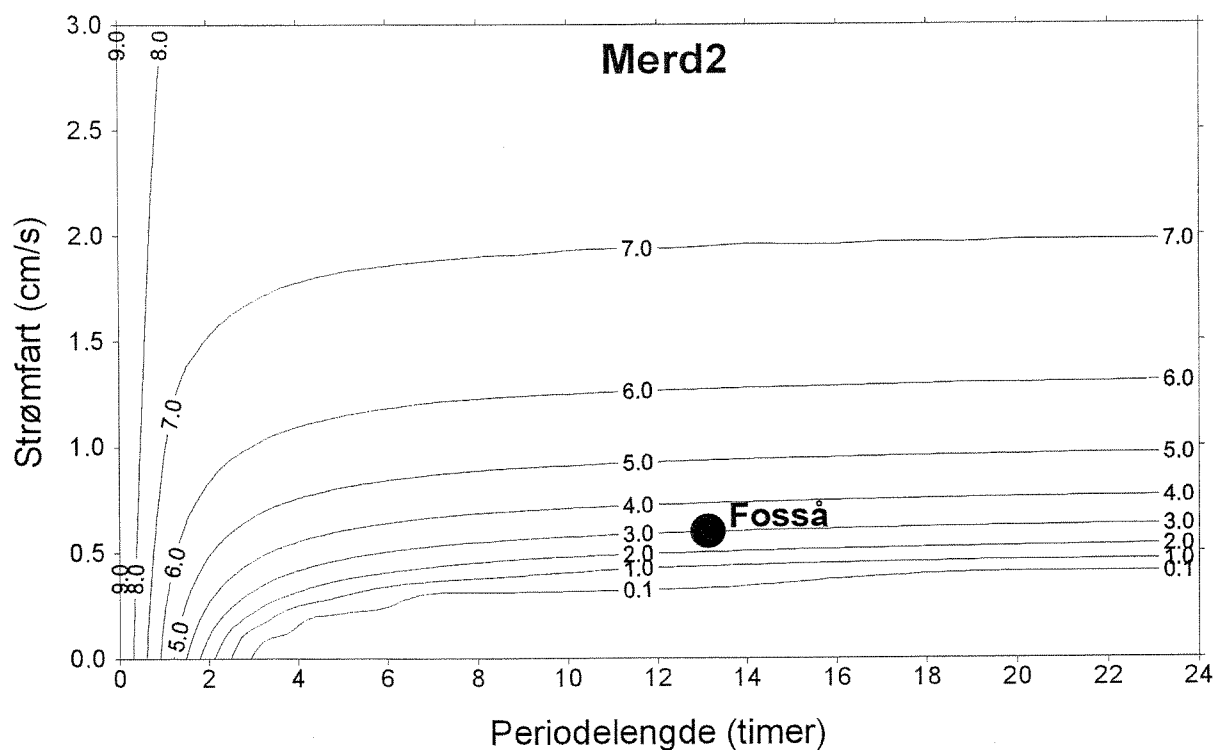
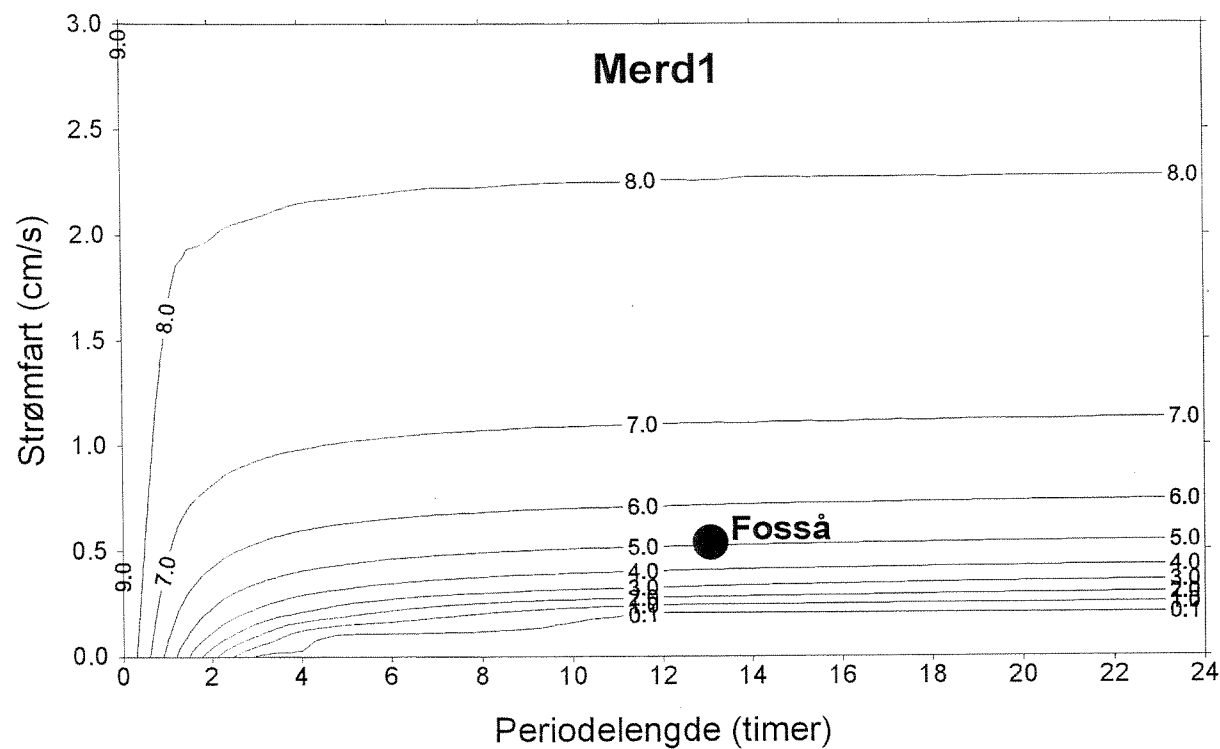
Ut fra disse resultatene anbefales det at det gjennomføres oksygenmålinger i anlegget ved Fosså sommerstid for å kontrollere om lavt oksygennivå kan være en stress og vekstbegrensende faktor for fisken om sommeren.

#### **4.3.2 Ammonium**

Ammoniakk/ammonium vil teoretisk sett kunne representere en begrensende faktor mht. giftvirkning av ammoniakk. Det meste av nitrogenet utskilles over gjellene som ammoniakk. Antar en at 80% av nitrogenutskillelsen er ammoniakk, tilsvarer dette 480 kg NH<sub>3</sub>/døgn i en periode med sterk tilvekst. En stor del av ammoniakken oksyderes raskt til ammonium, men noe vil bestå som ammoniakk.

I modellen Fiskmeny benyttes en ammoniumkonsentrasjon på 0,5 mg/l som grenseverdi for dårlig vannkvalitet i merdene. Modellkjøringene ga som resultat at ammonium i merdene sannsynligvis ikke vil være et problem for anlegget med den størrelse og fiskeproduksjon som er planlagt.

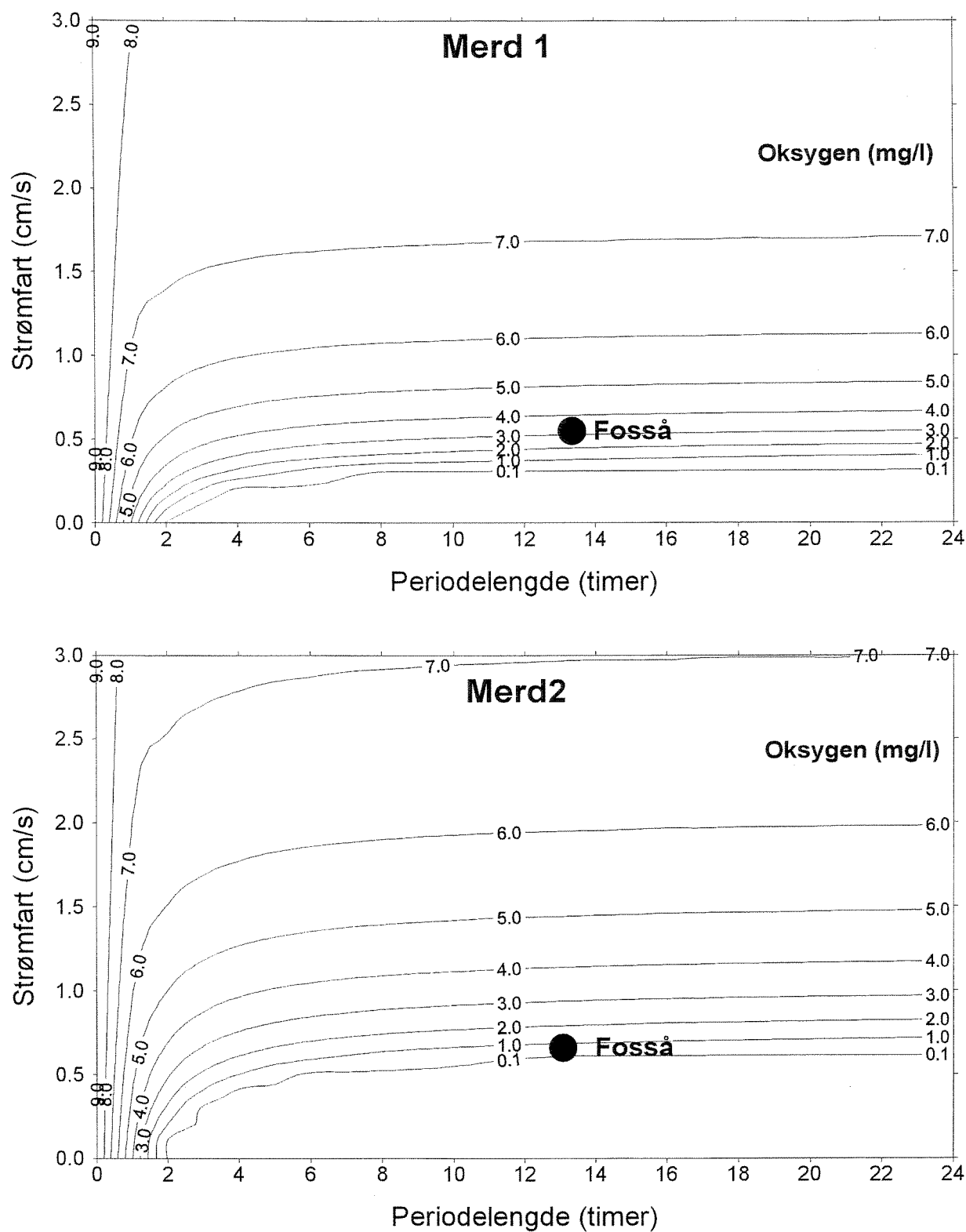
Dagens produksjon (1200 tonn i anlegg, 100 tonn pr 90 metring):



Figur 3.3. Beregnet oksygenkonsentrasjon a) i merd som ligger rett mot strømmen (Merd 1) og b) i merd som ligger i strømskyggen fra foranliggende merd (Merd 2) ved 100 tonn fisk pr. 90-metring.



Framtidig produksjon (2000 tonn i anlegg, 150 tonn pr 90 metring):



Figur 3.4. Beregnet oksygenkonsentrasjon a) i merd som ligger rett mot strømmen (Merd 1) og b) i merd som ligger i strømskyggen fra foranliggende merd (Merd 2) ved 150 tonn fisk pr. 90-metring.

## 5. KONKLUSJONER

De vannkjemiske analysene fra de øvre 15 meterene av vannsøylen fra april, juli, august og oktober viste vannmasser med konsentrasjoner for totalt fosfor, fosfat, totalt nitrogen og nitrat som alle ligger innen tilstandsklasse I ("Meget god") etter SFTs klassifiseringssystem for overflatelag. Ingen klare forskjeller i næringssaltkonsentrasjonene ble funnet for stasjonen midt i anlegget og på kontrollstasjonen 200 meter utenfor oppdrettslokaliteten.

Klorofyll a-verdiene for integrerte vannprøver fra 0 til 10 meter lå godt innenfor grensen for tilstandsklasse I ("Meget god"), og verdiene for totalt organisk karbon representerte normalverdier for vannmasser i fjordområder.

De kjemiske analysene av sedimentprøvene fra begge stasjonene tilfredsstillende for alle parametere kravene for klassifisering i tilstandsklasse I ("Meget god") innen SFTs klassifiseringssystem. En nærmere analyse av sedimentets kjemi viser imidlertid at sedimentet tilføres organisk materiale fra oppdrettsvirksomheten. Sterkest er signalet på stasjonen tatt midt på oppdrettsanlegget.

Analyse av bunndyrfaunaen viste at stasjonen ved oppdrettsanlegget hadde en fattig fauna (få individ) med høyt artsmangfold på grunn av mange arter med få individ. Funnet av en del forurensningstolerante arter kan tolkes som forurensningspåvirkning, men lave verdier for glødetap og totalt organisk karbon gjør at påvirkningen må betraktes som liten. Bunndyr-samfunn slik som denne stasjonen framviser, finnes også ofte på strømrrike lokaliteter med blandingsbunn hvor det er en viss påvirkning av partikulært organisk materiale. Det må også bemerkes at denne stasjonen ligger midt i eksisterende oppdrettsanlegg og en viss påvirkning må forventes.

De kjemiske analysene tyder på at forholdene i sedimentet på denne stasjonen stort sett er tilfredsstillende, men sannsynligvis er det en tilførsel av organisk materiale fra oppdrettsvirksomheten på stasjonen. Belastningen synes imidlertid ikke å føre til opphopning av organisk materiale i sedimentet.

Stasjonen 200 meter sørvest for oppdrettsanlegget bar på grunnlag av bunndyranalysen også preg av å være stimulert av organiske tilførsler, men også her ble det målt lavt glødetap og totalt organisk karbon i sedimentet. I 1996-sesongen var imidlertid det plassert oppdrettsmerder i området for denne stasjonen, og funnet av et bunndyr-samfunn stimulert av organiske tilførsler må sees i lys av dette. Innslaget av forurensningsømfintlige arter viser at lokaliteten ikke er overbelastet.

Totalt sett viser resultatene at lokaliteten Fosså i noen grad er påvirket av oppdrettsaktiviteten som har foregått uavbrutt på stedet i 6 år. Prøvene tyder imidlertid ikke på at lokaliteten er overbelastet av organiske tilførsler. Alle prøver både fra vannsøyle og sediment plasserer lokaliteten i tilstandsklasse I ("Meget god") etter SFTs klassifiseringsnorm.

En produksjon av 2.000 tonn fisk ved Fosså vil resultere i tilførsler på 99-114 tonn nitrogen og 21-24 tonn fosfor ved fórfaktorer på 1,12-1,23. Tilførslene vil imidlertid variere over året og er beregnet ved en fiskemengde på 1.500 tonn til å kunne komme opp i 700 kg nitrogen/døgn og 150 kg fosfor pr. døgn hvorav 80-90% av nitrogenet og 50-60% av fosforet vil være vannløst.

Beregninger av oksygenforholdene i merdene under perioder med lav strømfart viser at det i perioder med høy fisketetthet, kan forekomme perioder med kritiske oksygenkonsentrasjoner. Dette gjelder spesielt for merden som ligger i strømskyggen. Ammonium synes imidlertid ikke å komme opp mot kritiske konsentrasjoner.

## 6. REFERANSER

- Aure, J., & T. Johannessen. 1997. Næringsalter og klorofyll-a fra Skagerak til Vestlandet. *Fisken og Havet*, rapp.nr.2/97. Havforskningsinstituttet, Bergen. 45 s.
- Aure, J., & A. Stigebrandt. 1990. Quantitative estimates of the eutrophication effects of fish farming on fjords. *Aquaculture*, 90:135-156.
- Bjerknes, V., L.G. Golmen, A. Pedersen & K. Sørgaard. 1988. Kapasitet for fiskeoppdrett i Skogsvågen og i fjordområdet kring Toftarøy på Sotra. NIVA-rapport l.nr. 2072. Oslo.
- Bokn, T., T.M. Johnsen, J. Knutzen, E. Lømsland, F. Moy, K. Nygaard & B. Rygg. 1996. Resipientundersøkelser i 1995 i sjøområder rundt Stavangerhalvøya. NIVA-rapport l.nr.3493-96. 127 s.
- Ervik, A., & J.Aure. 1990. Pp. 32-39 i T.T. Poppe (Red.). *Fiskehelse. Sykdommer, behandling, forebygging*. John Grieg Forlag AS. ISBN 82-533-0254-1. 422 pp.
- Fiskeridirektoratet. 1997. Lønnsomhetsundersøkelse for matfiskanlegg 1996. Rapp. nr. 2/97. Fiskeridirektoratet. 118 s.
- Lie, U., H. Svendsen, S. Kaartvedt, S. Mikki, T.M. Johnsen, D. Aksnes, R.P. Asvall & L.G. Golmen. 1992. Vannkraft og fjorder. Fysiske og biologiske konsekvenser av Ulla-Førre utbyggingen. Rapp. nr. 4/92, SMR, Universitetet i Bergen. 89 s.
- Molvær, J. (Red.). 1997. Kyststrekningen Jomfruland-Stad. Vurdering av eutrofitilstand. Rapp. nr. 2, SFTs ekspertgruppe for vurdering av eutrofiforhold i fjorder og kystfarvann. SFT/NIVA. 129 s.
- Molvær, J., J. Knutzen, J. Magnusson, B. Rygg, J. Skei & J. Sørensen. 1997. Klassifisering av miljølkkvalitet i fjorder og kystfarvann. SFT-veiledning 97:03. TA-nr. 1467/1997.
- Nygaard, E. 1997a. Strømmålinger ved Lindvik, Fossaa, Kleppholmen og Djupvik i Ryfylke. NIVA-rapport l.nr. 3671-97.
- Nygaard, E. 1997b. Strømmålinger ved Herøy, Kobbavik, Langavik og Vindsvik i Ryfylke. NIVA-rapport l.nr. 3684-97. 40 s.
- Nygaard, E., & L.G. Golmen. 1997. Strømforhold på oppdrettslokaliteter i relasjon til topografi og miljø. NIVA-rapport l.nr. 3709-97. 58 s.
- Olsen, Y., & A. Jensen. 1989. Status for NTNFs program for eutrofieringsforskning. Programmets relevans til forskning og forvaltning i forbindelse med marin eutrofiering. ISBN 82-72224-299-0.

Stigebrandt, A. 1986. Modellberäkningar av en fiskodlings miljöbelastning. NIVA-rapport l.nr. 1823. 28 s.

Svendsen, H. 1997. Fysisk-oseanografisk undersøkelse i Ryfylkefjordene 1972-1975. Rådgivende utvalg for fjordundersøkelser. Rapp. nr. 2, Tekstbind, Universitetet i Bergen. 81 s.

Tjomsland, T., & B. Braaten. 1996. Tilførsler av næringsstoffer til kysten mellom svenskegrensen og Stad. NIVA-rapport l.nr. 3548-96. 39 s.

## Vedlegg A.

Fullstendige resultater for bunnprøver fra oppdrettslokaliteten Fosså.

Fullstendige resultater for bunnprøvene - Fosså  
0,1 m<sup>2</sup> van Veen bunngrabb

Anlegg 4 Fosså: stasjon-prøve		1-1	1-2	2-1	2-2
NEMERTINEA	Nemertinea indet	1	3	45	16
NEMATODA	Nematoda indet	205	90	10	44
POLYCHAETA	Paramphinome jeffreysii (McIntosh 1868)			32	50
	Aphrodita aculeata Linne 1758	1	1		
	Harmothoe sp			1	
	Pholoe pallida Chambers 1985			1	
	Pholoe sp			6	15
	Sthenelais limicola (Ehlers 1864)	2			
	Eteone cf. longa (Fabricius 1780)			2	
	Eteone foliosa		1		
	Phyllodoce groenlandica (Oersted 1842)		1		
	Sige fusigera (Malmgren 1865)				1
	Nereimyra punctata (O.F.Mueller 1788)				2
	Exogone verugera (Claparede 1868)			5	7
	Typosyllis cornuta (Rathke 1843)	1			
	Nephtys hombergii Savigny 1818	2	1		
	Glycera alba (O.F.Mueller 1776)	1			
	Glycera lapidum (Eliason 1920)			1	3
	Goniada maculata Oersted 1843	1		1	1
	Paradiopatra quadricuspis			1	
	Abyssoninoe hibernica	1		18	24
	Lumbrineris gracilis (Ehlers 1868)		1	3	3
	Drilonereis filum (Claparede 1868)			1	1
	Parougia eliasoni			1	1
	Phylo kupfferi				1
	Scoloplos armiger (O.F.Mueller 1776)	1	1		
	Apistobranchnus tullbergi (Theel 1879)				1
	Aricidea albatrossae Pettibone 1957			3	7
	Aricidea catherinae Laubier 1967			3	2
	Aricidea suecica Eliason 1920			2	
	Paradoneis Iyra (Southern 1914)			12	6
	Paraonis gracilis (Tauber 1879)			7	3
	Laonice sarsi			1	
	Polydora cf. caeca (Oersted 1843)		1	55	58
	Prionospio cirrifera Wiren 1883			7	8
	Prionospio fallax Soederstroem 1920			33	16
	Pseudopolydora paucibranchiata			56	13

	Czerniaavsky				
	Spiophanes bombyx (Claparede 1870)	1			
	Spiophanes kroeyeri Grube 1860			8	12
	Chaetopterus sp		1		
	Chaetozone setosa Malmgren 1867	1	13	6	3
	Dodecaceria concharum Oersted 1843				1
	Macrochaeta polyonyx Eliason 1962				1
	Tharyx cf. mcintoshi				28
	Tharyx mcintoshi			28	
	Tharyx sp			7	5
	Diplocirrus glaucus (Malmgren 1867)			8	9
	Scalibregma inflatum Rathke 1843			4	4
	Ophelina cylindricaudata (Hansen 1878)			7	5
	Capitella capitata (Fabricius 1780)		6		
	Heteromastus filiformis (Claparede 1864)			9	16
	Mediomastus fragilis Rasmussen 1973		1		
	Notomastus latericeus Sars 1851			11	21
	Euclymeninae indet			1	4
	Isocirrus planiceps (M.Sars 1872)			1	
	Rhodine gracilior Tauber 1879			1	
	Myriochele oculata Zaks 1922		1	5	3
	Owenia fusiformis Delle Chiaje 1841		1	5	1
	Pectinaria auricoma (O.F.Mueller 1776)			3	3
	Pectinaria koreni Malmgren 1865		1	1	
	Ampharetidae indet			11	15
	Eclysippe vanelli (Fauvel 1936)			32	54
	Melinna cristata (M.Sars 1851)			1	1
	Samytha sexcirrata M.Sars 1856			7	2
	Sosane sulcata Malmgren 1865			1	
	Sosanopsis wireni Hessle 1917				5
	Amaeana trilobata (M.Sars 1863)			4	2
	Paramphitrite tetrabranchiata Holthe 1976				1
	Phisidia aurea Southward			1	
	Polycirrus cf. medusa Grube 1850				10
	Polycirrus sp			3	
	Streblosoma bairdi (Malmgren 1865)			2	1
	Streblosoma intestinalis M.Sars 1872			3	1
	Thelepus cincinnatus (Fabricius 1780)		1		
	Terebellides stroemi M.Sars 1835			13	10
	Trichobranchus roseus (Malm 1874)			8	
	Chone sp			8	8
PROSOBRANCHIA	Lunatia alderi (Forbes)			1	
	Nassarius sp				1
	Retusa umbilicata (Montagu)				1
	Philine scabra (O.F.Mueller 1776)			1	
CAUDOFOVEATA	Caudofoveata indet			5	1
BIVALVIA	Nucula turgida Leckenby & marshall			1	
	Yoldiella tomlini Winckworth 1932				1
	Modiolus modiolus (L.)		1		
	Mytilus edulis Linne 1758			1	

---

	Thyasira croulinensis (Jeffreys)		2	1
	Thyasira equalis (Verrill & Bush)		20	32
	Thyasira ferruginea (Forbes)		2	3
	Thyasira obsoleta (Verrill & Bush)		2	4
	Thyasira pygmaea (Verrill & Bush)		5	2
	Thyasira sarsi (Philippi 1845)	1	5	1
	Montacuta ferruginosa (Montagu 1803)			1
	Mysella bidentata (Montagu 1803)		2	
	Macoma calcarea (Gmelin 1790)	2	2	
	Tellina fabula Gmelin	2		
	Abra nitida (Mueller 1789)	1	16	1
	Cuspidaria obesa (Loven 1846)		2	
CUMACEA	Campylaspis rubicunda Lilljeborg			1
	Hemilamprops assimilis G.O. Sars		1	
TANAIDACEA	Tanaidacea indet			2
ISOPODA	Cirolana borealis Lilljeborg		3	1
AMPHIPODA	Tmetonyx similis (G.O.Sars)		2	3
	Ampelisca eschrichti Kroeyer			1
	Ampelisca gibba Sars		2	
	Eriopisa elongata Bruzelius			2
	Bathymedon longimanus (Boeck)		1	
	Microdeutopus sp		1	
	Gammaropsis erythrophthalmus (Lilljeborg)			3
SIPUNCULIDA	Onchnesoma steenstrupi Koren & Danielssen 1876		3	5
PRIAPULIDA	Priapulus caudatus Lamarck 1816		1	
OPHIUROIDEA	Ophiuroidea indet		5	
	Amphiura chiajei Forbes		2	
	Amphiura filiformis (O.F.Mueller)			2
	Ophiura affinis Luetken		1	
	Ophiura albida Forbes		1	
	Ophiura carnea		1	
	Ophiura sp			6
ECHINOIDEA	Echinocardium flavescens (O.F.Mueller)		1	
HOLOTHUROIDEA	Labidoplax buski (McIntosh)		1	1
POGONOPHORA	Pogonophora indet		3	
HEMICHORDATA	Hemichordata indet		2	4

---



## Vedlegg B.

Resultater fra kjøring av modellen Fiskmeny.

NIVA  
Postboks 333 - Blindern  
0314 OSLO 3

FISKMENY (ver.2.0): FOSSAA EIN, nr ein

TABELL 1 FYSISKE DATA FOR LOKALITETEN.

Middelstrøm - langtids sommer	0.04	m/sek
Middelstrøm - tidevann	0.01	m/sek
Typisk saltholdighet (juli-sept)	30.0	o/oo
Typisk vindhastighet (sommer)	3.0	m/sek
Terskeldyp (utenfor anlegget)	100.0	meter
Areal innenfor evt. terskel	30.00	kvadratkilometer
Middeldyp innenfor evt. terskel	120.0	meter
Middeldyp ved anlegget	80.0	meter

TABELL 1B AKTUELLE TEMPERATURER (MÅNEDSMIDDEL) (SLETTA).

Jan=	5.6	Apr=	5.3	Jul=	13.7	Okt=	12.0
Feb=	4.4	Mai=	8.0	Aug=	14.7	Nov=	9.5
Mar=	4.3	Jun=	10.8	Sep=	13.9	Des=	7.5

TABELL 2 ANLEGGETS DIMENSJONER.

Volum av mærene (totalt)	85000	kubikkmeter
Lengde (vinkelrett på strømretning)	250	meter
Mærenes dyp	10	meter
Fisktetthet (høyeste verdi juli-sept.)	24	kilo/kubikkmeter
Reduksjonsfaktor for gjennomstrømning	0.70	

TABELL 3A FORSAMMENSETNING.

Protein	44.50	prosent
Fett	22.50	prosent
Karbohydrat	14.00	prosent
Aske	9.00	prosent
Energiinnhold (OE - beregnet)	3486	kcal/kg (14598 kJ/kg)

TABELL 3B FORSAMMENSETNING (TILLEGGSOPPLYSNINGER).

Proteinet inneholder:

Nitrogen	14.70	prosent
Fosfor	2.30	prosent
Forets synkehastighet	0.05	m/s

TABELL 4 FISKENS SAMMENSETNING.

Protein	18.00 prosent
Fett	12.00 prosent
Proteinet inneholder:	
Nitrogen	14.70 prosent
Fosfor	2.30 prosent

OBS!

Er den etterfølgende beregnede oksygenkonsentrasjonen lavere enn 5 mg/l, eller er ammoniumkonsentrasjonen høyere enn 0.5 mg/l, bør anleggets dimensjoner eller driftsform vurderes på nytt.

TABELL 5 FORANDRING AV OKSYGEN- OG AMMONIUMKONSENTRASJONER I MÆRENE PÅ GRUNN AV FISKENS RESPIRASJON RESPEKTIVE EKSKRESJON. FISKENS VEKT = 2100 GRAM, TEMPERATUR = 14.7 GRADER C TONNAGEN I MÆRENE ER 2040000 KG.

Basert på	Oksygen inn (mg/l)	Oksygen ut (mg/l)	Ammonium inn (mg/l)	Ammonium ut (mg/l)
Middelstrøm*)	8.00	5.86	0	0.10
Fjordoverflate*)	6.67	4.52	0.01	0.11

\*) OBS! Tabellen gir middelveidier. Lavere (høyere for ammonium) verdier kan forekomme. På den annen siden er ikke forhøyning av oksygeninnholdet (reduksjon av ammoniumkonsentrasjon) p.g.a. eventuell primærproduksjon i vertssystemet tatt med. Ved en eventuell omdimensjonering: Forsøk å gjøre anleggets lengde større (anlegget bør vende så stor flate som mulig mot strømmen).

TABELL 6 UTSLIPP AV OPPLØST NITROGEN OG FOSFOR FRA MÆRENE VED HØYE, MIDLERE OG LAVE TEMPERATURER. TONNAGEN I MÆRENE ER 2040000 KG. \*)

Temperatur ( C)	Nitrogen (kg/døgn)	Fosfor (kg/døgn)
14.7	596.3	93.3
9.5	393.4	61.6
4.3	259.5	40.6

\*) Forutsatt at fisken fores og spiser maksimalt, se Tab.9 og Tab.3. Utslipet kan minskes ved å redusere proteininnholdet i foret.

TABELL 7 SEDIMENTERENDE LATENT OKSYGENFORBRUK (UOD), NITROGEN (N), FOSFOR (P), ASKEFRI TØRRSUBSTANS (T) SAMT ASKE (A) VED HØYESTE, MIDLERE OG LAVESTE TEMPERATUR FOR ULIK GRAD AV OVERFORING. HVIS FORINGEN SKJER IFLG TAB. 9, ER OVERFORINGEN 0 PROSENT. TONNAGEN I MÆRENE ER 2040000 KG (FISKENS VEKT 2.10 KG).

Overforing (prosent)	Temp ( C )	Fra for og ekskrementer				
		kg O2/d	kg T/d	kg A/d	kg P/d	kg N/d
0	14.7	2534	1483	1453.6	4.96	31.70
25	14.7	10023	4754	1817.0	46.28	295.82
50	14.7	17512	8025	2180.4	87.61	559.95
0	9.5	1672	979	958.9	3.27	20.91
25	9.5	6612	3136	1198.6	30.53	195.15
50	9.5	11552	5294	1438.3	57.79	369.39
0	4.3	1103	646	632.6	2.16	13.79
25	4.3	4362	2069	790.7	20.14	128.73
50	4.3	7621	3492	948.8	38.13	243.68

KOMMENTARER TIL TABELL 7.

Sedimentoverflate = 24500 kvadratmeter markert påvirket av forrester og ekskrementer. I tillegg kommer sedimentasjon over et større område av organisk materiale som plante- og dyreplankton genererer pga utskillelse av oppløst fosfor og nitrogen direkte fra mærene.

Beregningen av oksygenforbruk i dypvannet per tonn fiskproduksjon: Reduksjon av oksygenkonsentrasjon = 0.000 mg/l/pr. tonn fisk. Om det totale årlige forbruk i dypvannet (oksygenreduksjon x årsproduksjon (i tonn) blir større enn 1 mg/l bør oseanografisk ekspertise konsulteres.

TABELL 8 TOTALE UTSLIPP (LØST + FAST STOFF) AV NITROGEN (N) OG FOSFOR (P) FOR ULIKE GRADER AV OVERFORING. FISKENS VEKT= 2100 GRAM. UTSLIPPET ER UTTRYKT I KILO NITROGEN ELLER FOSFOR PER 1000 KG FISKPRODUKSJON.

Overforing (prosent)	Løst		Fast		Totalt utslipp	
	N (kg)	P (kg)	N (kg)	P (kg)	N (kg)	P (kg)
0	36.8	5.76	1.96	0.31	38.79	6.07
25	36.8	5.76	18.27	2.86	55.10	8.62
75	36.8	5.76	50.89	7.96	87.72	13.72
100	36.8	5.76	67.20	10.51	104.03	16.28

## **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 3789-98

ISBN 82-577-3364-4