

# Sauda-prosjektet

---

## Mulige konsekvenser av endret ferskvannsutslipp til Saudafjorden -en marinbiologisk vurdering



Dag L. Aksnes  
og  
Atle Kambestad

Rådgivende Biologer AS  
INSTITUTT FOR MILJØFORSKNING

Rapport nr. 67, august 1992



# Rådgivende Biologer AS

## INSTITUTT FOR MILJØFORSKNING

### RAPPORTENS TITTEL:

Mulige konsekvenser av endret ferskvannsutslipp til Saudafjorden, -en marinbiologisk vurdering

### FORFATTERE:

*Dr.scient.* Dag L. Aksnes

*Cand.scient.* Atle Kambestad

### MEDARBEIDERE:

*Dr.philos.* Geir Helge Johnsen

### OPPDRAGSGIVER:

ENCO Environmental Consultants AS, Løkketangen 20A, 1300 SANDVIKA.

### OPPDRAGET GITT:

01.02.1991

### ARBEIDET UTFØRT:

01.12.91- 22.08.92

### RAPPORT DATO:

22.08.92

### RAPPORT NR:

67

### ANTALL SIDER:

18

### ISBN NR:

### SAMMENDRAG:

Sandfjordsystemets innelukkethet gjør det følsomt for endringer i næringssalt- og ferskvannstilførsler, spesielt sommerstid. Den planlagte kraftutbyggingen i Saudaområdet vil øke ferskvannstilførselen til Saudafjorden med ca.  $25 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  og til hele Sandfjordssystemet med omlag  $8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Dette vil stort sett gi små biologiske effekter i de berørte fjordene. I Saudafjorden kan en vente ca. 10% økning i den totale algeproduksjonen, og det vil også bli en svak økning i spredningshastighet av eventuelle giftalger ut fra Sandfjordssystemet, men dette kan elimineres ved å begrense utslippene av ferskvann når det er oppblomstring av slike alger i området. Hvorvidt slike ferskvannsutslipp stimulerer framveksten av giftalgen *Prymnesium parvum* er ennå uklart, og er gjenstand for videre forskning. Dersom en velger et dykket utslipp av ferskvannet i Saudafjorden, vil dette gi økt algeproduksjon om våren, men ha liten innvirkning på den tiden når giftalgene pleier å vokse fram. Imidlertid vil en kunne få forhøyet frigivelse av PAH fra sedimentene dersom strømhastigheten over bunnen øker over naturlig nivå. I Åkrafjorden ventes det ikke at utbyggingene får vesentlig biologisk betydning.

RÅDGIVENDE BIOLOGER AS.  
Bredsgården, Bryggen, N-5003 Bergen  
Telefon: 05 - 31 02 78 Telefax: 05 - 31 62 75

## FORORD

Rådgivende Biologer as. har på oppdrag fra ENCO, Environmental Consultants as., foretatt en konsesjonsavgjørende undersøkelse av konsekvenser for fisk, vannkvalitet /vannforsyning og miljøet i de berørte fjorder i forbindelse med foreliggende planer om utvidet kraftutbygging i vassdragene i og ved Saudafjellene (Anon 1991 og Riise 1992). Undersøkelsene er beskrevet i Johnsen m.fl. (1992). Den foreliggende rapport innbefatter de marinbiologiske vurderingene av endret ferskvannsutslipp til de berørte fjordene. Vi har imidlertid valgt å ta vurderingen av økte utslipp fra kraftverk på avledning av anadrom fisk som er på gytevandring mot Storelven og Nordelven i Sauda med i den fiskeribiologiske rapporten, og ikke i den foreliggende rapporten.

Rådgivende Biologer vil gjerne få takke følgende institusjoner og personer for bidrag i forbindelse med den marinbiologiske vurderingen:

- Saudafaldene v/ Ståle Lunde, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen v/ Bjørg Einan og Statkraft ved Arne Aamodt for fremskaffelse av data om vannføring i vassdrag og vannkjøring gjennom kraftverk,
- oppdragsgiver, Enco, Environmental consultants as., for et utmerket samarbeide.

Bergen 21. august 1992

## INNHALDSFORTEGNELSE

FORORD	3
INNHALDSFORTEGNELSE	4
SAMMENDRAG OG KONKLUSJON	5
INNLEDNING	6
SAUDAFJORDEN OG SANDSFJORDSYSTEMET	7
BIOLOGISKE EFFEKTER AV ULLA-FØRRE UTBYGGINGEN	8
MULIGE EFFEKTER AV ØKT FERSKVANNSTILFØRSEL I SAUDAFJORDEN	9
1. Økt algeproduksjon	9
2. Stimulert giftighet og vekst av <i>Prymnesium     parvum</i>	11
3. Spredning av alger	12
4. Dødelighet hos dyreplankton	15
5. Virkninger på høyere trofiske nivå	15
DYKKET UTSLIPP VERSUS OVERFLATEUTSLIPP	16
MULIGE EFFEKTER AV MINSKET FERSKVANNSTILFØRSEL TIL ÅKRAFJORDEN	17
ORDLISTE	17
HENVISNINGER	18

## SAMMENDRAG OG KONKLUSJON

Store ferskvannstilførsler (gjennomsnittlig  $200-300 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) kombinert med topografisk lukkethet medfører at Sandsfjordsystemet (Saudafjorden, Hylsfjorden og Sandsfjorden) har et markert brakkvannslag (2-5 m) med lav saltholdighet (4-18 promille). Sandsfjordsystemets innelukkethet gjør at dette fjordsystemet er mer følsomt for endringer i næringsalt- og ferskvannstilførsel enn andre åpne fjorder av samme størrelse. Effekter av slike endringer vil være sterkest i sommerhalvåret når planktonalgene har gode vekstbetingelser. Sommerstid vil den planlagte utbyggingen (inkl. alle tilleggsoverføringer) medføre en økning i ferskvannstilførslene til Saudafjorden på omkring  $25 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . Mye av dette vannet vil imidlertid overføres fra eksisterende naturlige og regulerte utslipp til Hylsfjorden og Sandsfjorden. Den totale økningen i ferskvannstilførslene til Sandsfjordsystemet vil således ligge omkring  $8 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . Som følge av den allerede sterke ferskvannsinntilførselen er det lite trolig at denne økningen vil gi merkbare biologiske effekter i fjordsystemet. Overføring av vann til Saudafjorden vil imidlertid kunne gi lokale effekter her. Disse kan oppsummeres: i) ca 10 % stimulering av den totale algeproduksjonen i Saudafjorden; ii) muligheter for en svak økning i spredning av giftalgen *Prymnesium parvum* og andre brakkvannsalger fra Sandsfjordsystemet til fjordområdene utenfor (Nedstrandsfjorden, Boknafjorden og Vindafjorden); iii) ferskvannsindusert dødelighet hos dyreplankton (< 0.1% av dyreplanktonbestanden i Sandsfjordsystemet pr. dag). En slik økning antas å ligge langt under både den eksisterende dødelighet og den naturlige utvekslingen av dyreplankton med utenforliggende fjordsystem.

Når det gjelder risikoen for spredning av *Prymnesium parvum* fra Sandsfjordsystemet til de utenforliggende fjordene kan denne reduseres ved å begrense utslippene av ferskvann i en periode av sommerhalvåret.

Et dykket utslipp i Saudafjorden vil ha en større algeproduksjonsstimulerende virkning enn et overflateutslipp. Hvis utslippet utformes på en slik måte at strømmen over sedimentene økes utover det naturlige nivå, vil også frigivelse av PAH og tungmetaller fra sedimentene til vannsøylen kunne øke. Dette kan hindres ved å flytte utslippet vekk fra et bunnært område med sedimentansamlinger.

Etter flere år med undersøkelser i fjordsystemet er det fortsatt uklart om tidligere vannkraftutbygginger har stimulert framveksten av *Prymnesium parvum* i Hylsfjorden. En kan således ikke utelukke at Saudautbyggingen vil kunne stimulere framtidige giftalgeblomstringer i Saudafjorden. Innen utgangen av 1993 ventes en konklusjon fra et pågående forskningsprosjekt, initiert av Rogaland Fylkeskommune, som tar for seg årsaksforhold omkring giftalgeblomstringene i Ryfylkefjordene.

Åkrafjorden vil få redusert ferskvannstilførsel ved den planlagte utbyggingen. Denne endringen er imidlertid av en størrelsesorden som må regnes som ubetydelig med hensyn på evt. virkninger på de biologiske produksjonsforholdene.

## INNLEDNING

Det gis en vurdering av mulige effekter på biologiske forhold i Sandsfjordsystemet (Saudafjorden, Hylsfjorden og Sandsfjorden) forårsaket av endringer i ferskvannsutslipp som følge av den planlagte Saudautbyggingen. Vurderingene bygger på rapporter og en simuleringsmodell utarbeidet i forbindelse med tidligere undersøkelser som hadde til hensikt å avdekke effekter av endret ferskvannstilførsel til Sandsfjordsystemet (Hylsfjorden, Saudafjorden og Sandsfjorden). Slike undersøkelser (Lie m. fl. 1992) ble utført før og etter Ulla-Førre utbyggingen. Undersøkelser omkring de etterhvert årvisse *Prymnesium parvum* blomstringene i fjordsystemet har også gitt et viktig grunnlag for vurderingene som framkommer i denne rapporten. Disse blomstringene har i perioden 1989-1991 forårsaket tap av mer enn 1000 tonn oppdrettslaks. Erstatningskrav som evt. vil bli fremmet i forbindelse med disse og framtidige algeblomstringer vil ventelig bli basert på en faglig utredning omkring årsaksforholdene til blomstringene. Et eget forskningsprosjekt (som koordineres av Rogaland Fylkeskommune og SFT) er etablert i perioden 1991-1993 med tanke på å kartlegge disse årsaksforholdene. Konklusjoner fra dette prosjektet ventes innen utgangen av 1993.

I planene for Saudautbyggingen foreligger forskjellige alternativ når det gjelder tilleggsoverføringer (Tabell 1). Der ikke annet er nevnt, er konklusjonene i denne rapporten basert på en full utbygging i henhold til Tabell 1. Ved andre alternativ kan en anta at evt. effekter reduseres proporsjonalt med reduksjonen i tilført vann.

Tabell 1. Overføring av vann ( $m^3s^{-1}$ ) til Saudafjorden ved forskjellige utbyggingsalternativ.

FRA	OVERFØRING	ÅRLIG	SOMMER	VINTER
Åkrafjorden	Tilleggsoverføring 4	4,0	6,1	2,5
Etnøfjorden	Tilleggsoverføring 2B	1,0	1,6	0,5
Hylsfjorden	Tilleggsoverføring 6	4,3	7,2	2,2
Suldalslågen/Hylen kraftverk	Basisprosjektet	1,6	ca. 2,8	ca. 0,7
Suldalslågen/Hylen kraftverk	Tilleggsoverføring 5	3,4	ca. 6,0	ca. 1,6
Saudafjorden	Tilleggsoverføring 1, 2A og 3 og basisprosjektet	6,8	ca. 11	ca. 3,5
SUM:		21,1	ca. 35	ca. 11

## SAUDAFJORDEN OG SANDSFJORDSYSTEMET

I det følgende gjengis noen karakteristiske trekk ved fjordsystemet (basert på Lie m. fl. 1992, Aksnes 1992). Saudafjorden, Hylsfjorden og Sandsfjorden innenfor Nevøy er ofte benevnt Sandsfjordsystemet i tidligere rapporter (Fig. 1). Inngangspartiet (ved Nevøy) er trangt, men terskeldypet relativt dypt (ca. 120 m). Dette medfører at tungt vann (Atlantiske vannmasser) passerer over terskelen og trenger ned i bassengvannet slik at bassengvannet (største dyp ca. 500 m) i fjordsystemet er godt oksygenert. Den trange passasjen ved Nevøy begrenser likevel styrken i vannutskiftingen og Sandsfjordsystemet er et relativt lukket fjordsystem. Dette betyr at vannmassenes oppholdstid i fjordsystemet er lengre enn for de mer åpne fjordene, noe som har stor betydning for de biologiske produksjonsforholdene (behandles senere).

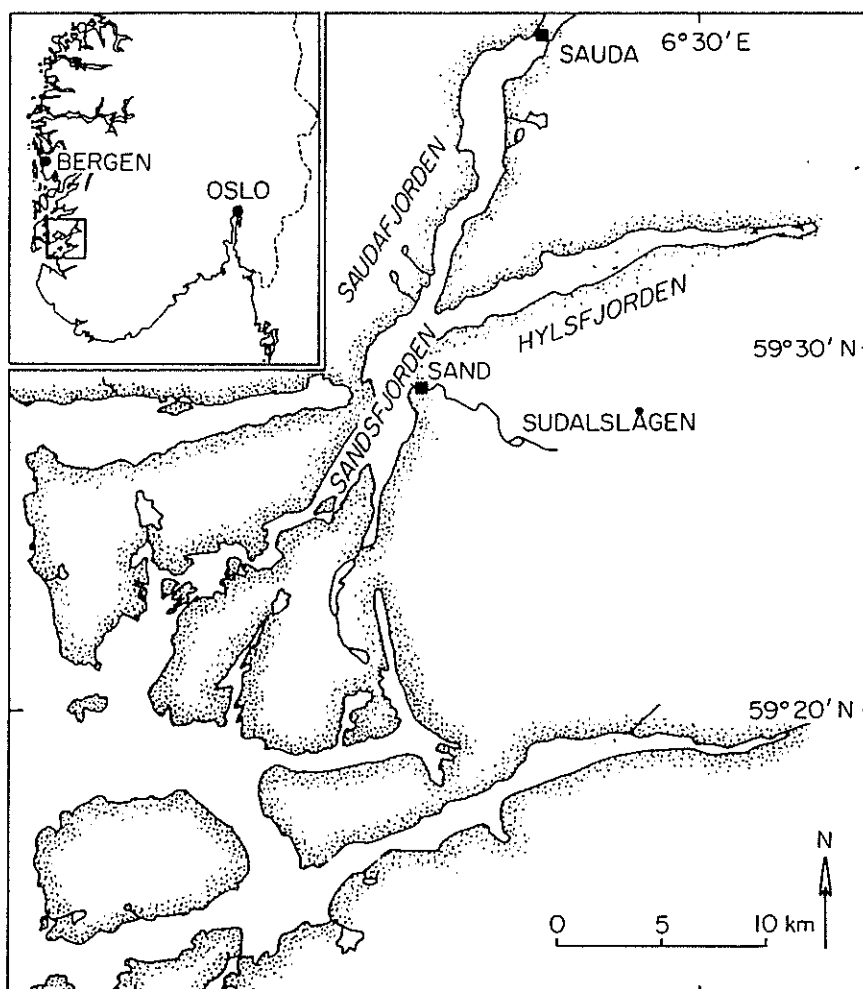


Fig. 1. Kart over Sandsfjordsystemet

Fjordsystemet tilføres store mengder ferskvann (både naturlig og som følge av vannkraftutbygginger). Før Røldal-Suldal og Ulla-Førre reguleringene var Suldalslågen den dominerende ferskvannskilden i fjordsystemet. Under uregulerte forhold (1921-60) var vannføringen i Suldalslågen omkring  $200 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  i sommermånedene og omkring  $30 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  om vinteren (Lie m. fl. 1992). Som følge av Røldal-Suldal og Ulla-Førre reguleringene er vannføringen i Suldalslågen bestemt av manøvreringsreglementet for elva. Røldal-Suldal reguleringen medførte en økning i vintervannføringen fra ca.  $30$  (1921-60) til ca.  $70 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (1968-78) og en nedgang fra ca.  $150$ - $250$  til ca.  $100$ - $150 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  i sommervannføringen. Etter Ulla-Førre utbyggingen (1981-89) er vintervannføringen igjen kommet på samme nivå som før Røldal-Suldal reguleringen (1921-60). Ulla-Førre utbyggingen forårsaket imidlertid en vesentlig økning av ferskvannstilførslene til fjordsystemet gjennom utslippene innerst i Hylsfjorden. Den maksimale driftsvannføringen ved Hylen kraftstasjon er  $270 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . I flomperioder kan imidlertid det totale utslippet i Hylen nå opp i  $600 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  ved at vann ledes gjennom et overløp for å hindre flom i Suldalslågen. Ferskvannstilførslene i Saudafjorden (regulert og uregulert) ligger omkring  $50$ - $60 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ .

De totale ferskvannstilførslene til Sandsfjordsystemet ligger omkring  $200$ - $300 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  om vinteren. Sommerstid ligger de underkant av  $200 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  når Hylen ikke er i drift og over  $300 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  med drift.

Kombinasjonen av topografisk innestengthet og ferskvannstilførsler forårsaker dannelsen av et markert brakkvannslag (øverste  $2$ - $5\text{m}$ ) med saltholdighet  $4$ - $18$  promille i Sandsfjordsystemet. Dette betyr at vannkarakteristikkene, og dermed algeproduksjonsforholdene, i det øvre laget av fjordsystemet i hovedsak er bestemt av det tilførte ferskvannet.

## **BIOLOGISKE EFFEKTER AV ULLA-FØRRE UTBYGGINGEN**

Ulla-Førre utbyggingen er landets største vannkraftutbygging, og innebærer blant annet at vann som tidligere rant ut i Jøsenfjorden har blitt overført til Sandsfjordsystemet (Hylsfjorden, Fig. 1). Fysiske og biologiske forhold har blitt kartlagt i forbindelse med utbyggingen og følgende biologiske effekter har blitt påvist (Kaartvedt & Svendsen 1990, Kaartvedt m.fl. 1991, Aure & Rey 1992, Kaartvedt & Aksnes 1992, Lie m. fl. 1992):

1. Produksjonsstimulerende virkning. Ferskvann bringer med seg næringssalter (vesentlig nitrat og silikat) som stimulerer algeproduksjonen i fjordsystemet. Videre medfører utslippet i Hylen en innblanding av dypereliggende sjøvann. Dette er, særlig om våren, rikt på næringssalter (fosfat, nitrat og silikat) og stimulerer algeproduksjonen i overflatelaget ytterligere.

2. Transport av alger og dyreplankton fra Sandsfjordsystemet til utenforliggende fjordområder. Utslipp av ferskvann i Hylen i 1989 medførte en spredning av giftalgen



*Prymnesium parvum* fra Sandsfjordsystemet til fjordområdene utenfor. Denne spredningen forsårsaket dødelighet i en rekke oppdrettsanlegg både i og utenfor Sandsfjordsystemet. Sommerene 1991 og 1992 ble det, etter forespørsel, ikke sluppet ut vann i Hylen under *Prymnesium* blomstringene, noe som medførte liten spredning.

3. Neddreping av dyreplankton. Store mengder dødt dyreplankton har blitt observert i Hylsfjorden i forbindelse med utslipp fra Hylen. Rask blanding av sjøvann og ferskvann utsetter sannsynligvis dyreplanktonet for et saltholdighetsfall som er raskere enn de tåler.

Problemene med *Prymnesium parvum* i fjordssystemet har blitt sett i sammenheng med Ulla-Førre utbyggingen. En slik sammenheng er godt dokumentert når det gjelder spredning av alger fra Sandsfjordsystemet til områdene utenfor (punkt 2 ovenfor). Det er imidlertid uklart om selve forekomsten (og giftighet) av *Prymnesium parvum* i fjordssystemet er stimulert av Ulla-Førre utbyggingen (punkt 5 i neste kapittel).

## MULIGE EFFEKTER AV ØKT FERSKVANNSTILFØRSEL I SANDSFJORDSYSTEMET OG I SAUDAFJORDEN.

Som tidligere nevnt ligger eksisterende ferskvannstilførsel til Saudafjorden omkring  $50-60 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , mens den totale tilførselen til Sandsfjordsystemet ligger gjennomsnittlig omkring  $200-300 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Ved en full utbygging (Tabell 1) medfører den planlagte Saudautbyggingen en økning på omkring  $24 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  av ferskvannstilførslene til Saudafjorden i sommerhalvåret (summen av de regulerte utslippene er riktignok  $35 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , men 11 av disse tilføres fjorden allerede gjennom naturlig avrenning). Dette betyr at tilførslene til Saudafjorden økes med omkring 50 % i sommerhalvåret, mens tilførslene til Sandsfjordsystemet økes med bare 2-3 % (da endringene først og fremst representerer en omfordeling av utslipp innen Sandsfjordsystemet).

### 1. Økning i den totale algeproduksjonen.

En lokal algeoppblomstring kan oppstå hvis algenes veksthastighet er høyere enn hastigheten algene blir transportert vekk med. Både høy veksthastighet og/eller lav vanntransport bidrar dermed til muligheten for lokal blomstring. Matematisk kan dette uttrykkes ved den dimensjonsløse størrelsen ( $r$ ):

$$r = Av/\mu V$$

V: vannvolum hvor algeveksten foregår ( $\text{m}^3$ )  
 A: areal av grenseflater hvor utskifting med andre vannmasser er mulig ( $\text{m}^2$ )  
 v: strømhastigheten over grenseflaten A ( $\text{m s}^{-1}$ )

$\mu$ : algenes veksthastighet ( $s^{-1}$ )

Er  $r \ll 1$  er vilkåret for lokal oppblomstring til stede. Hvis  $r \gg 1$  betyr det at algesamfunnet domineres av ytre påvirkning, og hvis  $r=1$  betyr det at lokal og ytre påvirkning er av samme størrelsesorden. Ved å sette inn karakteristiske verdier (Nordby 1992, Lie m. fl. 1992) for Saudafjorden ( $A/V = 4 \cdot 10^{-5} \text{ m}^{-1}$ ,  $v = 0.1 \text{ m s}^{-1}$  og algevekst ( $\mu = 8 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ ) får vi:

$$r_{\text{saudafjorden}} = 0.5$$

mens vi for Sandsfjordsystemet (inkludert Saudafjorden, Lie m. fl. 1992) får:

$$r_{\text{sandsfjordsystemet}} = 0.06$$

Dette betyr at Sandsfjordsystemet, men delvis også Saudafjorden (hvor også algenes oppholdstid økes ved virveldannelser som ikke er tatt hensyn til i uttrykket ovenfor), ligger naturlig til rette for lokale blomstringer. Det vil si at algeblomstringer kan oppstå og utvikle seg uavhengig av forholdene utenfor fjordsystemet. De lokale *Prymnesium parvum* blomstringene i 1989, 1990, 1991 og 1992 har gitt en klar demonstrasjon av dette. Dette betyr videre at algeproduksjonen i Sandsfjordsystemet er følsom for endringer i ferskvann- og næringssalttilførsel. På kysten og i mer åpne fjorder ( $r \gg 1$ ) skal det større lokale inngrep til for å influere algeforholdene da endringene i planktonsamfunnet domineres av transportprosesser (dvs. ytre betingelser).

Allerede i undersøkelsene som ble utført i perioden 1972-1975 (før Ulla-Førre utbyggingen) ble det funnet at planteplanktonmengden i Sandsfjordsystemet var høyere enn utenfor. Lavere dyreplanktonbeiting som følge av en mindre dyreplanktonmengde i Sandsfjordsystemet ble oppgitt som mulig grunn (Fosshagen 1979). Næringssaltene som fulgte med ferskvannet kan imidlertid også den gang ha bidratt til økt algebiomasse i Sandsfjordsystemet da innholdet av nitrat og fosfat i ferskvannet ikke har endret seg vesentlig fra 1972-75 til 1987-90 (Kaartvedt m. fl. 1990). Høye algemengder og lave dyreplanktonmengder har også blitt observert i perioden 1987-91. Videre synes det å være en høyere andel kiselager etter Ulla-Førre utbyggingen. Dette henger sammen med at ferskvannet inneholder relativt store mengder silikat (målt til ca.  $15 \mu\text{M}$  i Suldalslågen og i utslippet i Hylen, Kaartvedt m. fl. 1991).

Den planlagte Saudautbyggingen har et vesentlig mindre omfang enn Ulla-Førre utbyggingen når det gjelder omfanget av ferskvannsutslipp til Sandsfjordsystemet. En økning av de totale utslipp på omkring  $8 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  (som tilleggsoverføring 2B og 4 medfører) må anses som neglisjerbar med hensyn på mulige endringer i produksjonsforholdene for planktonalgene i Sandsfjordsystemet. Den lokale effekten i Saudafjorden vil derimot kunne bli større. Denne fjordarmen vil kunne bli tilført  $24 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  mer ferskvann enn i dag (basisprosjektet samt alle tilleggsoverføringer, Tabell 1). Nitrogentilførselen (som nitrat) med et kontinuerlig utslipp på  $24 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  utgjør omkring 300 kg pr. dag eller 110 tonn pr. år. Hele denne næringssaltmengden vil ikke

være tilgjengelig for algeproduksjon i Saudafjorden (eller i Sandsfjordsystemet) da den utoverrettede vannstrømmen vil transportere mye av næringssaltene ut av fjordsystemet (før de blir til algebiomasse). Vinterstid kan en regne med at alle næringssaltene blir transportert ut av fjordsystemet. Lie m. fl. (1992) fant ved modellsimuleringer at algeproduksjonen på årsbasis i Sandsfjordsystemet som følge av Ulla-Førre utbyggingen ble stimulert med omkring 30%. Tilsvarende simuleringer (simuleringsmodellen er detaljert beskrevet av Giske m. fl. 1991) for Sauda-utbyggingen viser at et overflateutslipp på  $24 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  vil kunne øke algeproduksjonen i Saudafjorden med ca. 10 % i forhold til dagens nivå. I deler av sommerhalvåret (juli, august) er algeproduksjonen i Sandsfjordsystemet begrenset av tilgangen på fosfor. Da ferskvannet er svært fosfatfattig medfører dette at produksjonsstimulansen vil være lavere på denne tiden av året. Et dykket utslipp vil kunne gi en sterkere produksjonsstimulans ved at dypere liggende, næringsrikt sjøvann medrives og bringes opp til overflaten. Denne stimulansen vil avhenge av sesong og utslippsdyp. Stimulansen vil være størst på vårparten når nitrat-, og fosfatkonsentrasjonene øker raskt med dypet. Sommerstid er nærings-saltene under brakkvannslaget uttømt ( $<0.1 \mu\text{M}$  nitrat og fosfat, Tabell 2) ned til ca. 30 m og næringsanrikningen ved dykket utslipp grunnere enn 30 m må derfor antas å bli liten.

*Tabell 2. Typiske næringssaltkonsentrasjoner i Saudafjorden i sommermånedene. Dataene er hentet fra Aksnes m.fl. 1992 og ble innhentet 13. August 1991. De høye nitrat- og silikatkonsentrasjonene i brakkvannslaget (0-5 m) kan tilbakeføres til ferskvannstilførslene i Saudafjorden og Sandsfjorden og illustrerer den sterke ferskvannspåvirkningen i fjordsystemet.*

DYP (m)	NITRAT ( $\mu\text{M}$ )	FOSFAT ( $\mu\text{M}$ )	SILIKAT ( $\mu\text{M}$ )
0	6.88	0.07	7.71
1	6.99	0.07	7.73
3	3.93	0.08	5.88
5	2.30	0.09	3.48
7	0.02	0.03	0.47
10	0.02	0.02	0.48
15	0.04	0.04	0.50
20	0.03	0.06	0.53
25	0.02	0.04	0.48
30	0.15	0.05	0.69

## 2. Stimulert giftighet og vekst av *Prymnesium parvum*

Før *Prymnesium parvum* blomstringene har Sandsfjordsystemet blitt regnet som en god oppdrettslokalitet. Det er derfor av stor interesse å få fastslått om vannkraftutbyggingene har stimulert blomstringene, og dermed om framtidige utbygginger vil stimulere disse ytterligere.

Forekomsten av *Prymnesium parvum* i Ryfylkefjordene ble første gang oppdaget som en direkte følge av laksedødelighet ved et fiskeoppdrettsanlegg i Hylsfjorden i 1991 (Johnsen m. fl. 1989). I de omfattende algeregistreringene som ble foretatt i perioden

1972-1975 (før Ulla-Førre utbyggingen) ble den ikke rapportert (Nygaard 1979). Fikseringsmetoden som ble benyttet i disse undersøkelsene var imidlertid ikke egnet til å bevare *Prymnesium parvum*. Det er således ikke mulig å fastslå om algen var tilstede før Ulla-Førre utbyggingen. Aksnes (1992) konkluderer at det er svært liten grunn til å anta at algen forkom første gang i Sandsfjordsystemet i 1989, men at det er sannsynlig at blomstringsvilkårene (evt. giftighetsvilkårene) har forsterket seg.

Blomstringene ( $1-5$  millioner celler liter<sup>-1</sup>) er av et omfang som krever relativt små næringssaltmengder sammenlignet med forbruket under en våroppblomstring. På bakgrunn av målinger utført i 1991 antyder Aksnes (1992) at økt nedbrytning av organisk materiale i Hylsfjorden kan ha stimulert både algeproduksjonen og giftvirkningen til prymnesin (organiske ko-faktorer forsterker virkningen av giftkomplekset). Videre syntes det som om det lave ferskvannsforårsakete fosfor:nitrogen forholdet stimulerer giftvirkningen hos alger som *Prymnesium parvum* (Shilo 1967) og *Chrysochromulina polylepis* (Dahl et al. 1990).

Et eget forskningsprogram (som koordineres av Rogaland Fylkeskommune og SFT) er etablert i perioden 1991-1993 for å kartlegge årsaker til blomstringene. Så langt er søkelyset rettet mot etableringen av Hylen kraftverk, etableringen av fiskeoppdrett i fjordsystemet og naturgitte forhold i Sandsfjordsystemet (Aksnes m.fl. 1991, Aksnes 1992). Innen utgangen av 1993 vil det foreligge en endelig konklusjon fra det pågående forskningsprosjektet. Hvis det her viser seg at *Prymnesium parvum* stimuleres av utslipp fra Hylen (evt. med tidsforskyvning fra utslipp til virkning) må en også regne med at utslipp i Saudafjorden kan ha en stimulerende effekt. Slike effekter bør imidlertid kunne unngås ved å legge begrensinger på utslippene i visse perioder.

### 3. Spredning av alger.

Som det framgår av det foregående ligger Sandsfjordsystemet naturlig til rette for lokale algeblomstringer. Økt vanntransport som følge av økte ferskvannsutslipp bidrar til å spre produktene av slike blomstringer ut Sandsfjordsystemet til de ytre fjordområdene. Under normale forhold har dette ingen negative konsekvenser. I Sandsfjordsystemet synes en imidlertid å ha en årviss giftalgeblomstring (*Prymnesium parvum*). Algen har hatt hovedforekomster i Hylsfjorden, men med høye konsentrasjoner også i Saudafjorden og Sandsfjorden (Fig. 2).

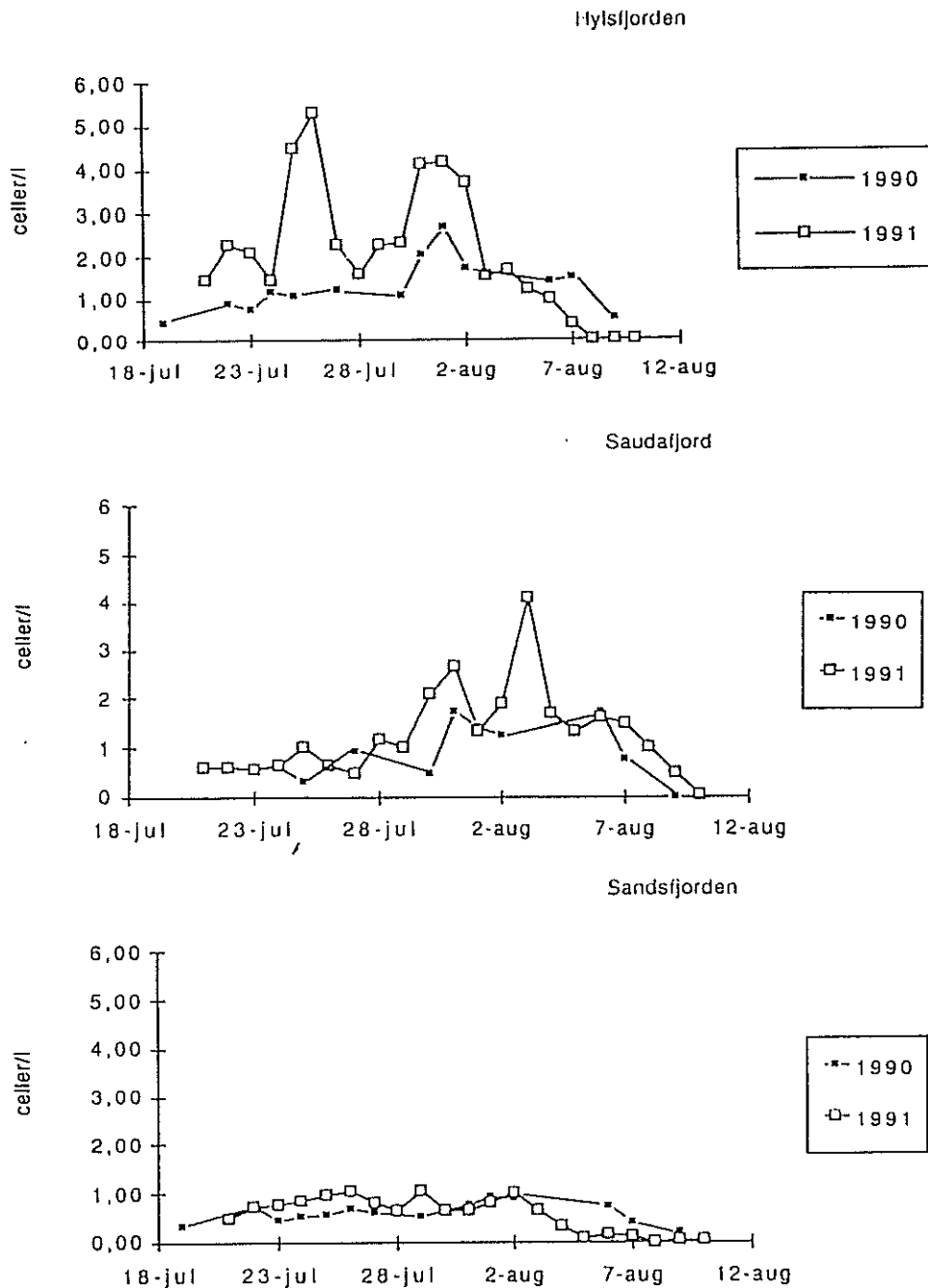


Fig. 2. *Prynnesium parvum* i Sandsfjordsystemet i 1990 og 1991. Verdiene representerer middelkonsentrasjonen i de enkelte fjordarmene. Hentet fra Aksnes 1992.

Med økte ferskvannsutslipp i Saudafjorden må en derfor også regne med økt spredning av gift og alger ut av fjordsystemet. Konsekvensene av en ferskvannsindusert algespredning ble demonstrert i 1989, og medførte tap i oppdrettsnæringen for omkring 35 mill. kr. (Kaartvedt et al. 1990). Som følge av utslippene i Hylen ble det dette året spredt alger og alggift fra Hylsfjorden til Nedstrandfjorden og omkringliggende fjordsystem (Fig. 3).

I eventuelle framtidige ferskvannsinduserte spredninger er det rimelig å anta at utslipp fra Saudautbyggingen vil måtte anses å være ansvarlig for en prosentandel som tilsvarer andelen av de de ferskvannsutslippene som bidrar til spredning (både naturlige og regulerte). Med ett spredningsgivende utslipp på  $300 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , og hvor f.eks.  $35 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  slippes ut som følge av Saudautbyggingen, vil således 12 % av spredningen kunne henføres til utslippet i Sauda. Denne prosentatsen vil imidlertid kunne variere sterkt med vannføringen i de forskjellige kildene, men også være avhengig av om blomstringen skjer i Saudafjorden eller i Hylsfjorden.

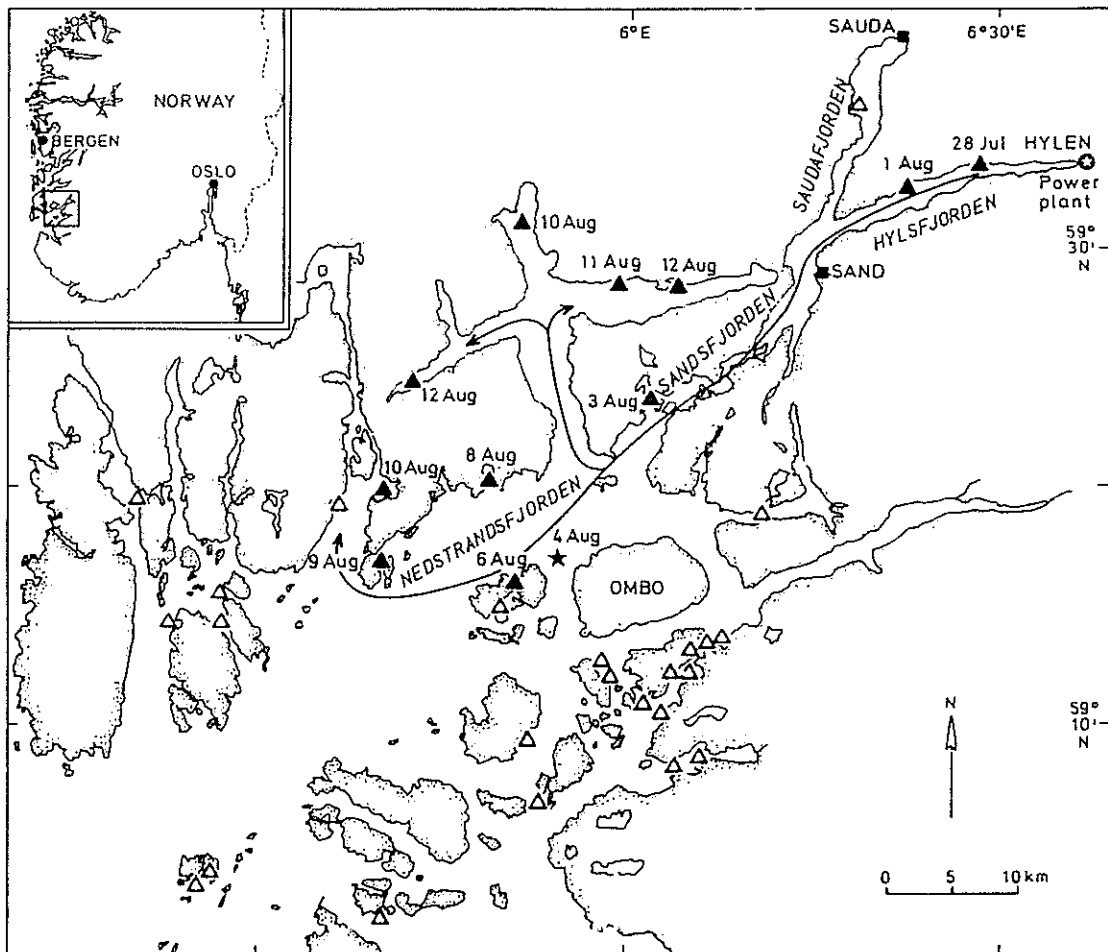


Fig. 3. Ferskvannsindusert spredning av giftalgen *Prymnesium parvum* i 1989. Datoene angir når fiskedødelighet ble observert i fiskeoppdrettsanlegg (mørke trekkanter). Uberørte anlegg er markert med åpne trekkanter. Hentet fra Kaartvedt m. fl. 1991.

#### 4. Dødelighet hos dyreplankton

Marint dyreplankton er ømfintlig for brå endringer i saltholdighet. De kraftige blandingsprosessene som kan foregå i forbindelse med ferskvannsutslipp antas å utsette planktonet for et dødelig saltholdighetsfall. Kaartvedt & Aksnes (1992) fant store mengder dødt dyreplankton i Hylsfjorden under utslipp fra Hysten. Her ble ferskvann og 30 promille sjøvann hurtig blandet til ca. 15 promille sjøvann. Med et ferskvannsutslipp på  $460 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  (inkludert utslipp i flomoverløpet) ble det beregnet at opp til 3.2 tonn tørrvekt dyreplankton døde pr. dag. Dette tilsvarer omkring 1 % av dyreplanktonbiomassen i Sandsfjordsystemet, som har blitt beregnet å være ca. 300 tonn (Nordby 1992). Utskiftingshastigheten av dyreplankton (med utenforliggende farvann) ligger omkring 1-2 % pr. dag (Nordby 1992). Det er uklart om ferskvannstilførslene i Suldalslågen gir opphav til en tilsvarende effekt.

Utslippene i Hysten er særdeles kraftig når det også slippes vann i flomoverløpet. Dette betyr at de ovenfor nevnte observasjonene neppe er gyldige for et utslipp av størrelsesorden  $35 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  i Saudafjorden. Hvis en likevel legger disse beregningene til grunn vil dødeligheten som følge av et slikt utslipp i Saudafjorden maksimalt utgjøre 0.1 % pr. dag av dyreplanktonbestanden i Sandsfjordsystemet. Sammenlignet med eksisterende dødelighet og de naturlige utvekslingene av dyreplankton med utenforliggende farvann må en slik dødelighet regnes som liten.

Med et evt. dykket utslipp vil blandingsproduktet ha en høyere saltholdighet. Utfra dette kan en anta at dykket utslipp vil redusere dødelighetsrisikoen for dyreplankton. På den annen side vil større mengder sjøvann (mer dyreplankton) blandes inn og dette vil kunne gi motsatt effekt. Det er derfor ikke mulig å si hvordan effekten av et dykket utslipp er i forhold til et overflateutslipp med hensyn på dødelighet hos dyreplankton.

Dødt dyreplankton fører til organisk nedbrytning i vannsøylen. Økt organisk nedbrytning stimulerer både vekst og giftighet hos *Prymnesium parvum* (se punkt. 5). De høyeste konsentrasjonene av *Prymnesium parvum* har imidlertid blitt funnet i Hylsfjorden i perioder hvor det ikke har blitt sluppet ut vann i Hysten på flere måneder (Aksnes 1992). Det finnes derfor ikke observasjonsgrunnlag som antyder en sammenheng mellom økt vekst hos *Prymnesium parvum* og ferskvannsindusert dødelighet hos dyreplankton.

#### 5. Virkning på høyere trofiske nivåer

Som omtalt i punkt 1 ovenfor gir næringssaltene som bringes med ferskvannet en gjødslingseffekt. Utfra fødebetraktninger kan en tenke seg at dette også medfører en svak vekststimulans på høyere trofiske nivå. Gjødslingseffekten i forbindelse med Sauda-utbyggingen vil imidlertid knapt være målbar på planteplanktonnivå (når det gjelder totalproduksjonen i Sandsfjordsystemet), og en kan derfor se bort fra en produksjonsstimulans på høyere trofiske nivå.

Økt ferskvannstilførsel kan virke habitatforringende for høyere dyr som fisk ved at tang- og tarebeltet svekkes (både som følge av lavere saltholdighet og svekket

lysgjennomgang i vannsøylen). Dette er et viktig oppvekstområde for småfisk og fiskeyngel. Ferskvannsinflytelsen i Sandsfjordsystemet er imidlertid allerede så sterk, med et brakkvannslag på 2-5 m, at Saudautbyggingen ikke vil kunne influere vesentlig på disse forholdene.

I den grad ferskvannstilførsel stimulerer giftalgeproduksjonen (se punkt 5 nedenfor) i Sandsfjordsystemet er det rimelig å anta at villfisk vil kunne influeres da giften prymnesin er en generell fiskegift. Blant annet har det i eksperimenter blitt påvist høy dødelighet hos kutlinger (Aksnes m. fl. 1992). Det finnes ikke systematiske observasjoner når det gjelder mulige virkninger på villfisk i fjordsystemet, men enkelte observasjoner rapportert av lekfolk har antydning av en avvikende adferd hos både marin og anadrom fisk under giftalgeblomstringene. Algen er imidlertid assosiert med brakkvannslaget (i de øverste 3 m) og villfisk har således mulighet for å unngå.

## DYKKET UTSLIPP VERSUS OVERFLATEUTSLIPP

Som det har framgått ovenfor vil et dykket utslipp kunne gi andre biologiske effekter enn et overflateutslipp. Algeproduksjonen vil stimuleres mer ved dykket utslipp da større mengder, og mer næringsrikt sjøvann vil blandes med ferskvannet og føres opp til overflaten. Denne produksjonsstimulansen vil kunne bli betydelig om våren da næringssaltkonsentrasjonene i 10-30 m dyp ennå er høye. Som følge av den gode næringssalttilgangen (inkludert silikat) er det først og fremst kiselalgen som vil bli stimulert, og det er liten grunn til å anta at den økte algeproduksjonen vil få negative konsekvenser. Giftalgen *Prymnesium parvum* synes å ha vekstsesong i perioden juli-august. Blomstringene krever relativt små næringssaltmengder, og en viss vekststimulans kan tenkes gjennom et dykket utslipp selv om næringssaltkonsentrasjonene på denne tiden av året er svært lave ned til 30 m (Tabell 2). *Prymnesium parvum* er imidlertid en brakkvannsalge, og et dykket utslipp vil kunne bidra til å øke saltholdigheten i overflatelaget. Avhengig av hvor sterkt utslippet vil endre brakkvannets karakter, er det således mulig at et dykket utslipp vil kunne svekke vekstforholdene til *Prymnesium parvum*.

Et dykket utslipp i nærheten av sedimentet med høyt innhold av PAH (størrelsesorden 500 µg PAH pr. mg sediment) og tungmetaller vil gjennom økt vannbevegelse kunne bidra til økt frigivelse av disse stoffene (Knutzen 1990, Næss 1991). For å hindre at et dykket utslipp skal bidra til økt frigivelse av slike stoffer bør en unngå at det settes opp strømhastigheter (over sedimentet) som er sterkere enn de naturlige strømmingene. Det er først og fremst vannbevegelser i fjordens mellomlag, 5-100 m, som påvirker de forurensete sedimentene. Strømmålinger i fjordens mellomlag (målt midtfjords) ligger typisk i området 0-20 cm s<sup>-1</sup>, men kan nå opp i 50 cm s<sup>-1</sup> (I.æ. et al. 1992). Et bunn nært dykket utslipp i de grunne områdene innerst i Saudafjorden vil kunne øke frigivelsen av PAH og metaller, og en lokalisering av et dykket utslipp i et område med større bunndyp, evt. med hardbunn uten sedimentansamlinger, vil redusere risikoen for slik økt frigivelse.



## MULIGE EFFEKTER AV MINSKET FERSKVANNSTILFØRSEL TIL ÅKRAFJORDEN

Sommervannføringen i Fjæraelven (med utløp i Åkrafjorden) vil kunne bli redusert fra ca.  $15 \text{ m}^{-3}\text{s}^{-1}$  til ca.  $10 \text{ m}^{-3}\text{s}^{-1}$ . Tatt i betraktning Åkrafjordens størrelse og åpenhet kan ikke endringer av en slik størrelsesorden påstås å gi biologiske endringer av betydning i fjorden.

### ORDLISTE

*Bassengvann*, vannmassene i en fjord eller poll som ligger dypere enn terskeldypet.

*Biomasse*, mengde av planter og dyr. Vanligvis angitt i kilo våtvekt, tørrvekt eller organisk karbon.

*Fiksering*, tilsetning av væske som konserverer biologiske prøver for senere analyse.

*Habitat*, en type område i naturen. Uttrykket brukes for å inndele i forskjellige typer områder (habitater) som er mer eller mindre egnet for en organisme eller organismegruppe.

*Næringssalter*, stoffer som planter på land eller i vann (alger) trenger for å vokse. Vanligvis er det stoffene nitrat, fosfat og silikat som omtaler når det gjelder algevekst ettersom det er en av disse stoffene som algene mangler i perioder, noe som hindrer en uhemmet algevekst.

*Organisk nedbrytning*, nedbrytning av plante- og dyrerester ved forråtnelse (bakterie- eller soppnedbrytning) eller ved fordøyelse fra andre dyr.

*PAH*, (*polysykliske aromatiske hydrokarboner*), kjemiske stoffer som ved enkelte industristeder har vært sluppet ut i store mengder. Dette gjelder særlig aluminium- og ferrosilisiumindustrien, som forbrenner Søderberelektroder mettet med antracenolje. PAH-stoffene er vist å kunne skade egg og yngel hos fisk, og kan også være kreftfremkallende hos mennesker.

*Planktonalger*, encellede alger som svever fritt omkring i vannmassene, dvs lever planktonisk. Et fåtall av disse algene (blant annet *Prymnesium parvum*) skiller ut giftstoffer og kan blant annet forårsake fiskedød og giftige blåskjell.

*Sedimenter*, i marinbiologien omfatter dette bløtbunn som består av av finkornet sand samt nedbrytningsprodukter av planter og dyr. Ved strømpåvirkning kan store mengder sedimentpartikler frigis til vannet.

*Terskeldyp*, det grunneste dypet i inngangspartiet til en fjord eller en poll. Grunne terskler gir vanligvis dårlig vannutskifting i bunnvannet innenfor, og dette kan føre til oksygenfattig og dødt miljø.

*Topografi*, form på landskapet, eventuelt sjøbunnen. Topografien er bestemmende for fjorders innelukkethet (terkskeldyp etc.) og er dermed avgjørende for vannutskiftingsforholdene.

*Trofisk nivå*, plassering i næringskjeden, dvs. hvor den aktuelle organismen befinner seg i forhold til hva den soiser og hvem som spiser den. En næringskjede i havet består ofte av følgende trofiske nivå: planteplankton, dyreplankton, småfisk, stor fisk, fugl og pattedyr (sel, tannhval og mennesket)

## HENVISNINGER

Aksnes, D.L. 1992. *Prymnesium parvum* blomstringene sett i lys av miljøundersøkelser i perioden 1972 til 1991. SMR rapport nr. 1 Senter for miljø- og ressursstudier, Universitetet i Bergen.

Aksnes, D.L., Aure J., Egge, J., Utne, A.C.W., Nordø, E. 1992. Undersøkelser av *Prymnesium parvum* i Ryfylkefjordene 1991. SMR rapport nr. 2. Senter for miljø- og ressurstudier. Universitetet i Bergen.

Aksnes, D.L., S. Kaartvedt & S. Mikki 1991. Fiskeoppdrett bidrar til oppblomstring av alger? Norsk Fiskeoppdrett nr. 1, 36-38.

Anon 1991. Samlet plan for gjenværende vasskraft. Saudautbyggingen. Kraftutbygging i Sauda, prosjektgruppen, 130 pp..

Aure, J. & F. Rey 1992. Oceanographic conditions in the Sandsfjord system, western Norway, after a bloom of the toxic prymnesiophyte *Prymnesium parvum* Carter in august 1990. Sarsia 76:247-254.

Dahl, E., O. Lindahl, E. Paasche & J. Throndsen 1990. The *Chrysochromulina polylepis* bloom in Scandinavian waters during spring 1988. p 383-405. In E.M. Cosper, K.M. Bricelej & J. Carpenter (ed.). Novel phytoplankton blooms. Causes and impacts of recurrent brown tides and other unusual blooms. Springer-Verlag, New York, NY.

Fosshagen, A. 1979. Dyreplankton i Ryfylkefjordene 1973-1975. Rådgivende utvalg for fjordundersøkelser. Ryfylkeprosjektet. Rapport nr. 2.

Giske, J., D.L. Aksnes, U. Lie & S.M. Wakili 1991. Computer simulation of pelagic production in Masfjorden western Norway, and its consequences for production of released 0-group cod. ICES mar. Sci. Symp. 192:161-175.

Johnsen, G.H., A. Kambestad & Å. Åtland 1992. Prosjektbeskrivelse. Prosjektrapport nr. 1 for Saudaprojektet, fisk og vannkvalitet/ vannforsyning. Rådgivende Biologer, rapport nr. 42, 29 pp.

Johnsen, T., S. Kaartvedt & D.L. Aksnes 1989. Identifikasjon og tidlige observasjoner av *Prymnesium parvum* i Ryfylkefjordene juli-august 1989. Institutt

for marinbiologi (IMB) rapport serie 1989:15, 19 pp .

Kaartvedt, S. & H. Svendsen 1990. Impact of freshwater runoff on physical oceanography and plankton distribution in a western Norwegian fjord: an experiment with a controlled discharge from a hydroelectric power plant. *Estuarine Coastal Shelf Science* 31:381-395.

Kaartvedt, S. & D.L. Aksnes. 1992. Does freshwater discharge cause mortality of fjord-living plankton? *Estuarine Coastal and Shelf Science* 34:305-313.

Kaartvedt, S., T. Johnsen, D.L. Aksnes, U. Lie & H. Svendsen 1990. Giftalgen *Prymnesium parvum* i Ryfylkefjordene, juli-august 1989. Institutt for marinbiologi (IMB) rapport serie 1990:2, 68 pp.

Kaartvedt, S., T.M. Johnsen, D.L. Aksnes, U. Lie & H. Svendsen 1991. Occurrence of the toxic phytoflagellate *Prymnesium parvum* and associated fish mortality in a norwegian fjord system. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 48.

Lie, U., H. Svendsen, T. Johnsen, S. Kaartvedt, S. Mikki, D.L. Aksnes 1992. Rapport fra etterundersøkelser i Ryfylkefjordene som er under trykking. Senter for miljø- og ressurstudier. Universitetet i Bergen.

Nordby, E. 1992. Advektiv innflytelse på dyreplankton i Sandsfjordssystemet i Ryfylke. Hovedfagsoppgave Univ. i Bergen. 105 sider.

Nygaard, I. 1979. Planteplankton i Ryfylkefjordene 1972-1975. Rådgivende utvalg for fjordundersøkelser. Ryfylkeprosjektet. Rapport nr. 1.

Shilo, M. 1967. Formation and mode of action of algal toxins. *Bacteriol. Rev.* 31:180-193.

Riise, J. 1992. Saudaprojektet. Endringer/ detaljeringer i utbyggingsplanene. Enco as.