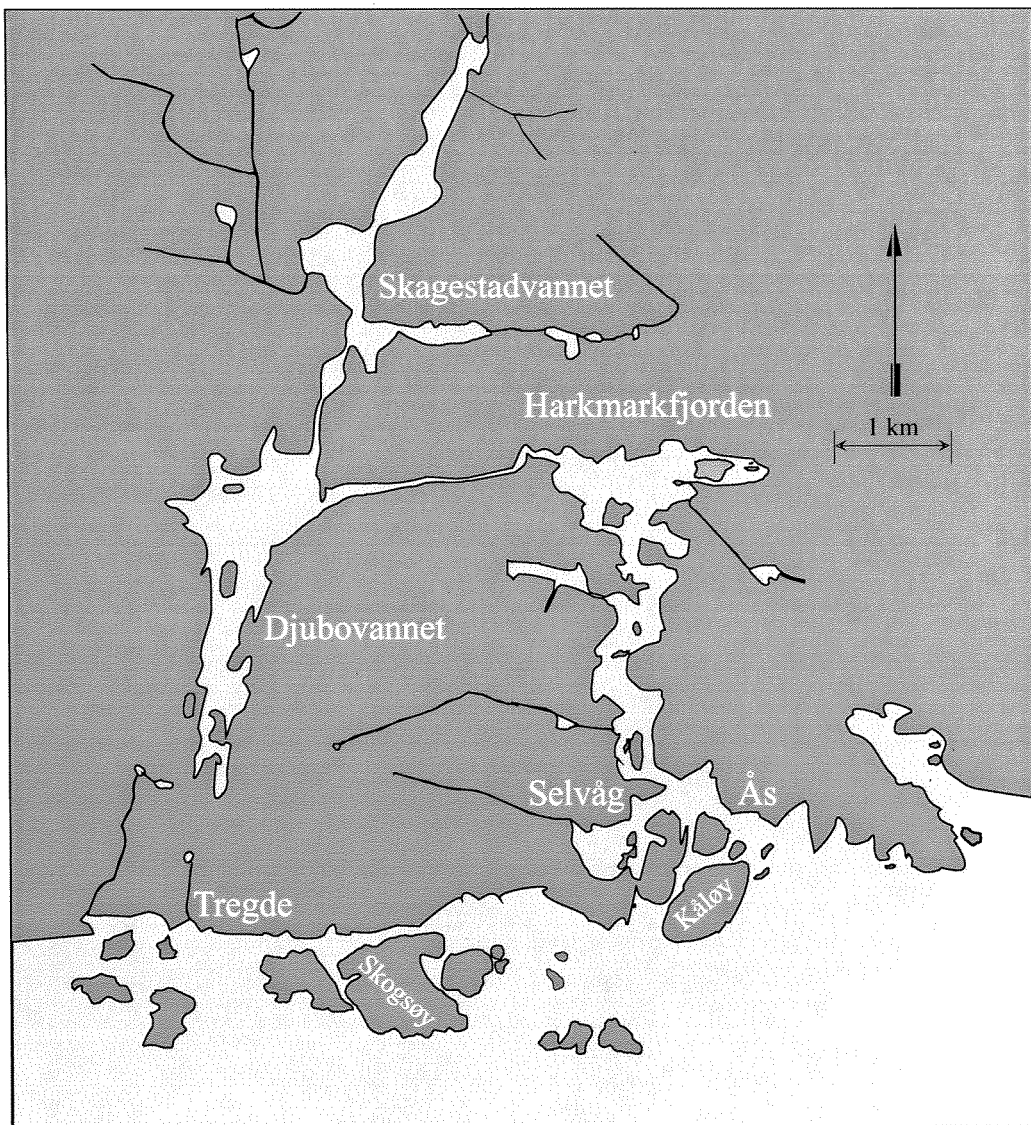


RAPPORT LNR 3869-983

Tilstanden i Harkmarkfjorden Mandal kommune

Tåler fjorden økt belastning?



Hovedkontor

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

Sørlandsavdelingen

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

Østlandsavdelingen

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

Vestlandsavdelingen

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

Akvaplan-NIVA A/S

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

| | | |
|---|-------------------------------------|--------------------|
| Tittel Tilstanden i Harkmarkfjorden, Mandal kommune. Tåler fjorden økt belastning? | Løpenr. (for bestilling) 3869-98 | Dato Juni, 1998 |
| | Prosjektnr. Undernr. O-97131 | Sider Pris 44 |
| Forfatter(e) Tone Kroglund Jan Magnusson Eivind Oug | Fagområde Marin eutrofi | Distribusjon |
| | Geografisk område Vest-Agder | Trykket NIVA |

| | |
|---|-------------------|
| Oppdragsgiver(e) Fylkesmannen i Vest-Agder, Mandal kommune | Oppdragsreferanse |
|---|-------------------|

| |
|---|
| <p>Sammendrag</p> <p>Undersøkelser av vannmasser, sedimenter og organismsamfunn på grunt vann i Harkmarkfjorden viste at fjorden var overbelastet med næringssalter/organisk stoff. Bunnvannet i indre del av Harkmarkfjorden hadde hydrogensulfid i hele prøvetaksperioden, mens ytre del av fjorden hadde periodevis råttent bunnvann. Etter SFTs klassifiseringssystem kan tilstanden i fjorden klassifiseres som <i>meget dårlig</i>. Strandsonen var flere steder preget av hurtigvoksende grønnalger, og vegetasjonen var nedslammet. Bunnsedimentene på 5 og 10 meters dyp hadde høyt innhold av organisk materiale. Næringssaltinnholdet i overflatelaget var stort sett innenfor det normale, men med noe høye nitrogenverdier i en tilførselselv. Den meget dårlige tilstanden i bunnområdene skyldes hovedsakelig naturlige tilførsler av næringssalter/organisk stoff og det faktum at fjorden er svært innelukket med dårlig vannutskiftning, men antropogene (menneskeskapte) tilførsler har også bidratt til dagens tilstand. En eventuell økning i tilførsler av næringssalter/organisk stoff vil gi negative effekter på hele fjordsystemet.</p> |
|---|

| | |
|--|---|
| <p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Terskelfjord 2. Vannkvalitet 3. Oksygenforbruk 4. Strandsone og sedimentanalyse | <p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Fjord 2. Water quality 3. Oxygen demand 4. Littoral zone and sediment analysis |
|--|---|



Tone Kroglund

Prosjektleder

ISBN 82-577-3451-9



John Arthur Berge

Fung. forskningssjef

O-97131

**TILSTANDEN I HARKMARKFJORDEN,
MANDAL KOMMUNE**

Tåler fjorden økt belastning?

NIVA Sørlandsavdelingen
Juni 1998

Prosjektleder: Tone Kroglund

Medarbeidere: Jan Magnusson
Eivind Oug
Jarle Håvardstun
Mette C. Lie

Forord

Undersøkelsene i Harkmarkfjorden ble gjennomført av Norsk institutt for vannforskning (NIVA) på oppdrag fra Fylkesmannen i Vest-Agder (Miljøvernavdelingen) og Mandal kommune. Undersøkelsesprogrammet var i henhold til vårt prosjektforslag datert 27.06.97 og brev av 01.07.97. Kontaktperson hos Fylkesmannen har vært Rolf Olav Stene.

Feltarbeidet ble gjennomført i samarbeid med Jan Magnusson, Jarle Håvardstun og Mette C. Lie. Jan Magnusson har i tillegg bearbeidet, vurdert og skrevet kapitlet om hydrografi, mens Eivind Oug har skrevet kapitlet om bløtbunnsedimenter. Kjemiske analyser av sedimenter og vannmasser er utført ved NIVAs laboratorium i Oslo. Alle takkes for bidrag. Prises skal også det varme vannet på toktet den 15.8.97.

Grimstad, juni 1998

Tone Kroglund
Prosjektleder

Innhold

| | |
|---|-----------|
| Sammendrag | 6 |
| Summary | 7 |
| 1. Innledning | 9 |
| 1.1 OMRÅDEBESKRIVELSE | 9 |
| 1.2 TIDLIGERE UNDERSØKELSER | 9 |
| 1.3 TILFØRSLER AV NÆRINGSSALTER | 11 |
| 1.4 FORMÅL | 11 |
| 1.5 UNDERSØKELSESPROGRAM | 11 |
| 1.5.1 Generelt om undersøkelsestypene | 12 |
| 2. Metoder | 13 |
| 2.1 VANNMASSER | 13 |
| 2.1.1 Stasjonsplassering | 13 |
| 2.1.2 Feltinnsamling | 13 |
| 2.1.3 Modellberegninger og klassifiseringsverktøy | 14 |
| 2.2 STRANDSONE | 15 |
| 2.2.1 Stasjonsplassering | 15 |
| 2.2.2 Feltinnsamling | 15 |
| 2.2.3 Tallbehandling | 16 |
| 2.3 BLØTBUNNSFAUNA OG SEDIMENTER | 16 |
| 2.3.1 Stasjoner og prøvetaking | 16 |
| 2.3.2 Analyser | 16 |
| 3. Resultater og vurderinger | 18 |
| 3.1 VANNMASSER | 18 |
| 3.1.1 Hydrografi | 18 |
| 3.1.2 Oksygenforhold. | 22 |
| 3.1.3 Overflatelagets vannkvalitet | 24 |
| 3.1.4 Vurderinger | 24 |
| 3.2 STRANDSONEN | 26 |
| 3.2.1 Artsutvalg | 26 |
| 3.2.2 Artsantall og diversitet | 29 |
| 3.2.3 Vurderinger | 31 |
| 3.3 SEDIMENTER | 32 |
| 3.3.1 Beskrivelse av sedimentene | 32 |
| 3.3.2 Vurderinger | 34 |

| | |
|---|-----------|
| 4. Referanser | 35 |
| Vedlegg A. Vannmasser | 36 |
| Vedlegg B. Eksempler på resultater fra beregninger med Fjordmiljø. | 38 |
| Vedlegg C. Strandsone | 42 |
| Vedlegg D. Sedimenter | 44 |

Konklusjoner

Tilstanden i Harkmarkfjorden var i 1997 preget av overgjødning, med høyt oksygenforbruk, anoksisk bunnvann og stor begroing lokalt på grunt vann. Sedimentene inneholdt svært mye organisk materiale selv på 5 meters dyp. Tilstanden skyldes hovedsakelig naturlige tilførsler av næringssalter/organisk stoff og det faktum at fjorden er svært innelukket med dårlig vannutskiftning, men antropogene (menneskeskapte) tilførsler har også bidratt til dagens tilstand. Undersøkelsen tyder på at fjorden allerede har for store tilførsler i forhold til vannutskiftning og "tåleevne". Undersøkelsen viser likevel at vannkvaliteten i overflatelaget er forholdsvis god, men at hele fjorden vil være svært sårbar for økte tilførsler. Spesielt vil gruntområdene få synlige effekter av økte tilførsler, som økt begroing og mindre siktedyp, og gjøre denne naturperlen mindre attraktiv for bading og friluftsbredning. En reduksjon i belastningen vil gi en generell forbedring av forholdene.

Sammendrag

Undersøkelser i Harkmarkfjorden ble gjennomført høsten 1997 for å beskrive dagens tilstand og vurdere fjordens tåleevne for økte tilførsler av næringssalter/organisk stoff. Undersøkelsen omfattet hydrografiske undersøkelser, beskrivelse av strandsonen og sedimentanalyser.

Harkmarkfjorden er en terskelfjord med flere grunne terskler. De to grunneste tersklene (2 m dyp) skiller et ytre basseng (ca. 20 meters dyp) fra et indre basseng (ca. 17 meters dyp). Terskelområdene begrenser vannfornyelsen i fjorden, slik at oppholdstiden er lang og eventuelle tilførte næringssalter vil gi full effekt i selve fjorden.

I alle deler av fjorden ble det registrert hydrogenulfidholdig (anoksisk) bunnvann høsten 1997. Den innerste fjorddelen var anoksisk i hele prøvetaksperioden (fra ca. 12 meters dyp). Bedømt etter SFTs klassifiseringssystem vil fjorden havne i den dårligste tilstandsklassen, klasse V (*meget dårlig tilstand*). Oksygenforbruket ble beregnet til 2-3 ml/l/mnd, som er svært høyt. Mesteparten av oksygenforbruket skyldes nedbrytning av organisk karbon tilført fjorden med innstrømmende kystvann og fra avrenning fra land. Befolkningen bidrar kun med ca. 8 % av tilførslene til fjorden, og fjordens tilstand i bunnvannet kan derfor være en naturlig tilstand som følge av begrenset vannutskiftning. Overflatevannets (0-2 m dyp) vannkvalitet var i tilstandsklasse I (*meget god tilstand*) eller II (*god tilstand*) for siktedyp, klorofyll-*a*, totalfosfor og totalnitrogen. N/P forholdet var imidlertid noe høyt som følge av ekstra tilførsler av nitrogen til elva (tilstandsklasse III -*mindre god tilstand*), og medfører at fjorden er ekstra følsom for ytterligere fosforutslipp. En stasjon (E6, i ytre del av fjorden) viste tegn til kloakkpåvirkning.

Strandsamfunnet i Harkmarkfjorden var dominert av småvokste rød - og grønnalger, skruehavgras og ålegras. Det vokste spredte tangplanter i de innerste delene av fjorden, mens de var mer utbredt i ytre del av fjorden. Enkelte områder i indre del av fjorden viste tegn til overgjødning med sterk begroing av hurtigvoksende alger og stor sedimentering. Også ytre deler av fjorden hadde uvanlig stor sedimentering som tyder på overgjødning forhold. Resultatene indikerer at hele fjorden er svært sårbar for økte belastninger, og at en økning vil redusere tilstanden ytterligere i overflatelaget.

Bunnsedimentene i 5 og 10 meters dyp hadde høyt innhold av organisk materiale i både indre og ytre del av fjorden. Verdiene faller inn under den dårligste tilstandsklassen i SFTs klassifiseringssystem (klasse V - *Meget dårlig tilstand*). C/N forholdet antyder at kilden til det organiske materialet hovedsakelig er plantemateriale fra land.

Title: Environmental status of the Harkmarkfjord, Mandal municipality. Will increased organic input have effect on water quality?

Year: 1998

Author: Kroglund, T., J. Magnusson, E. Oug

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.82-577-3451-9

Conclusions

The Harkmark fjord was in 1997 eutrophicated with anoxic bottom water, high organic content in bottom sediments and heavy growth of green algae and other ephemere species in certain shallow areas. This has mainly natural causes, but antropogenic input contributes to the reduced quality status. This survey shows that the organic input already exceeds the fjords carrying capacity, and that an increase in nutrient and organic input will worsen the condition. Especially the shallow areas will be affected by an increase in input, and reduce the potential for this resort.

Summary

Studies describing the environmental status and evaluating the effects of increased organic input were done in the Harkmarkfjord (southern part of Norway) during the autumn of 1997. The survey included studies of hydrography/chemistry, littoral zone and soft bottom sediments.

The Harkmarkfjord is divided into several basins by shallow and narrow constrictions. The two most distinct constrictions are 30-75 meters wide with depth of only 2 meters, while the basins maximum depth are 17-20 meters. The shallow constrictions reduces the renewal of water, so all input of nutrients are fully utilized within the fjord.

The bottom water was anoxic over long periods, but the surface water down to approx. 10 meter had satisfactory oxygen content in the autumn of 1997. Water with hydrogen sulphide was found below 12 meters. The bottom water is probably exchanged several times a year in the outer basin, but only once every second year in the inner basin. A reduction of the input of nutrients to the natural level would result in only a 8% reduction in the input of oxygen demanding organic material, and the bottom water would still be anoxic. Quality status for the surface waters (0-2m) was *very good* or *good* according to the criteria set by the Norwegian State Pollution Control Authority for measurements of secchi depths, chlorophyll-*a*, total phosphorus and total nitrogen (Molvær et al. 1997). However, a small river outlet had elevated nitrogen content. The N:P ratio in surface water was also high in the inner part of the fjord, indicating that the phytoplankton potentially is limited by phosphorus and thus vulnerable for increased input of phosphorus.

The littoral zone was dominated by small red- and green algae in addition to the plants *Zostera* and *Ruppia*. A few specimens of knottet wrack (*Ascophyllum nodosum*) was growing submerged in the inner part of the fjords, while the species was common in the littoral zone in the outer part. Some parts of the inner basin were strongly overgrown by fastgrowing green algae or the vegetation was covered by particles of organic material. This was also the case for the outer part of the fjord, showing that the fjord has eutrophication problems. The condition will worsen with increased input.

Soft bottom sediments had a high content of organic material at 5 and 10 meters depth in both inner and outer part of the fjord. Using the classification system described above, the quality status of sediments was *very bad*. A high C/N ratio suggests that the source for the organic material in the sediments is terrestrial plant material.

1. Innledning

1.1 OMRÅDEBESKRIVELSE

Harkmarkfjorden er en liten terskelfjord mellom Mandal og Søgne. Fjorden er ca. 4 km lang, og har flere bassenger som er avgrenset med grunne terskler og trange sund. De to grunneste tersklene ligger i fjordens ytre del ved Ås og Strømmen (**figur 1**). Terskeldypet ble målt til hhv 2.5 og 2 meter dyp, mens bassengdypet mellom de to tersklene ble målt til 22 meter og er fjordens dypeste punkt. I midtre del av fjorden, mellom Frydnes og Lillestøl, er grunneste terskel på 4 meter, mens største dybde ble målt til 17 meter. Det innerste bassenget har største dyp på 18 meter. Våre enkle ekkoloddregistreringer viser at fjordens topografi skiller seg noe fra det som er beskrevet i sjøkart nr. 10. Her er største dybde i ytre basseng 17 meter, mens største dybde i indre basseng er 14 meter. **Figur 1** viser kart over fjorden og **figur 2** et lengdesnitt. Dybdeangivelsene er justert etter ekkoloddobservasjonene.

Fjorden ble arealbestemt fra kart med enkel planimetrering. **Tabell 1** viser arealer i ulike dyp for hele fjorden innenfor den ytre terskelen ved Ås, samt arealet innenfor Strømmen. Overflatearealet er tidligere beregnet til ca. 1.6 km² (Molvær 1992), som ikke skiller seg mye fra de nye målingene. I dette lille området vil feilmarginen i planimetreringer være mellom ± 20 - 30.000 m², en feil som kommer i tillegg til unøyaktigheter i sjøkartet.

Harkmarkfjorden mottar ferskvannsavrenning fra Skagestadvannet og Dybovannet, som ligger i samme nedbørfelt. Nedbørfeltet er ca. 49 km². Ferskvannstilførselen er tidligere beregnet til 1.7 m³/s (Baalsrud et al. 1991).

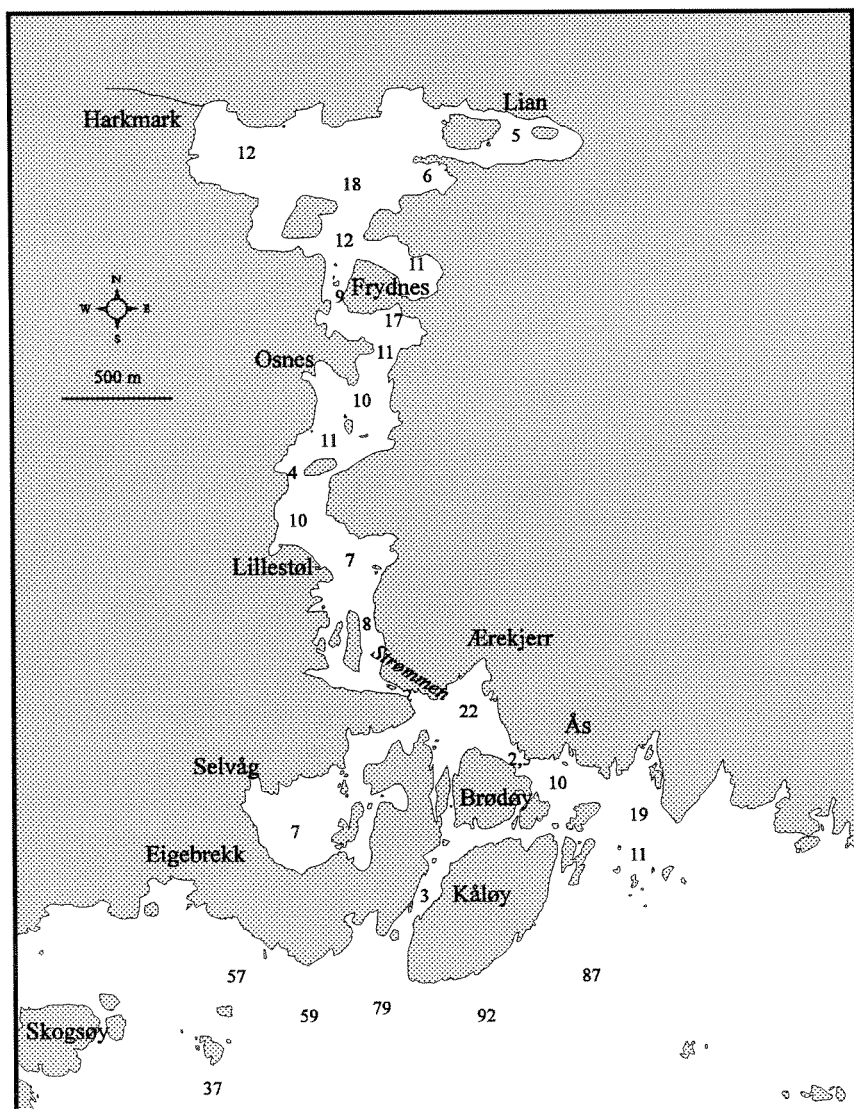
Tabell 1. *Arealer i Harkmarkfjorden.*

| Dyp (m) | Innenfor Strømmen (x 1000 m ²) | Innenfor Aas (x 1000 m ²) |
|---------|---|--|
| 0 | 1350 | 1850 |
| 5 | 875 | 1050 |
| 10 | 475 | 550 |

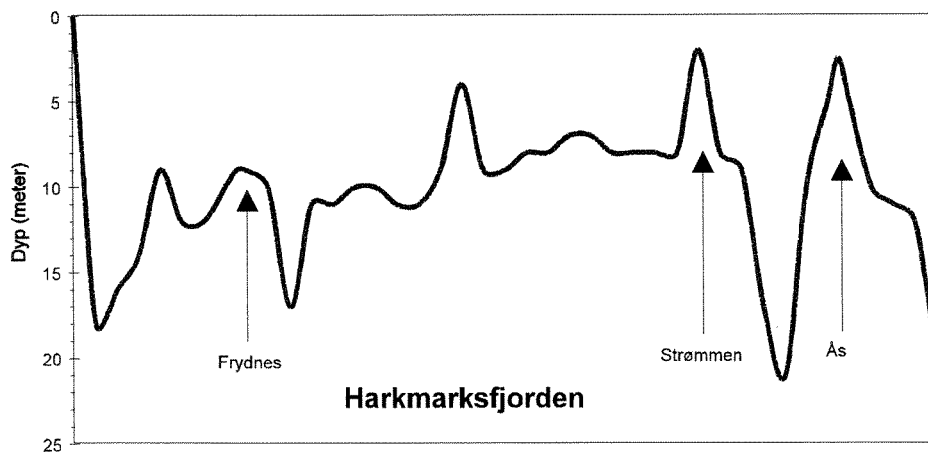
1.2 TIDLIGERE UNDERSØKELSER

Det foreligger få undersøkelser fra dette området, men det er gjort enkelte oksygenmålinger i fjorden i perioden 1979-1989. Tilsammen 8 målinger ble gjennomført på tre ulike stasjoner i ytre, midtre og indre fjord (Molvær 1992). Det ble registrert to større dypvannsutskiftninger, men det var lang tid mellom enkelte av observasjonene. Det ble målt kritiske oksygenforhold under 10-12 meters dyp og i perioder helt fra ca. 8-9 meters dyp.

I tillegg foreligger det flere dykkerrapporter med observasjoner av fisk, bunndyr og alger fra Harkmarkfjorden (R.O. Stene, unpubl.).



Figur 1. Kart over Harkmarkfjorden med enkelte dybdeangivelser i meter.



Figur 2. Lengdesnitt av Harkmarkfjorden.

1.3 TILFØRSLER AV NÆRINGSSALTER

Tilførsler av næringssalter fra befolkning og landbruk er beregnet for hele nedbørområdet, og for Harkmarkfjorden spesielt (**tabell 2**). Største bidragsyter er naturlig avrenning fra land, som tilfører ca. 14 tonn nitrogen og 0.3 tonn fosfor pr. år til nedbørområdet. Landbruk bidrar med 4.4 tonn nitrogen og 0.2 tonn fosfor, mens befolkning (avløpsvann) bidrar med 2.5 tonn nitrogen og 0.3 tonn fosfor (Baalsrud et al. 1991).

Tabell 2. Tilførselsmengder til Harkmarkfjorden og tilhørende nedbørområde. Tall for befolkning og landbruk er oppgitt av Stoveland Consult. Det er tatt hensyn til rensegrad for kloakk i beregningene. Beregninger av naturlig avrenning er hentet fra Baalsrud et al. 1991.

| Tilførsel | Område | | Tot-N kg/år | Tot-P kg/år |
|--------------------|--------------------|----------|----------------|----------------|
| Befolkning | Skagestadvannet | (329 pe) | 1182 | 157 |
| | Dybovannet | (89 pe) | 331 | 44 |
| | Harkmark | (250 pe) | 966 | 128 |
| Landbruk | Skagestadvannet | | 4090 | 195 |
| | Dybovannet | | 113 | 4 |
| | Harkmark | | 228 | 11 |
| Naturlig avrenning | Hele nedbørområdet | | 14 000 | 300 |
| Total sum | | | 21 000 | 840 |

1.4 FORMÅL

Formålet med den foreliggende undersøkelsen har vært å:

- *gi beskrivelse av dagens miljøtilstand i fjorden*
- *vurdere fjorden som resipient for dagens utslipp og eventuelle endringer i disse*

Undersøkelsen er ment å være til hjelp ved framtidige vurderinger av utbygginger og utslippssituasjoner.

1.5 UNDERSØKELSESPROGRAM

Det ble lagt opp til et undersøkelsesprogram som både kunne gi en dokumentasjon av tilstanden og samtidig gi grunnlag for å vurdere fjorden som resipient for dagens tilførsler og endringer i disse. Det ble derfor lagt opp et undersøkelsesprogram med elementene:

- Hydrografi/kjemi i vannmassene (temperatur, saltholdighet, næringssalter og oksygen)
- Gruntvannssamfunn
- Bløtbunn/sedimenter

1.5.1 Generelt om undersøkelsestypene

Næringssalter og klorofyll.

Næringssalter i vannmassene gir grunnlag for primærproduksjon (algevekst) i overflaten og dermed også vekst i de neste næringsledd (dyreplankton, fisk etc). Store tilførsler av næringssalter gir stor totalproduksjon, som igjen kan føre til problemer i innelukkede fjorder når det produserte organiske materialet skal nedbrytes (se neste punkt). Næringstilførselen kan komme fra næringsrikt sjøvann (f.eks oppstrømming av dypvann), tilførsel av ferskvann eller avrenning fra land. Miljøtilstand i overflatevann karakteriseres ut fra innhold av næringssalter og planteplanktonbiomassen målt som klorofyll *a* (Molvær et al. 1997).

Oksygen

Nedbrytning av organisk materiale er en oksygenkrevende prosess. I terskelfjorder med begrenset vannutskiftning kan oksygenet i dypvannet bli brukt opp under nedbrytningsprosessen. Det fører til oksygenfrie vannmasser, og videre til dannelse av hydrogensulfid. Hydrogensulfid er en dødelig gift for de fleste marine organismer. Innhold av oksygen/hydrogensulfid i bunnvann benyttes til å klassifisere tilstanden etter SFTs klassifiseringssystem (Molvær et al. 1997). Det er også mulig teoretisk å beregne hva som er naturtilstand som følge av vannutskiftningen og hva som er forårsaket av menneskebetingede tilførsler.

Hydrografi (temperatur og saltholdighet)

Målinger av vannets temperatur og saltholdighet gir informasjon om hva slags vanntyper som preger et område. Sammen med en fjords topografi, næringssaltstilførsler, ferskvannstilførsel, siktedyp og tidevann brukes disse dataene til å beregne en teoretisk verdi for oksygenforbruk og organisk belastning på bassengvannet gjennom bruk av en matematisk modell (*fjordmodellen*) (Stigebrandt 1992).

Gruntvannssamfunn

Undersøkelser av tang og fjæredyr på grunt vann (fast fjell og stein) brukes for å beskrive tilstanden i fjord- og kystområder. Under gode miljøforhold er mange arter tilstede, spesielt innen gruppen rødalger og brunalger. Det vil også være stort innslag av flerårige arter. Ved overkonsentrasjoner av næringssalter eller forurensninger vil antall arter reduseres, men enkelte forurensningstolerante arter vil bli mer utbredt. Disse artene er ofte ettårige og hurtigvoksende. Undersøkelser av artssammensetning og mengdeforhold gir således indikasjoner på tilstanden.

Bløtbunn/sedimenter

Undersøkelser av makrofaunaen (> 1 mm) og organisk stoff i bløte bunnsedimenter (mudderbunn) inngår i tilsvarende undersøkelser som gruntvannssamfunn, men dekker tilstanden i bunnområdene. Under normale og gode miljøforhold vil mange arter finne livsbetingelser og være representert i sedimentet. Ved forurensning eller ugunstige miljøforhold (f.eks. høy organisk belastning og oksygensvikt) vil færre arter kunne klare seg, men enkelte tolerante arter kan bli begunstiget og forekomme i store tettheter. Påvirkninger gir seg derfor utslag både på artssammensetning og i individfordelingen mellom artene. Miljøtilstand i bunnsedimentene karakteriseres ut fra faunaens artsmangfold og organisk innhold i sedimentet (Molvær et al. 1997). I denne undersøkelsen er bløtbunnsprøver innsamlet, men kun sediment er kjemisk analysert og rapportert.

2. Metoder

2.1 VANNMASSER

2.1.1 Stasjonsplassering

Stasjoner for undersøkelser i vannmassene (næringssalter, oksygen, temperatur og saltholdighet) er vist i **figur 3** (kvadratiske symboler). Stasjonsplasseringen følger undersøkelsene fra 1980-tallet. E1 i indre fjordbasseng, E2 i midtre fjord og E3 i ytre basseng kan karakteriseres som hovedstasjoner hvor alle parametre ble målt på alle tokt. I tillegg ble det gjort enkelte målinger på stasjon E4 på utsiden av Kåløy, E5 ved Frydnes, E6 i pollen ved Eigebrekk og en stasjon i elvemunningen i indre fjordbasseng.

2.1.2 Feltinnsamling

Temperatur og saltholdighet

Temperatur og saltholdighet er målt med selvregistrerende sonde Sea-Cat (Seabird) den 15.8.97, og med Sensordata (SD200) de øvrige datoene. Observasjonene ble tatt fra overflate til bunn eller til øvre grense for hydrogensulfidholdig vann. Temperaturen ble også avlest fra vannhenter. Enkelte vannprøver ble samlet inn for nøyaktig analyse av saltholdighet. Måleprogrammet er vist i **tabell 3**. Målingene ble foretatt 15. august, 2. september, 16. september og 30. september 1997

Tabell 3. Temperatur- og saltholdighetsmålinger i Harkmarkfjorden høsten 1997.

| Stasjoner | Største dyp | Antall tokt |
|-----------|-------------|-------------|
| E1 | 18 | 4 |
| E2 | 10 | 4 |
| E3 | 21 | 4 |
| E4 | 80 | 2 |
| E5 | 17 | 3 |
| E6 | 7 | 1 |
| Elva | 2 | 1 |

Næringssalter og klorofyll

Siktedyp, samt overflateprøver for analyse av næringssalter og klorofyll-a ble innsamlet fra hovedstasjonene (E1, E2 og E3). Overflateprøvene (0-2 m) ble hentet med et 2 meter langt prøvetakingsrør (5 cm i diameter). Næringssaltprøvene ble konserverte med svovelsyre (4M H₂SO₄) mens klorofyllprøvene ble oppbevart på mørke 1-liters flasker. Innsamling av prøvene ble foretatt 15. august, 2. september, 16. september og 30. september. Det ble tatt noen ekstra prøver bl.a i elva. Prøveprogrammet er vist i **tabell 4**. Analysene er utført på NIVAs laboratorium i Oslo, etter standard metoder.

Tabell 4. Målinger av næringsalter og siktedyp i Harkmarkfjorden 1997.

| Stasjoner | Parametre | Ant. dyp | Antall tokt |
|------------|--------------|----------|-------------|
| E1, E2, E3 | Siktedyp | 1 | 4 |
| " | Kl.f.-a | 1 (0-2m) | 4 |
| " | Tot-N | 1 (0-2m) | 4 |
| " | Tot-P | 1 (0-2m) | 4 |
| E6 | Tot-N, Tot-P | 1 (0-2m) | 1 |
| Elva | Tot-N, Tot-P | 1 (0.5m) | 1 |

Oksygen/hydrogensulfid

Vannprøver fra overflate til bunn på stasjonene E1, E2 og E3 ble samlet inn for analyse av oksygen og hydrogensulfid. Prøvene ble konserverte med lut (NaOH) og manganklorid (MnCl₂) i felt, og senere analysert etter modifisert Winkler metode. Prøveprogrammet er vist i **tabell 5**.

Tabell 5. Målinger av oksygeninnhold i Harkmarkfjorden 1997.

| Stasjoner | Antall dyp | Antall tokt |
|-----------|-----------------------------|-------------|
| E1 | 6 (0, 3, 6, 9, 12, 15m) | 4 |
| E2 | 3 (0, 4, 8m) | 4 |
| E3 | 6 (0, 4, 8, 12, 14m + bunn) | 4 |
| E5 | 4 (15m) | 1 |

2.1.3 Modellberegninger og klassifiseringsverktøy*SFTs system for klassifisering av miljøkvalitet*

Vannkvaliteten er karakterisert i henhold til SFTs system for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann (Molvær et al. 1997). Klassifiseringen foretas med hensyn på næringsalter i overflatevann, oksygeninnhold i bunnvann, siktedyp og klorofyll-konsentrasjoner. Systemet opererer med et sett av fem tilstandsklasser som går fra klasse I (*meget god tilstand*) til klasse V (*meget dårlig tilstand*) (**Tabell 6**).

Metoder for beregninger av oksygenforbruk og vannutskifting.

1. For å beregne oksygenforbruk forutsettes observasjoner av oksygenkonsentrasjonen i minst to etterfølgende tokt hvor bassengvannet er stagnant, dvs. uten vannutskiftninger. Oksygenforbruket gis av forskjellen i oksygeninnhold i bassengvannet mellom de to observasjonsdatoer samt beregnet tilførsel av oksygen ved diffusive prosesser.

2. En teoretisk verdi for oksygenforbruk kan beregnes ved bruk av en matematisk modell (*Fjordmiljø*, Stigebrandt, 1992). *Fjordmiljø* beskriver de fysiske forhold i en terskelfjord eller et basseng og beregner oksygenforbruk og organisk belastning på bassengvannet ut fra næringssaltstilførsler, ferskvannstilførsel, siktedyp, tidevann og variasjoner i kystvannets egenvekt. Det bør observeres at tilførsel av organisk stoff (f.eks. plantemateriale og lignende) fra ellevannet ikke inngår i beregningene. Oksygenforbruket beregnet fra modellen gir likevel noe større forbruk enn i virkeligheten. Dette er fordi oksygen tilføres dypvannet også ved diffusive prosesser, noe som ikke modellen tar hensyn til.

Ettersom Harkmarksfjorden består av flere bassenger vil bruk av *Fjordmiljø*-modellen gi noe usikre beregninger. Derfor er modellen brukt på hele fjorden som ett basseng og på hvert basseng for seg og de relative forskjellene er sammenlignet. Kontroll av resultatene krever egentlig at oksygenforbruket beregnes ut fra observasjoner (se over) og sammenlignes med modellresultater. Det bør understrekes at forutsetningene for å gjennomføre slike kontrollberegninger ikke har vært til stede i dette prosjektet. Med flere trange terskler vil vannfornyelsen bli noe dårligere enn de som fremkommer av beregningene i denne rapport.

Tabell 6. *SFTs klassifisering av tilstand for næringsstater i overflatelag og oksygen i dypvann (Molvær et al. 1997).*

| Parametre | | Tilstandsklasser | | | | |
|---------------------------------|------------------------------------|-------------------|-----------|----------------------|--------------|----------------------|
| | | I Meget god | II God | III Mindre God | IV Dårlig | V Meget dårlig |
| Overflatelag (sommer) | Total fosfor ($\mu\text{g/l}$) | < 12 | 12 - 16 | 16 - 29 | 29 - 60 | > 60 |
| | Total nitrogen ($\mu\text{g/l}$) | < 250 | 250 - 330 | 330 - 500 | 500 - 800 | > 800 |
| | Klorofyll a ($\mu\text{g/l}$) | < 2 | 2 - 3.5 | 3.5 - 7 | 7 - 20 | > 20 |
| | Siktedyp (m) | >7.5 | 7.5 - 6 | 6 - 4.5 | 4.5 - 2.5 | < 2.5 |
| Dypvann | Oksygen (ml/l) | > 4,5 | 4.5 - 3.5 | 3.5 - 2.5 | 2.5 - 1.5 | < 1.5 |
| Sediment | Organisk karbon (mg/g) | < 20 | 20 - 27 | 27 - 34 | 34 - 41 | > 41 |

2.2 STRANDSONE

2.2.1 Stasjonsplassering

Registreringer av alger og dyr i strandsonen ble foretatt på 5 stasjoner i Harkmarkfjorden (**Figur 3**). Alle stasjonene var beskyttet for bølgeslag. 3 stasjoner ble plassert i indre basseng: S1 ved elvemunningen, S2 i nordenden av bassenget og S2b ved Lian på østsiden av bassenget. I tillegg ble en stasjon midt i fjordsystemet undersøkt (S3 på sørspissen av liten øy ved Røyrvik) og en stasjon ved innløpet til pollen ved Eigebrekk (S4).

2.2.2 Feltinnsamling

Algevegetasjonen og vanlige dyr ble registrert ved fridykking. Metoden innebærer å registrere alle makroskopiske alger (større enn 1 mm) og de vanligste makroskopiske dyrene i et ca. 20 meter langt belte langs stranden (0-2 meters dyp). Registreringen er kvalitativ og dels kvantitativ ved at artenes forekomst blir angitt etter en subjektiv skala: enkeltfunn(e), spredt(s), vanlig(v) og dominerende(d). Arter som var vanskelig å identifisere i felt ble samlet inn og senere mikroskopert i laboratoriet. Feltinnsamlingen ble gjennomført 2. september 1997.

2.2.3 Tallbehandling

Diversitet (H')

For å beregne diversiteten (= mangfold) ble en modifisert Shannon-Wiener indeks (H') brukt. Indeksen øker med økende antall arter og når individene er jevnt fordelt mellom artene. Lave verdier markerer dårlige forhold mens høye verdier markerer normale til gode forhold. Shannon-Wiener indeks er basert på antall (n), men er her brukt på mengde. Indeksen er gitt ved formelen:

$$H = - \sum_{i=1}^s \frac{n_i}{N} \log_2 \left(\frac{n_i}{N} \right) \quad \text{hvor } n_i = \text{mengdeverdien (forekomstangivelsen) av art } i, N = \text{summen av mengdeverdiene for alle artene, og } s = \text{antall arter.}$$

Dominansindeks (I)

Denne indeksen gir et enkelt tall som reflekterer dominansforholdet i et samfunn. Definisjonen på dominans er "I er dominansen av den vanligste arten i prosent av hele prøven." Høye indeksverdier indikerer et samfunn dominert av en art.

Forholdet mellom antall rød-, brun og grønnalger

På bakgrunn av flere undersøkelser fra norske fjorder og den svenske vestkyst, er det utarbeidet en fordelingsnøkkel for forholdet mellom antall rødalger, brunalger grønnalger i uforurensede fjorder og kyststrøk. "Normalintervallene" er satt til R : B : G = (45 % ± 10 %) : (35 % ± 10 %) : (15 % ± 5 %). Forholdet mellom de tre algeklassene endres med miljøforholdene (Bokn 1978).

2.3 BLØTBUNNSFAUNA OG SEDIMENTER

2.3.1 Stasjoner og prøvetaking

Bunnprøvene ble tatt i indre Harkmarkfjorden mellom Harkmark og Lian og i ytre fjord mellom Brødøy og Selvåg (**figur 3**). I indre fjord (BL1) ble det tatt prøver på 5 og 10 m dyp, mens det i ytre fjord (BL3) ble tatt prøver på 3.5 og 10 m dyp. Lokalisering av stasjonene er nærmere beskrevet i Vedlegg D. Feltinnsamlingen ble gjennomført 16. september 1997.

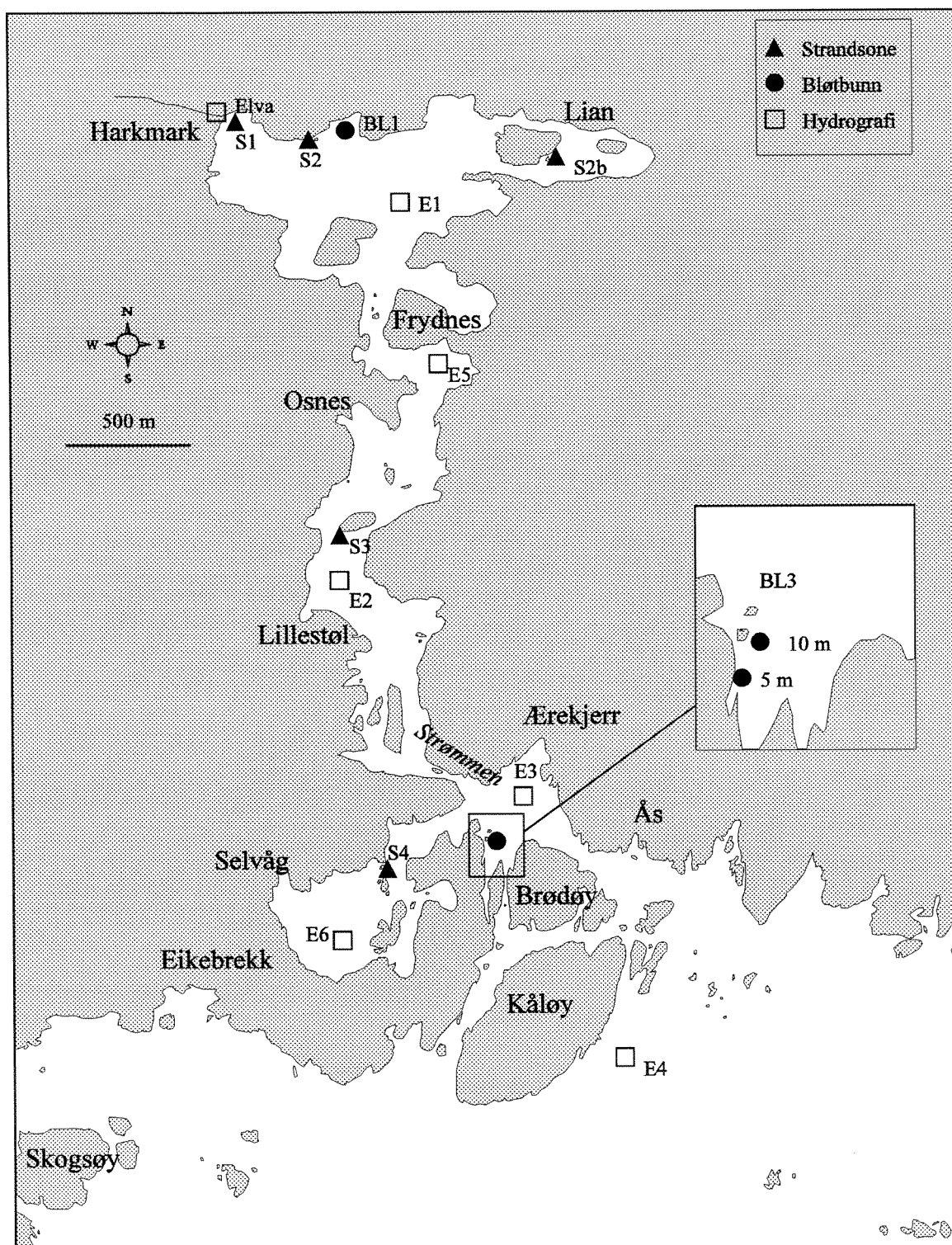
Prøvene ble tatt med en håndoperert 15 x 15 cm Ekman bunngrabb. En delprøve av overflatesedimentet fra hver stasjon (lokalitet og dyp) ble tatt av for analyse. Under prøvetakingen ble det gjort en visuell beskrivelse av bunnsedimentet og det ble kontrollert for innhold av hydrogensulfid (H₂S).

I tillegg til sedimentprøvene ble det på hver stasjon tatt fire parallelle grabbhugg for analyse av bunnfauna. Faunaprøvene ble siktet på 1 mm sikt og restmaterialet konserverert i 4 % nøytralisert formaldehydløsning. I denne rapporten er kun tilstedeværelse av fauna angitt.

2.3.2 Analyser

Prøvene ble analysert for partikkelsammensetning (innhold av finmateriale) og organisk innhold. Finmaterialet (partikler <0.063 mm) ble bestemt ved våtsikting. Organisk innhold ble bestemt som totalt organisk karbon (TOC) og totalt nitrogen (TN). TOC og TN ble analysert ved en elementanalysator etter at uorganiske karbonater var fjernet med saltsyre.

Sedimentene er karakterisert i henhold til SFTs system for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann (Molvær et al. 1997). For klassifiseringen omregnes (normeres) de målte TOC-verdiene til teoretisk 100% finstoff i sedimentet. Klassifiseringstabellen er vist i **tabell 6**.



Figur 3. Stasjoner for undersøkelser av hydrografi, bløtbunnsfauna og strandsonevegetasjon høsten 1997.

3. Resultater og vurderinger

3.1 VANNMASSER

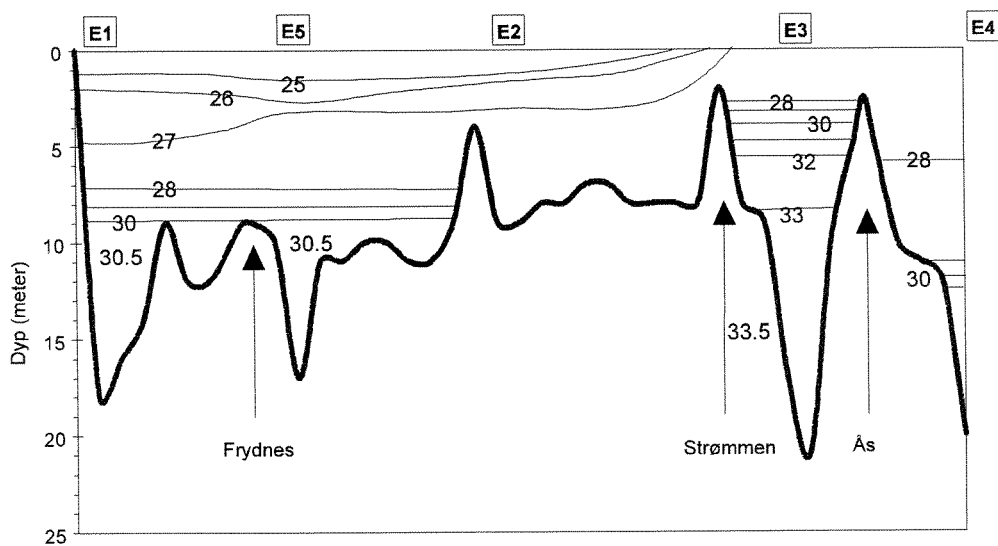
3.1.1 Hydrografi

En saltholdighetsgradient ble observert ved Strømmen hvor saltholdigheten økte fra 24-25 opp mot kystvannets 27-28 (**figur 4**) (observasjonen den 15. august ble tatt på stigende vannstand). Denne situasjon var mer eller mindre utviklet i hele måleperioden. Mens de dypere vannlag hadde en saltholdighet over 33 i de ytre deler av fjorden, var den litt over 30 i de indre delene.

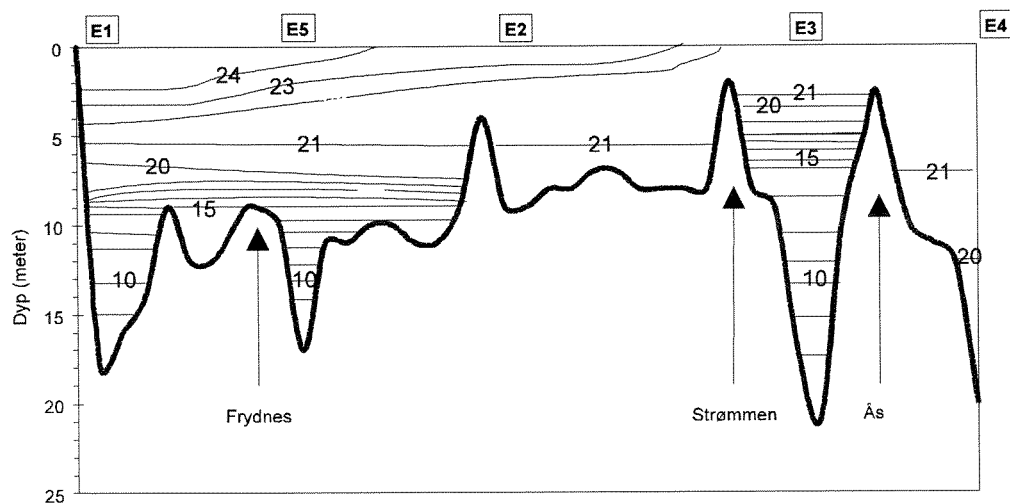
Overflatesaltholdigheten i fjorden er også påvirket av den lokale ferskvannstilførselen, som er 1.7 m³/s (Baalsrud et. al. 1991). Den varme ettersommeren ga høye temperaturer i fjorden (**figur 5**), med over 24 grader i overflaten og omkring 20 grader i resten av vannmassen, unntatt de dypeste områdene hvor temperaturen sank til ca. 9 grader.

Utover høsten avtok temperaturen mens saltholdigheten økte som følge av innstrømmende kystvann. Dette var særlig tydelig i midten av september da nytt vann strømmet inn i fjorden og påvirket vannmassene fra overflaten til vel 10 meters dyp i det indre bassenget og helt ned til bunnen på ca. 20 meters dyp i det ytre bassenget (**figur 6**, **figur 7** og **figur 8**). Slike vannfornyelser (av varierende størrelse) kan trolig forekomme i den grunne fjorden året rundt, men er mest sannsynlig vinterstid. De grunne og smale terskelområdene begrenser imidlertid fornyelsen, slik at de innerste delene (innenfor Strømmen) har dårligere vannfornyelse enn det ytre bassenget.

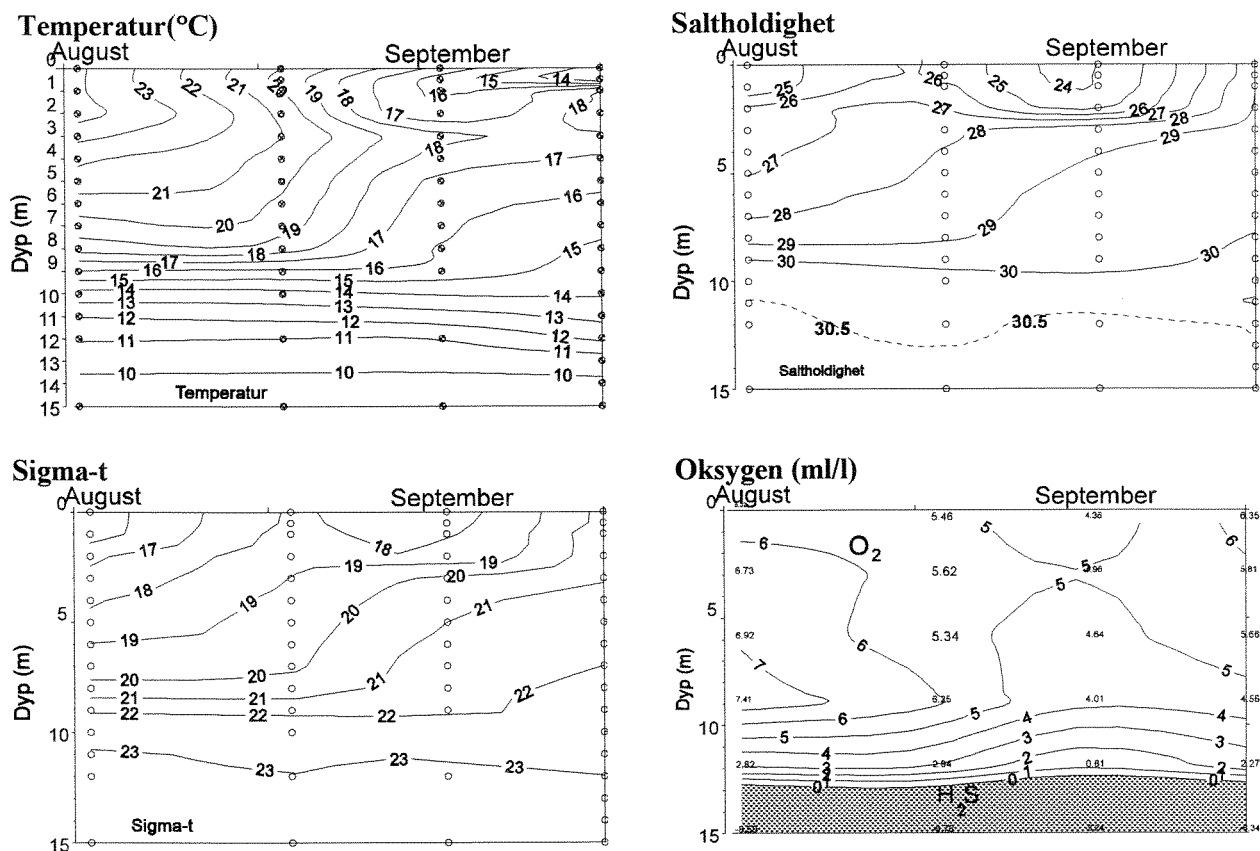
Oppholdstiden til *overflatevannet* (0-2 meters dyp) er beregnet til ca. 5 døgn for området innenfor Strømmen og ca. 1-2 døgn for området mellom Strømmen og Ås (Vedlegg B, tabell4). *Dypvannets* (vannmassene under terskeldyp) oppholdstid innenfor Strømmen er beregnet til ca. 20 måneder. Her er det regnet med en fullstendig utskiftning av alt bunnvann under terskeldyp. Oppholdstiden for vannmasser mellom 0-10 meters dyp er adskillig kortere. Ut fra foreliggende observasjoner er det trolig at oppholdstiden ligger under et år for den indre delen av fjorden, mens den ytre delen har større utskiftningsfrekvens. For å få en oppfatning av dette må det foretas observasjoner med jevne mellomrom over et år.



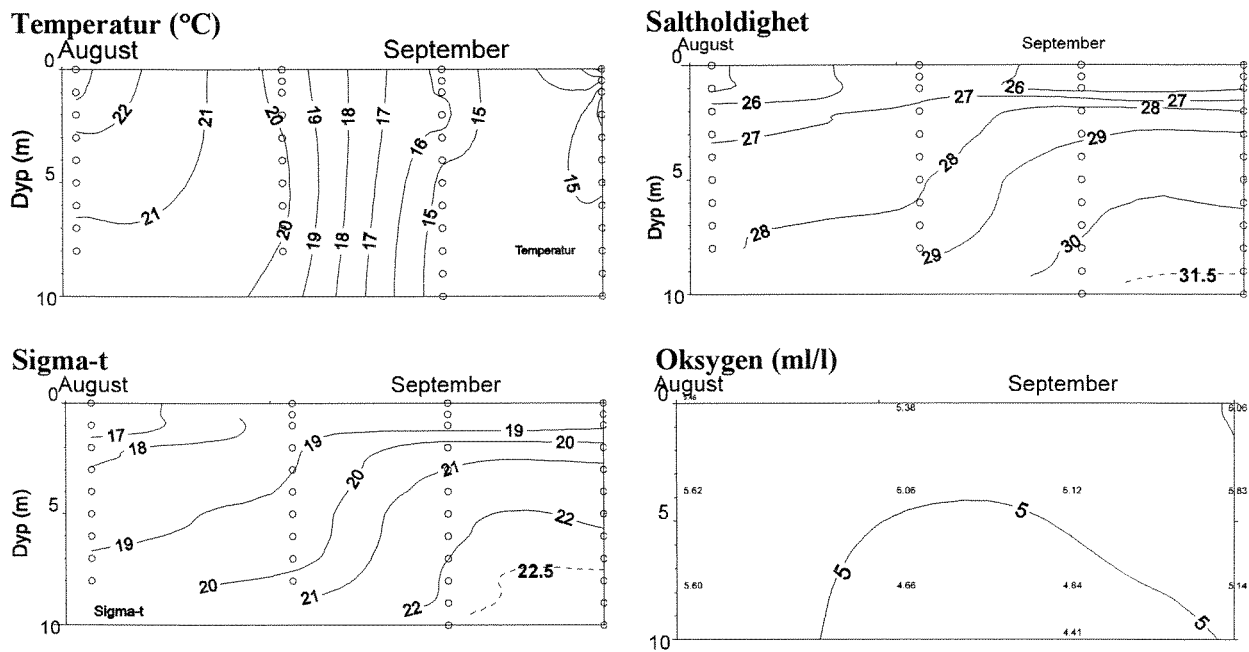
Figur 4. Saltholdigheten i Harkmarkfjorden den 15.8.97.



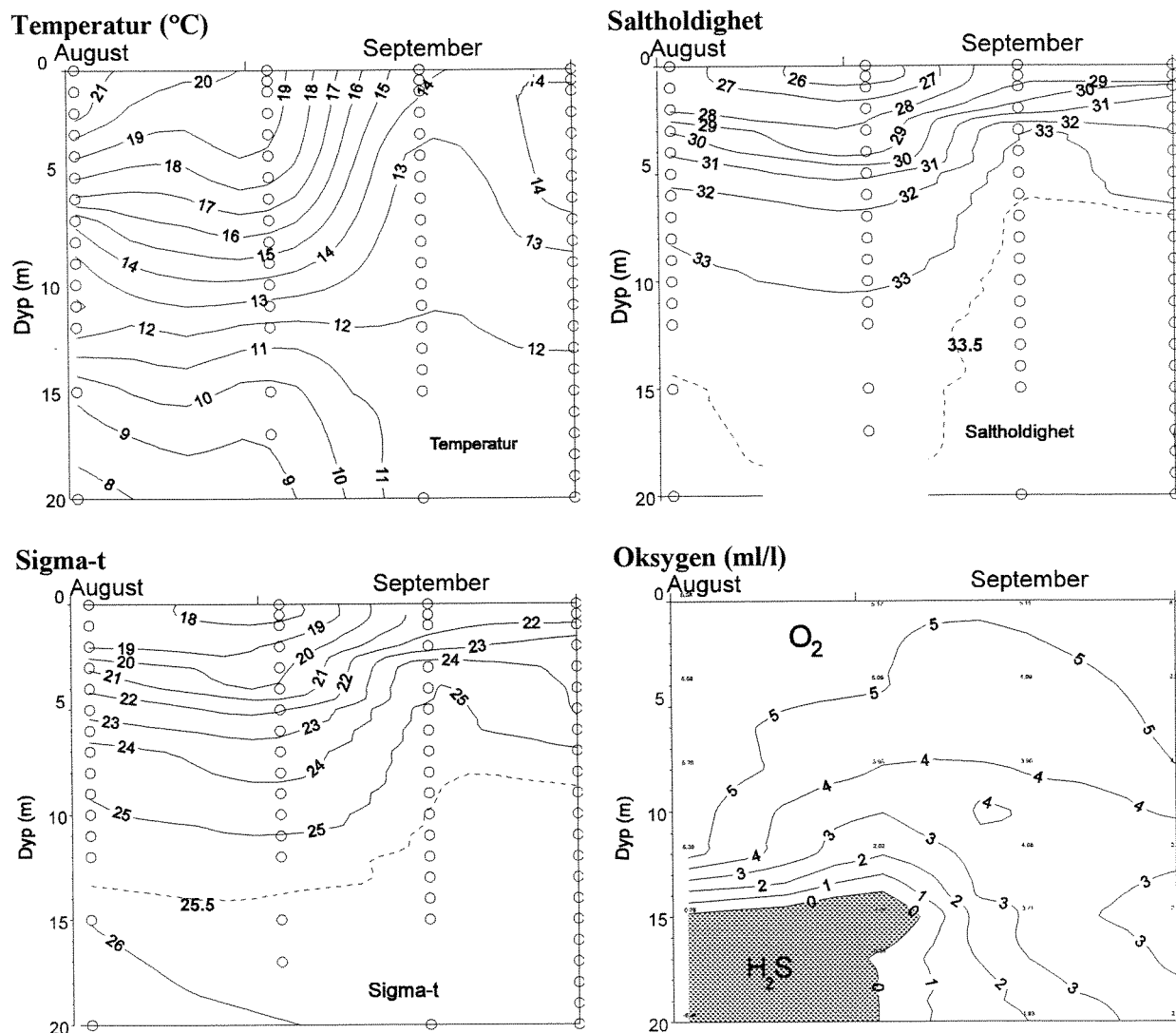
Figur 5. Temperatur (°C) i Harkmarkfjorden den 15.8.98.



Figur 6. Temperatur (°C), saltholdighet, tetthet (sigma-t) og oksygen (ml/l) på stasjon E1 i indre del av Harkmarkfjorden, august og september 1997.



Figur 7. Temperatur (°C), saltholdighet, tetthet (sigma-t) og oksygen (ml/l) på stasjon E2 i midtre del av Harkmarkfjorden, august og september 1997.



Figur 8. Temperatur (°C), saltholdighet, tetthet (sigma-t) og oksygen (ml/l) på stasjon E3 i ytre del av Harkmarkfjorden, august og september 1997

3.1.2 Oksygenforhold.

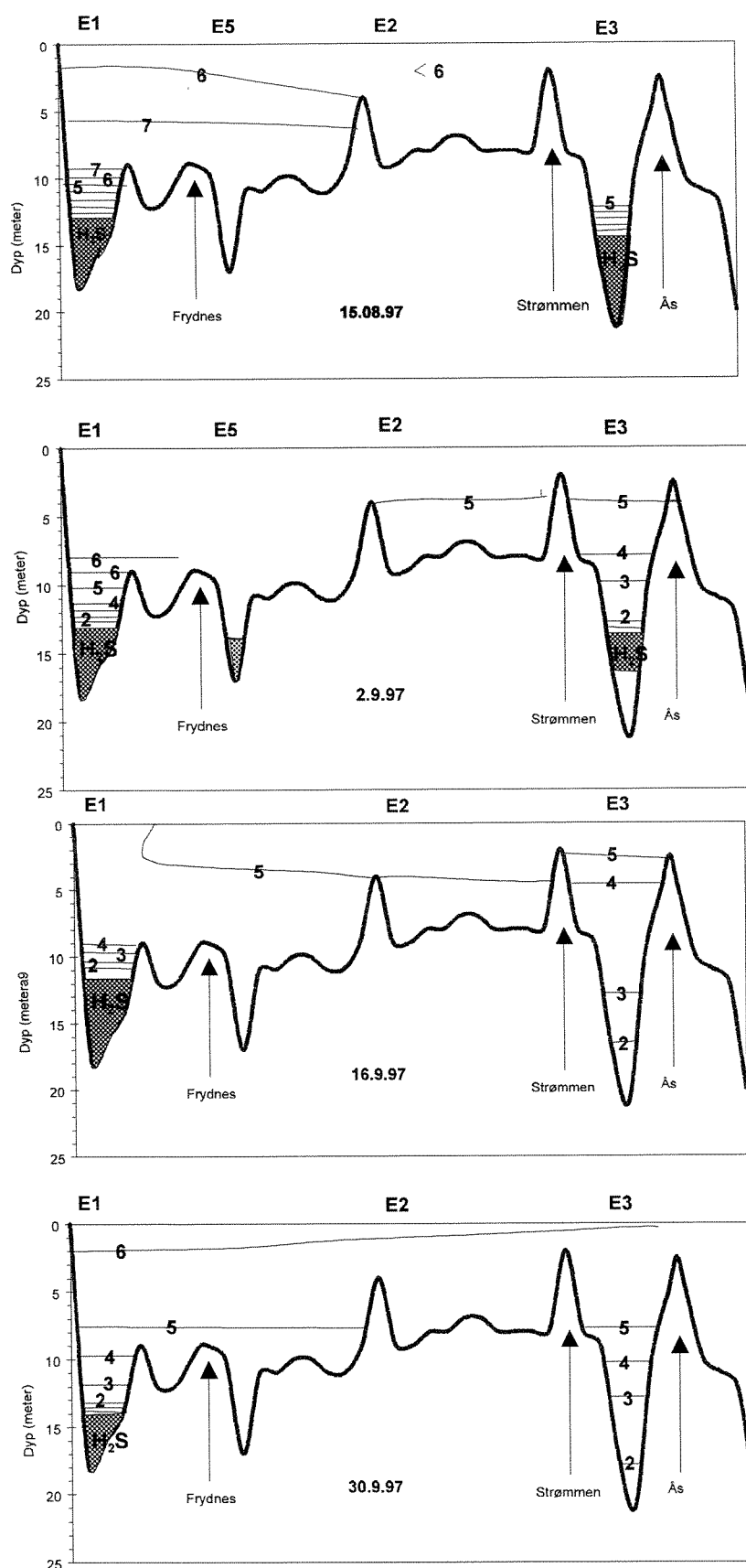
Høsten 1997 var det gjennomgående meget bra oksygenforhold i fjorden ned til ca. 10 meters dyp (**figur 9**. Se Vedlegg A for rådata). Under 10 meters dyp var det mindre gode oksygenforhold, dvs. oksygenkonsentrasjoner lavere enn ca. 3.5 ml/l. Bunnvannet hadde tildels meget lave oksygenkonsentrasjoner, og i samtlige bassenger ble det registrert hydrogensulfidholdig bunnvann i løpet av prøvetakingsperioden. Den innerste fjorddelen hadde hydrogensulfidholdig bunnvann i hele prøvetakingsperioden. Dette er en situasjon som ligner på de forhold som tidligere er observert i perioden 1979-89 (Molvær 1992). Bedømt etter SFTs klassifiseringssystem (Molvær et al. 1997) vil derfor fjorden havne i tilstandsklasse V (*meget dårlig*). Denne tilstand kan være en naturlig tilstand som følge av topografisk begrenset vannutskiftning.

Hensikten med undersøkelsene var bl.a. å få beregnet oksygenforbruket i fjorden. To faktorer har imidlertid vanskeliggjort beregningene i Harkmarkfjorden. For det første var det vannutskiftninger i fjorden i løpet av observasjonsperioden slik at helt stagnante forhold ikke ble observert (beregningene forutsetter stagnante forhold mellom to observasjoner). For det andre var det nok lys for fotosyntese nesten ned til bunnen, slik at oksygen kan ha blitt produsert gjennom fotosyntese i tillegg til den naturlige tilførselen ved vannutskiftninger (fotisk sone er ca. 2.5 * siktedypet, som var ca. 7 meter i fjorden).

For å se på midlere forhold har vannkvalitetsmodellen Fjordmiljø blitt brukt. Som for de fysiske beregningene knytter det seg relativt stor usikkerhet til slike modellresultater, men de må likevel antas å gi indikasjoner på forholdene i fjorden.

Teoretisk beregnet oksygenforbruk er ca. 3-4 ml/l/måned for fjorden innenfor Strømmen. Dette er en høy verdi, mer enn dobbelt så mye som beregnet for andre fjorder langs Skagerrakkysten (Aure og Danielsen 1993). Fjorden skiller seg imidlertid fra de andre fjordene i topografi og bunn dyp (spesielt trange og grunne terskler samt at fjordens totale dyp bare var ca 20 meter) som kan være en rimelig forklaring på forskjellen. Våre observasjoner tyder på at oksygenforbruket kan være noe lavere enn det som ble beregnet teoretisk. Forsiktig bruk av observasjoner hvor vannmassene var tilnærmet stagnante tyder på at oksygenforbruket i bunnvannet lå mellom 2- 3 ml/l/måned. Dette er også en høy verdi.

Mesteparten av oksygenforbruket i fjorden skyldes ikke lokale tilførsler, men nedbrytning av organisk karbon tilført fjorden med innstrømmende kystvann (Vedlegg B). De lokale tilførslene som belaster vannmassene under terskeldyp, utgjør ca. 8 % av beregnet oksygenforbruk. Med kun naturlige tilførsler vil derfor fjordens bunnvann fortsatt være anoksisk i perioder. En reduksjon i totalbelastningen vil likevel gi forbedring av forholdene, mens tilsvarende økning i lokale tilførsler vil gi dårligere forhold.



Figur 9. Oksygenkonsentrasjonen (ml/l) i Harkmarkfjorden høsten 1997.

3.1.3 Overflatelagets vannkvalitet

Indikasjoner på overflatevannets kvalitet er innhentet ved å ta stikkprøver av Tot-P, Tot-N, klorofyll-*a* (et mål på planteplanktonbiomassen) og siktedyp. Dette er de sentrale parametre i SFTs klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystvann (Molvær et al. 1997). For å bedømme vannkvaliteten skal observasjoner egentlig innsamles i perioden juni-september (sommersesong) eller i november til februar (vintersesong) og med relativt stor hyppighet (min. 10 ganger). Formålet med høy observasjonsfrekvens er nær knyttet til vannmassenes oppholdstid, samt for bruk i overvåkingssammenheng når eventuelle forandringer skal kunne avsløres med en høy grad av sannsynlighet. De fire stikkprøvene gir således kun indikasjoner på tilstanden. Alle rådata er vist i Vedlegg A1.

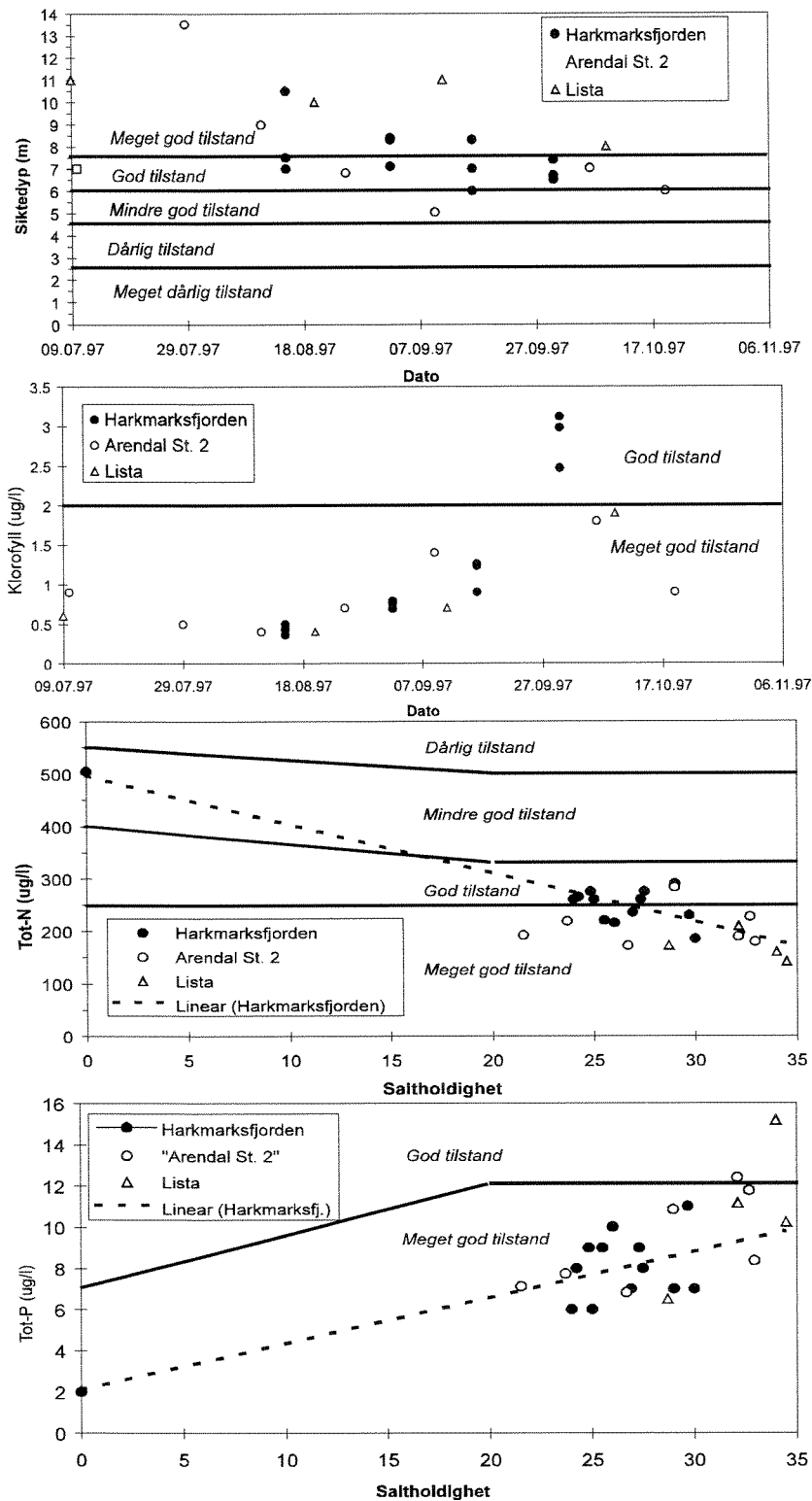
Overflateobservasjonene fra fjorden er vist i **figur 10** og sammenlignet med observasjoner fra kystvannet på to stasjoner (Arendal St. 2 og Lista) i omtrent samme periode (data fra kystovervåkingsprogrammet, NIVA/HFF in prep.). Samtlige observasjoner i Harkmarkfjorden ligger i tilstandsklasse II (*god tilstand*) eller I (*meget god tilstand*), men observasjonen av Tot-N i elva innerst i fjorden havnet i tilstandsklasse III (*mindre god tilstand*) (bare tatt én observasjon). Tot-N konsentrasjonen avtok med saltholdigheten i fjordens overflatelag, og tilsier at nitrogentilførslene fra elva influerte de indre delene av fjorden. Dette fremgår også ved å sammenligne med kystvannet, som hadde lavere nitrogenkonsentrasjoner enn Harkmarkfjorden.

Tot-N/P forholdet i Harkmarkfjorden var ca. 30:1 (vektbasert), med ekstremer i elva. Resultatene viser at N/P-forholdet var noe høyere enn i kystvannet, som hadde et gjennomsnittlig forhold på 23:1 ved Arendal St. 2 og 17:1 ved Lista (vektbasert). På stasjon E6 ved Eigebrekk var Tot-N/P forholdet lavere enn vanlig i kystvann, og kan indikere en lokal tilførsel av fosfor (f.eks kloakk). Avløpsvann har en relativt større fosforkonsentrasjon i forhold til det som er vanlig for sjøvann.

3.1.4 Vurderinger

Overflatevannet i Harkmarkfjorden var i tilstandsklasse II (*god tilstand*) til I (*meget god tilstand*), bedømt etter SFTs klassifiseringsystem for næringssalter. Prøven fra elvevannet indikerte imidlertid at tilstanden var dårligere her, med høye nitrogenverdier (tilstandsklasse III -*mindre god tilstand*). Det er trolig forholdene i elvevannet som resulterer i relativt høyt N/P- forhold i indre del av fjorden sammenlignet med kystvannet utenfor. Dette avvik skyldes delvis naturgitt forhold (mye nitrogen i forhold til fosfor i ferskvann), men elvevannets tilsynelatende tilstand (tilstandsklasse III -*mindre god*) tyder på ekstra tilførsler av nitrogen.

Oppholdstiden på fjordens overflatelag (0-2 m) er trolig tilstrekkelig lang for at lokale utslipp av næringssalter vil gi full effekt inne i fjorden. Den kan derfor ikke bli betraktet som noen god resipient. En reduksjon av dagens tilførsler til bare de naturlige tilførslene ville kunne øke siktedypet med nesten 10 %, dvs med opp til 0.6 meter i gjennomsnitt (Fjordmiljø). Ettersom overflatevannet i den innerste delen er potensielt fosforbegrenset, som følge av overskudd i tilførsel av nitrogen, vil utslipp av fosfor til denne delen av fjorden ha spesielt stor effekt.



Figur 10. Observasjoner av siktedyp samt målinger av klorofyll-*a*, Tot-N, og Tot-P i Harkmarkfjordens overflatevann (0-2 m), sammenlignet med observasjoner i tilsvarende tidsrom (august- september) fra kystovervåkingsprogrammet (stasjoner utenfor Arendal (St. 2) og Lista. Tilstandsklasser er angitt.

3.2 STRANDSONEN

3.2.1 Artsutvalg

Bilder av algevegetasjonen på de enkelte stasjoner er vist i **figur 11** og **figur 12** og de vanligste enkeltarter er vist i **tabell 7**.

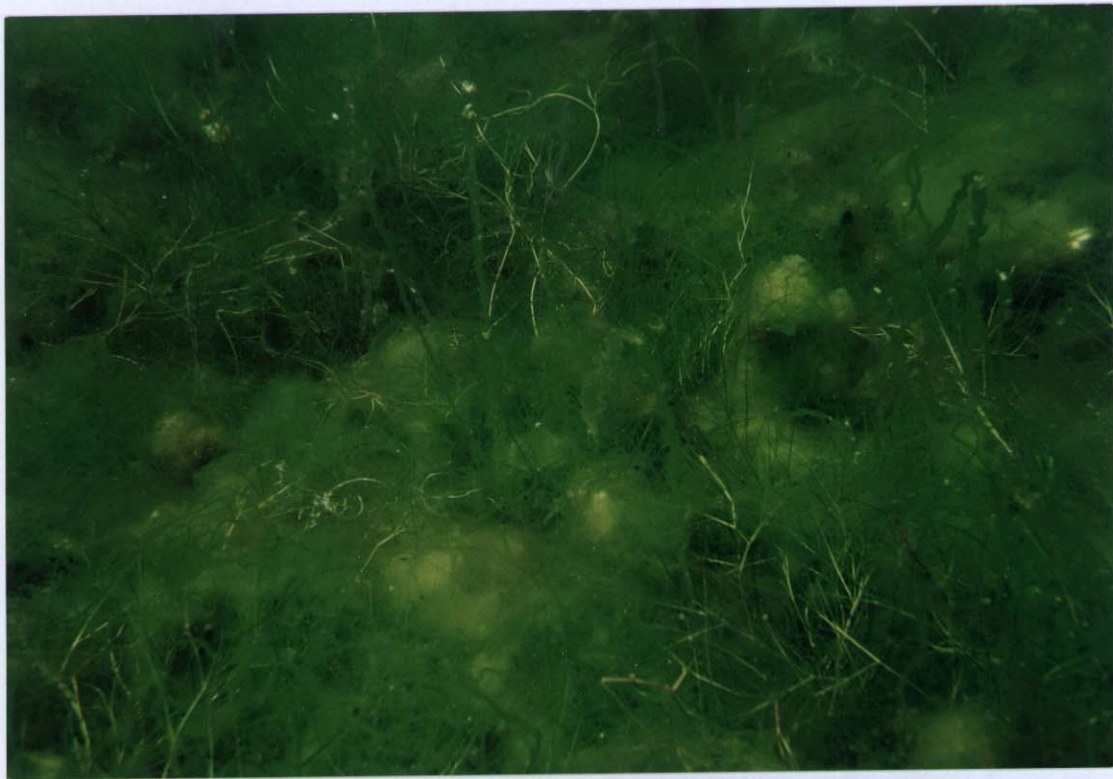
S1 Elvemunning. Stasjonen ligger i vestre del av indre fjordbasseng, ved utløpet av elva fra Djubovannet. På steingrunnene i elveutløpet var det et tett dekke av tarmgrønske (*Enteromorpha spp.*), grønndusk (*Cladophora sp.*) og stedvis skruhavgras (*Ruppia*) (**figur 11**). Ellers var det lite vegetasjon på denne stasjonen.

S2 Harkmark nord. Stasjonen var karakterisert med et vegetasjonsfritt belte de øverste 0-20 cm, derunder et tett dekke av en liten rødalge -polldokke (*Polysiphonia hemispherica*). Andre registrerte arter var sjøris (*Ahnfeltia plicata*), krusflik (*Chondrus crispus*), svartkluft (*Furcellaria lumbricalis*), pollris (*Gracilaria verrucosa*), krusblekke (*Phyllophora pseudoceranooides*), tarmgrønske, sjøstjerner (*Asterias rubens*) og store mengder juvenile blåskjell (*Mytilus edulis*) samt noe hjerteskjell (*Cardium edule*). Blæretang (*Fucus vesiculosus*) og grisetang (*Ascophyllum nodosum*) vokste enkeltvis på 1-2 meters dyp.

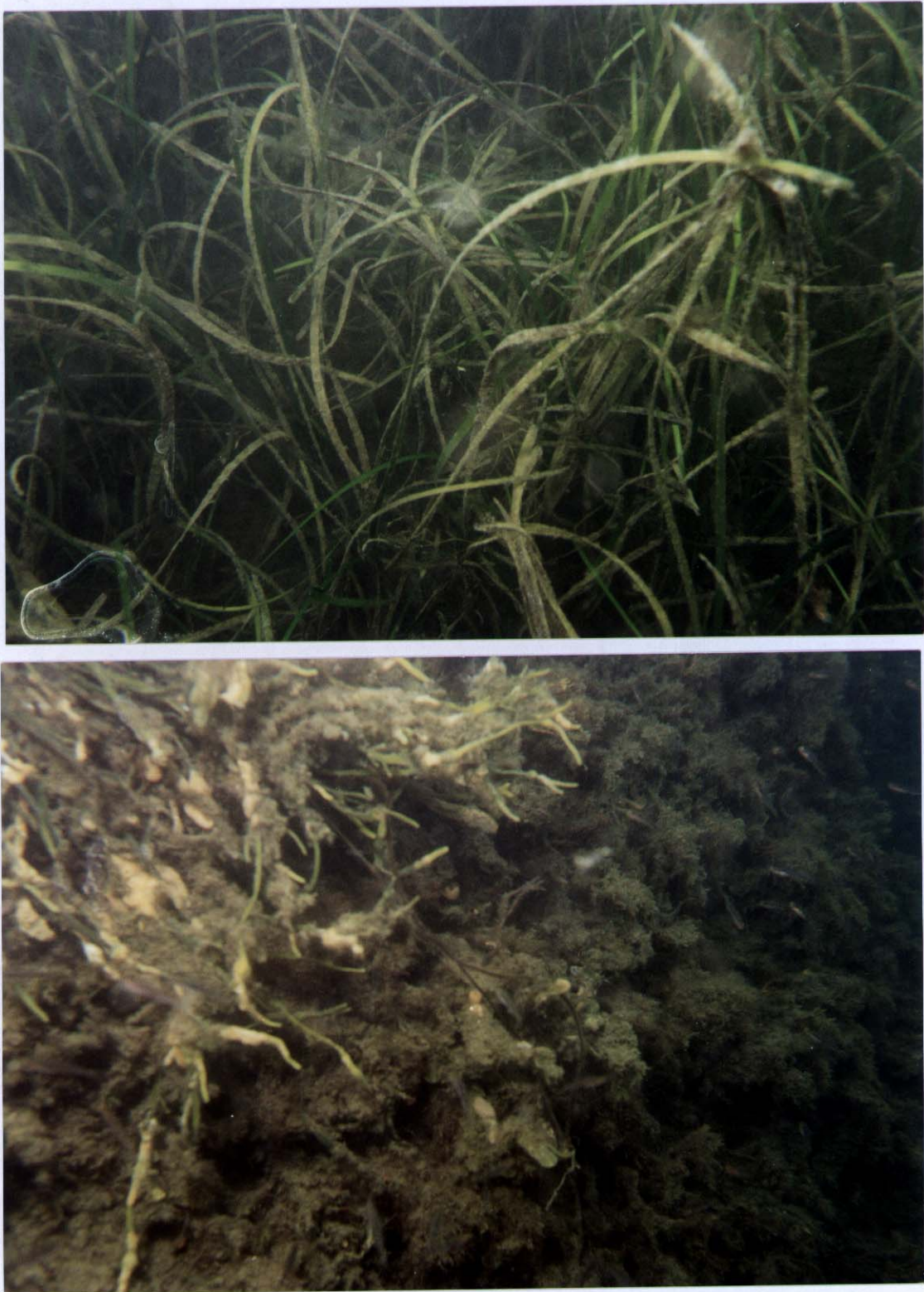
S2b Lian. Det ble foretatt en forenklet registrering fra båt på denne stasjonen. Bunnen bestod av fjell og mudderbunn. Mudderet luktet sterkt av hydrogensulfid selv på grunt vann. Trådformete grøninalger vokste i tette tepper på vannoverflaten og langs bunnen og utgjorde et ensformig samfunn (**figur 11**). Det ble også registrert spredte individer av pollris og skruhavgras, blåskjell og hjerteskjell, og enkelte individer av ålegras (*Zostera marina*) og blæretang. Området synes å være tilholdssted for mange svaner.

S3 Osnes. Stasjonen ligger midt i fjordsystemet. Fra 1,5 - 2 meters dyp var det mudderbunn med slak helning og tett vegetasjon av ålegras og skruhavgras (**figur 12**). På fjell over mudderbunnen ble det registrert mange små arter som polldokke (*Polysiphonia hemispherica*), pollris, rødkluft (*Polyides rotundus*), rekeklo (*Ceramium spp.*) og grønndott (*Spongomorpha sp.*). Blæretang var vanlig på fjellgrunn. Av fauna var sjøstjerner og kråkeboller vanlige. Det var svært få grøninalger og trådformete brunalger tilstede, men stasjonen var preget av stor nedslamming.

S4 Selvåg. Stasjonen ble plassert på en fjelltange i ytre del av fjorden, mellom Strømmen og Selvåg. Stasjonen var beskyttet, ved innløpet til et avlukket basseng. Det var svært mye sedimentert materiale på stasjonen og løse sedimenter på bunnen. Sagnetang (*Fucus serratus*), blæretang og grisetang var vanlige, men var svært begrodd av påvekstalger. Påvekstalgene var fullstendig dekket av sedimentert materiale (**figur 12**). De vanligste artene utenom tang var svartkluft, pollris, rugl (*Corallinaceae* indet), stilkdokke (*Polysiphonia elongata*), svartdokke (*Polysiphonia fucooides*), krusflik, sekkedyrkolonier (*Botryllus schlosseri*) og strandsnegl (*Littorina littorea*).



Figur 11. Algevegetasjonen ved stasjon Elva (øverst) og S2b Lian. Bildet fra elva viser skruehavgras (*Ruppia*), grønndusk og tarmgrønske. Det nederste bildet viser flytende algetepper som ble registrert ved Lian.



Figur 12. Bilder tatt fra gruntvannsområdene ved Osnes(øverst) og Selvåg. Bildet fra Osnes viser ålegrasvegetasjon med noe sedimentert materiale på bladene. Bildet fra Selvåg er tatt på ca 30 cm dyp og viser grisetang som er dekket av påvekstalger og store mengder sedimentert materiale.

Tabell 7. De vanligste artene registrert i Harkmarkfjorden 2. september 1997. Tegnforklaring: d= dominerende, v= vanlig, s= spredt, e= enkeltfunn. Resultater fra befarings på stasjon S2 den 15. august er også tatt med.

| STASJONER | S1 Elva | S2 Harkm. | S2b Lian | S3 Osnes | S4 Selvåg | |
|----------------------|------------|--------------|-------------|-------------|--------------|----------------------------------|
| RØDALGER | | | | | | |
| Sjoris | - | v | - | - | - | <i>Ahnfeltia plicata</i> |
| Krusflik | - | s | - | - | s | <i>Chondrus crispus</i> |
| Svart/rødkluft | - | s | - | s-v | v | <i>Furcellaria/Polyides</i> |
| Poliris | - | s | s | s-v | s | <i>Gracilaria verrucosa</i> |
| Pepperalge | - | - | - | - | s | <i>Laurentia pinnatifida</i> |
| Krusblekke | - | s | - | - | - | <i>Phyllophora pseudocer</i> |
| Polldokke | - | d | - | d | - | <i>Polysiphonia hemispherica</i> |
| Rekeklo | - | - | - | s | * | <i>Ceramium sp.</i> |
| Stilkdokke | - | - | - | - | s | <i>Polysiphonia elongata</i> |
| Svartdokke | - | - | - | - | s | <i>Polysiphonia fucoides</i> |
| BRUNALGER | | | | | | |
| Grisetang | - | e-s | - | - | v | <i>Ascophyllum nodosum</i> |
| Sli | s | s | - | * | - | <i>Ectocarpales indet</i> |
| Sagtang | - | - | - | - | s-v | <i>Fucus serratus</i> |
| Blæretang | - | s | - | s-v | s | <i>Fucus vesiculosus</i> |
| GRØNNALGER | | | | | | |
| Viklesnøre | * | v-d | - | - | - | <i>Chaet. mediterranea</i> |
| Grlønndusk/dott | d | - | d | s | e | <i>Cladoph./Spongomorpha</i> |
| Tarmgrønnske | d | v | - | - | - | <i>Enteromorpha sp</i> |
| Grønnhår | * | s | - | - | - | <i>Ulothrix flacca</i> |
| ANDRE GRUPPER | | | | | | |
| Skruehavgras | s | s | s | s | - | <i>Ruppia spiralis</i> |
| Ålegras | - | - | - | d | s | <i>Zostera marina</i> |
| FAUNA | | | | | | |
| Sjøstjerne | - | v | - | s | e | <i>Asterias rubens</i> |
| Hjerteskjell | v | s | s | - | - | <i>Cardium edule</i> |
| Ishavsstjerne | - | s | - | e | - | <i>Marthasterias glacialis</i> |
| Blåskjell | v | v | s | - | - | <i>Mytilus edulis</i> |
| Sekkedyrkoloni | - | - | - | s | v | <i>Botryllus schlosseri</i> |
| Strandsnegl | - | - | - | - | s | <i>Littorina littorea</i> |

3.2.2 Artsantall og diversitet

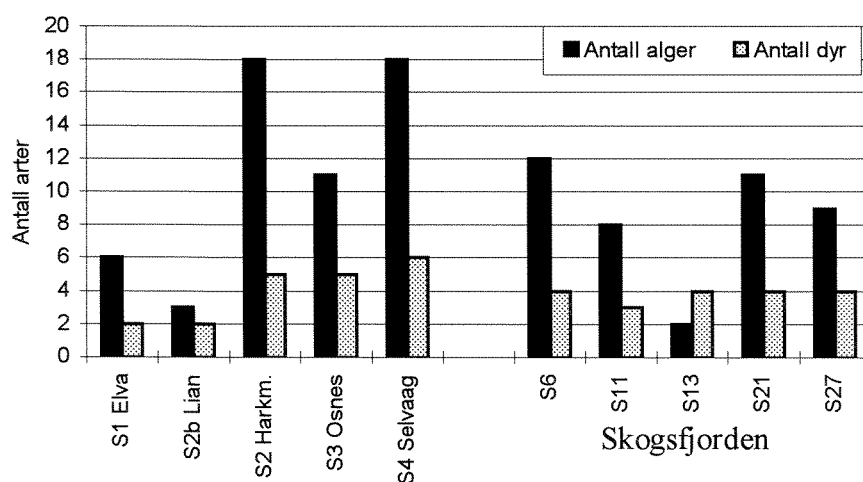
Tilsammen ble det registrert 63 arter i Harkmarkfjorden (se tabell 7 og vedlegg C). Av disse var 38 alger, 11 fjæredyr og to høyere planter. Antall arter kan karakteriseres som høyt. Til sammenligning ble 26 arter registrert i Skogsfjorden i 1995 (Jacobsen et al. 1996).

Antall arter var størst på S2 Harkmark i indre fjord og S4 Selvåg i ytre fjord (18 alger), mens det var svært få arter i elveutløpet (S1) og i østre del av indre fjordbasseng (S2b Lian) (figur 13). Den store forskjellen i antall arter mellom stasjonene kan hovedsakelig knyttes til forskjeller i substratet og fysiske forhold. Ved S1 Elva var det små og mellomstore stein, og stasjonen var sterkt ferskvannspåvirket. Dette setter klare begrensninger for vegetasjonen, og artsantallet vil under alle omstendigheter være lavt.

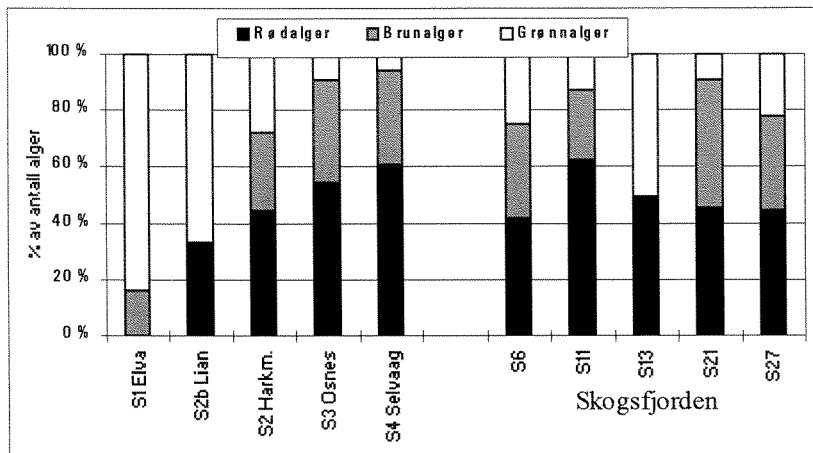
Stasjon 2b Lian hadde mye myke sedimenter som ikke er egnet for makroalgevekst. Men her var også fast fjell dominert av hurtigvoksende arter som vitner om stor næringstilgang. Stasjonene S3 Osnes i midtre fjord og S4 Selvåg i ytre fjord hadde begge fast fjell ned til ca 1 meters dyp og myk mudderbunn i områdene rundt. Artsantallet var høyere enn for S1 Elva og S2b Lian. S3 Osnes i midtre fjord kan sammenlignes med flere av stasjonene i Skogsfjorden (**figur 13**). Stasjon S2 Harkmark var den eneste stasjonen hvor substratet var dominert av fjell. På deler av stasjonen var det også brådypt. Dette gir større vekstmuligheter for makroalgene enn på stasjoner som har mye myk mudderbunn, og er trolig årsaken til det relativt høye artsantallet på stasjonen.

Den prosentvise fordelingen mellom rødalger, brunalger og grønnalger er vist i **figur 14**. Fordelingen var normal i ytre del av fjorden med overvekt av rødalger og brunalger, og kun en beskjeden andel grønnalger. Innover i fjordsystemet ble det en økende andel grønnalger og minkende andel rødalger. Dette skjer trolig p.g.a. økt ferskvannspåvirkning. Grønnalgeprosenten var svært høy i de indre deler av fjorden. I Skogsfjorden ble det også registrert høy andel grønnalger på enkelte stasjoner.

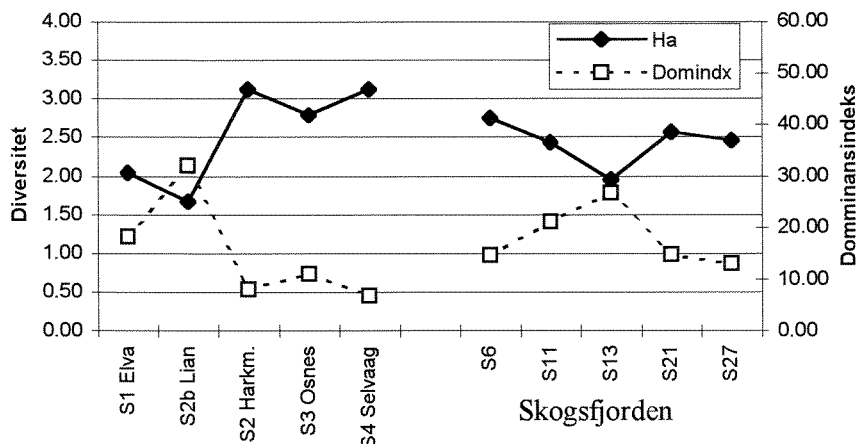
S1 Elva og S2b Lian hadde lav diversitet (artsmangfold) og høy dominans (**figur 15**) mens stasjonene S2 Harkmark, S3 Osnes og S4 Selvåg hadde høy diversitet og lav dominans. Det var ingen stor forskjell mellom stasjonene S2, S3 og S4 selv om de lå fra indre til ytre fjord.



Figur 13. Antall alger og dyr som ble registrert på de enkelte stasjonene i Harkmarkfjorden i 1997, sammenlignet med artsantall fra Skogsfjorden i Mandal (Jacobsen et al. 1996).



Figur 14. Fordeling mellom algegruppene på de enkelte stasjonene i Harkmarkfjorden sammenlignet med fem stasjoner i Skogsfjorden.



Figur 15. Diversitet (Ha) og dominansindeks på de enkelte stasjonene i Harkmarkfjorden sammenlignet med fem stasjoner i Skogsfjorden.

3.2.3 Vurderinger

De fleste marine planter tåler saltholdigheter mellom 16-50 ‰, men hyppige og store svingninger i saltholdighet skaper stress for de fleste arter. Noen arter, bl.a. flere tangarter, overlever i ferskvannspåvirkede fjorder ved å vokse på dypere vann enn normalt, hvor saltholdigheten er høyere og mer stabil. De neddykket tangplantene som ble observert i Harkmarkfjorden kan tyde på at det i perioder er lav saltholdighet i overflaten; lavere enn det som ble observert høsten 1997. Det var stor andel grønnalger i indre del av fjorden. Mange grønnalger er hurtigvoksende og tåler store variasjoner i temperatur og saltholdighet. De er også effektive i å utnytte høye næringssaltkonsentrasjoner, som gir dem konkurransefortrinn i eutrofierte områder. Resultatene tyder på at indre del av Harkmarkfjorden var dels ferskvannspåvirket, men enkelte områder, som i østre del ved Lian viste også tydelige tegn til overgjødsling. Strandsonen var her dominert av flytende algetepper bestående av ettårige, trådformete og hurtigvoksende grønnalger som er typiske arter for eutrofierte områder. Trolig får vannmassene stadig tilført næringssalter fra næringstrike bunnområder. Selv på grunt vann var sedimentene råtne og anoksiske, som vitner om at mye organisk materiale opphopes i dette området. På fast fjell i

hovedbassenget var imidlertid artsantallet og diversiteten høy, også sammenlignet med andre fjordområder.

I ytre del av fjorden var det enkelte tegn til overgjødning med mye påvekst (epifytter) på tangen og svært stor grad av nedslamming. Det er grunn til å tro at begroingen var ekstra stor i 1997 med de høye sommertemperaturene (over 24 °C over flere uker). Artssammensetningen var normal og diversiteten var høy til tross for nedslamming og mye påvekst av påvekst. Resultatene kan tyde på at stasjonen er i negativ utvikling.

Resultatene tyder på at overflatelaget allerede er noe overgjødslet, og dermed svært sårbart for økte tilførsler. Ved økte tilførsler vil grønnalgebegroingen i indre del av fjorden tilta og man kan forvente at artsmangfoldet i ytre del av fjorden vil bli redusert.

3.3 SEDIMENTER

3.3.1 Beskrivelse av sedimentene

På alle prøvetakingsstedene var det brunsort, leiret bunnsediment (**tabell 8**). I indre fjord (BL1) var det svak lukt av hydrogensulfid på 5 m dyp, mens det var sterk lukt på 10 m dyp. Sedimentet inneholdt planterester fra land og en god del sagflis. Det var endel mudderlevende rødalger (*Gracilaria*) og pergamentaktige rør av rørbyggende mark i prøvene. Bortsett fra innholdet av sagflis var sedimentet som forventet i en innelukket fjord. I ytre fjord var det sterk lukt av hydrogensulfid på grunt vann (3.5 m dyp), men ingen lukt på 10 m. Sedimentet inneholdt planterester fra land og noe rester av dødt ålegress. Det var ikke synlige forurensningsobjekter i prøvene. Den grunne prøven ble tatt i et lite basseng, hvor det tydeligvis må være utilstrekkelig vannutskiftning. Både i indre og ytre fjord var det grus, mineralsand og innslag av skjellsand i prøvene. Skjellsanden besto av forvitrede rester av muslinger og småsnegl.

Bunnsedimentene hadde høyt organisk innhold på alle prøvetakingsstedene (**tabell 9**). Dette fremkommer ved høye verdier både for organisk karbon (TOC) og for nitrogen (TN). I henhold til SFTs system for klassifisering av miljøkvalitet faller alle TOC-målingene i tilstandsklassene V (*meget dårlig tilstand*) (Molvær et al. 1997). Forholdstallet mellom karbon og nitrogen (C/N-forholdet) var i intervallet 11-15.

C/N-forholdet kan brukes som en indikator på hva det organiske materialet i sedimentet består av og hvilken opprinnelse det har. Landplanter og fastsittende alger inneholder forholdsvis lite nitrogen og har C/N-forhold >10 . Marint plankton er forholdsvis nitrogenrikt og har et forholdstall på 6-8. I kystområder som mottar endel organiske tilførsler fra land er det vanlig å finne C/N-forhold omkring 10 i bunnsedimentene. Høyere C/N-forhold indikerer at tilførslene fra land dominerer. I Harkmarkfjorden var det nokså høyt C/N-forhold i indre fjord. Dette viser klart innflytelsen av tilført plantemateriale, og har nok også sammenheng med innslaget av sagflis i bunnsedimentene. I ytre fjord (10 m) var det normalt C/N-forhold for kystområder.

I indre fjord (BL1) var det en forholdsvis artsrik bunnfauna både på 5 og 10 m. Børstemark og muslinger var de viktigste gruppene. I ytre fjord (St. BL3) var den grunne prøven (3.5 m) artsfattig og dominert av rundmark. På 10 m var det en noe artsfattig bunnfauna som var dominert av muslinger.

Tabell 8. Bunnprøvetaking i Harkmarkfjorden 16. september 1997: Stasjoner, dyp, observasjoner av bunnsediment og hovedkarakteristikk av bunnfauna. Lukt av hydrogensulfid (H_2S): + svak lukt, ++ moderat lukt, +++ sterk lukt.

| Lokalitet | St. | Dyp, m | H_2S | Visuelle observasjoner | Fauna |
|-------------------------|-----|--------|--------|--|--|
| Harkmark | BL1 | 5 | + | Brun finkornet mudder, noe leiret. Ganske mye sagflis og rester av plantemateriale fra land. Enkelte fragmenter av skjell (blåskjell, østers), endel døde småsnegl, endel mineralsand. Mye <i>Gracilaria</i> (rødalge) i prøven. | Artsrik: børstemark, muslinger og krepsdyr |
| | | 10 | +++ | Brun finkornet mudder, noe leiret. Endel sagflis og planterester fra land. Litt rester av døde skjell og småsnegl, noe mineralsand. Litt rødalger (<i>Gracilaria</i> og <i>Phyllophora</i>). | Artsrik: børstemark, muslinger |
| mellom Brødøy og Selvåg | BL3 | 3.5 | +++ | Brunsort mudder, noe leiret. Mye planterester fra land, trebiter og barkrester. Mye skall av døde strandsnegl, endel skjellsand og mineralsand. Endel rødalger (<i>Gracilaria</i>). | Artsfattig: hovedsakelig rundmark |
| | | 10 | - | Brunsort mudder, noe leiret. Noe finfordelte planterester fra land, litt biter av ålegress (<i>Zostera</i>). Skallrester av muslinger, litt mineralsand. Litt rødalger (<i>Gracilaria</i>). | Noe artsfattig: mye muslinger |

Tabell 9. Bunnsedimenter i Harkmarkfjorden 16. september 1997. Resultater for finpartikulært materiale (% <0.063 mm), totalt organisk karbon (TOC), totalt nitrogen (TN) og forholdstallet mellom karbon og nitrogen (C/N-forhold) er vist. Normert TOC viser TOC-verdier standardisert til 100% finpartikulært materiale. Alle prøvene faller i tilstandsklasse V - meget dårlig tilstand (normert TOC >41 mg/g) i henhold til SFTs system for klassifisering av miljøkvalitet (Molvær et al. 1997).

| Lokalitet | Stasjon, dyp | Finfraksjon <0.063 mm | TOC mg/g | TN mg/g | C/N-forhold | Normert TOC | SFT Klasse |
|---------------|--------------|-----------------------|----------|---------|-------------|-------------|------------------|
| Harkmark | BL1, 5 m | 39.3 | 71.5 | 4.8 | 14.9 | 82 | V 'meget dårlig' |
| | BL1, 10 m | 57.7 | 103.0 | 7.3 | 14.1 | 111 | V 'meget dårlig' |
| Brødøy/Selvåg | BL3, 3.5 m | 77.5 | 99.3 | 7.3 | 13.6 | 103 | V 'meget dårlig' |
| | BL3, 10 m | 92.6 | 100.0 | 9.1 | 11.0 | 101 | V 'meget dårlig' |

3.3.2 Vurderinger

Bunnsedimentene hadde meget høyt organisk innhold. I SFTs system for klassifisering av miljøkvalitet faller TOC-verdiene for alle prøvepunktene langt over grenseverdien for dårligste tilstandsklasse (klasse V). Sedimentene får derfor en svært dårlig karakteristikk i henhold til kriteriene for vurdering av miljøkvalitet.

Like høye TOC-verdier som i Harkmarkfjorden (>100 mg/g) er registrert i terskelfjorder med betydelige oksygenproblemer, som Skogsfjorden og Bongstøvvann ved Mandal (Jacobsen et al. 1996). Det er også påvist høye verdier (tilstandsklasse V) i fjordbassenger som belastes av kommunalt avløpsvann eller som tilføres flis og tremateriale fra treindustri (Jacobsen et al. 1997, Oug 1998). Harkmarkfjorden synes derfor å være på nivå med sterkt innelukkede eller organisk belastede fjordområder.

Trolig er det tilført plantemateriale fra land, og tildels innholdet av sagflis, som er hovedårsaken til det høye TOC-innholdet i Harkmarkfjorden. Hvor store bidragene fra avløpsvann og lokal planktonproduksjon i fjorden er, lar seg vanskelig anslå med grunnlag i sedimentanalysene, men de synes ikke å dominere. Det er særlig det forholdsvis høye C/N-forhold som indikerer betydningen av plantemateriale fra land. Dette er i stor grad materiale som brytes langsomt ned og som ikke bidrar like sterkt til oksygenforbruk som lett omsettbart organisk stoff. I realiteten kan derfor sedimentene bli karakterisert som dårligere enn de egentlig er, som følge av at TOC-verdiene legges til grunn for vurderingene. På den annen side kan det lett omsettelige organiske materialet fra avløpsvann og planktonproduksjon være av stor betydning for forbruket av oksygen og utviklingen av hydrogensulfid i sedimentene.

I indre fjord (BL1) var det bunnorganismer tilstede både på 5 og 10 m dyp. Dette indikerer at forholdene nok var bedre enn hva sedimentene alene, i hvert fall TOC-innholdet, kunne tyde på. Tilstedeværelsen av bunnfauna viser at det var oksygen i vannmassene helt ned til sedimentoverflaten da prøvene ble tatt og i en periode forut for prøvetakingen..

I ytre fjord (BL2) var prøven fra 3.5 m dyp preget av rundmark. Dette er organismer som har meget høy toleranse for hydrogensulfid. Området er delvis innelukket og har klart dårlige forhold. På 10 meters dyp var det ordinære bunnorganismer tilstede.

Generelt synes det som om fjordområdene på Sørlandet naturlig har forholdsvis høye TOC-verdier, noe som fører til at sedimentene ofte får dårlig karakteristikk i henhold til SFTs kriterier. I mer åpne kyst- og fjordområder på Sørlandet kan verdier på 20-40 mg/g, som tilsvarer klasse II til IV i SFTs system, betraktes som normale (se Moy et al. 1996). Det kan derfor være grunn til å betrakte TOC mer som et uttrykk for mengden av organiske komponenter i miljøet, enn som et mål for miljøtilstand. Til sammenligning representerer faunaen et mål for virkninger, og vil derfor være bedre som indikator for tilstand. I kystområdene på Sørlandet er det påvist normal artsrik fauna på flere steder med høyt organisk innhold i sedimentene (Jacobsen et al. 1997, Oug 1988). I Harkmarkfjorden syntes det å være livsbetingelser for bunnfauna ned til 10 m dyp på tross av svært høyt organisk innhold i sedimentene.

4. Referanser

- Aure, J. og D.S. Danielsen 1993. Terskelbasseng på sørlandskysten. Organisk belastning og vannutskifting. *Fisken og Havet* 1993, nr 1: 1-16.
- Baalsrud, K., L. Golmen, J. Molvær, B. Rygg 1991. Nordsjøplanen. Marine resipienter. Inndeling i resipientområder, tilførsler, mål for vannkvalitet og behov for reduksjon av tilførsler. NIVA-rapport 2638. 51 s.
- Jacobsen, T., T. Johannessen, T. Johnsen, J. Molvær, E. Oug og I. Saanum 1996. Undersøkelse av Skogsfjordsystemet i Mandal. Hydrografi, planteplankton, strandsone, bløtbunn, fiskeforekomster. NIVA-rapport nr. 3505-96, 79 s.
- Jacobsen, T., E. Dahl, E. Oug, T. Johannessen & F. Moy 1997. Tilstanden i sjøområdene ved Grimstad før start av biologisk renseanlegg på Groos. NIVA rapport nr. 3622. 91 s.
- Molvær, J., 1992. Fjorder i Vest-Agder. Vurdering og kommentarer til fysisk - kjemiske analyseresultater for tidsrommet 1979-89. Norsk institutt for vannforskning. NIVA-rapport nr. 2769, 73s.
- Molvær, J. J. Knutzen, J. Magnusson, B. Rygg, J.Skei, J. Sørensen 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Veiledning. SFT Veiledning 97:03. 36 s. TA-1467/1997.
- Moy, F.E., S. Fredriksen, J. Gjørseter, S. Hjøhlman, T. Jacobsen, T. Johannessen, T.E. Lein, E. Oug & Ø.F. Tvedten 1996. Utredning om benthos-samfunnene på kyststrekningen Fulehuk - Stad. NIVA rapport nr. 3551. 84 s.
- Oug, E. 1998. Vannkvalitet i kystområdene i Arendal. Bløtbunnsfauna i Tromøysund og Galtesund 1994. NIVA rapport nr. 3829. 34 s.
- Stigebrandt, A., 1992. Beregning av miljøeffekter av menneskelige aktiviteter. Lærebok for brukere av vannkvalitetsmodellen Fjordmiljø. Rapport nr. 9201. Ancylus og Statens forurensningstilsyn, 58

Vedlegg A. Vannmasser

Vedleggstabell A1. Analyser av næringssalter og klorofyll (0-2 meter).

| STASJON | DATO | DYP | TOT-P ug/l | TOT-N ug/l | KL.F ug/l | SIKTEDYP m |
|---------|----------|------|---------------|---------------|--------------|---------------|
| E1 | 15.08.97 | 0-2m | 8 | 265 | 0.5 | 7.5 |
| E2 | 15.08.97 | 0-2m | 9 | 275 | 0.43 | 7.5 |
| E3 | 15.08.97 | 0-2m | 8 | 275 | 0.36 | 7.0 |
| E1 | 02.09.97 | 0-2m | 7 | 235 | 0.69 | 8.4 |
| E2 | 02.09.97 | 0-2m | 9 | 260 | 0.76 | 8.3 |
| E3 | 02.09.97 | 0-2m | 9 | 220 | 0.79 | 7.1 |
| E1 | 16.09.97 | 0-2m | 6 | 260 | 0.9 | 6.0 |
| E2 | 16.09.97 | 0-2m | 10 | 215 | 1.26 | 7.0 |
| E3 | 16.09.97 | 0-2m | 11 | 230 | 1.23 | 8.3 |
| E6 | 16.09.97 | 0-2m | 11 | 180 | - | - |
| Elva | 16.09.97 | 0-2m | 2 | 505 | - | - |
| E1 | 30.09.97 | 0-2m | 7 | 290 | 2.98 | 7.4 |
| E2 | 30.09.97 | 0-2m | 6 | 260 | 3.12 | 6.5 |
| E3 | 30.09.97 | 0-2m | 7 | 185 | 2.47 | 6.7 |

Vedleggstabell A2. Oksygen og hydrogensulfid analyser

| STASJON | DATO | DYP | TEMP °C | SALT PSU | OKSYGEN ml/l | H2S ml/l |
|---------|----------|-----|------------|-------------|-----------------|-------------|
| E1 | 15/08/97 | 0 | 24.3 | | 5.32 | |
| E1 | 15/08/97 | 3 | 23.0 | | 6.73 | |
| E1 | 15/08/97 | 6 | 20.2 | | 6.92 | |
| E1 | 15/08/97 | 9 | 14.2 | | 7.41 | |
| E1 | 15/08/97 | 12 | - | 30.645 | 2.82 | |
| E1 | 15/08/97 | 15 | 9.0 | 30.751 | | 4.25 |
| E1 | 02/09/97 | 0 | 20.5 | | 5.46 | |
| E1 | 02/09/97 | 3 | 20.5 | | 5.62 | |
| E1 | 02/09/97 | 6 | 19.5 | | 5.34 | |
| E1 | 02/09/97 | 9 | 16.5 | x | 6.25 | |
| E1 | 02/09/97 | 12 | 12.0 | x | 2.94 | |
| E1 | 02/09/97 | 15 | 9.0 | x | | 3.39 |
| E1 | 16/09/97 | 0 | 16.0 | | 4.36 | |
| E1 | 16/09/97 | 3 | 17.0 | | 4.96 | |
| E1 | 16/09/97 | 6 | 16.0 | | 4.64 | |
| E1 | 16/09/97 | 9 | 15.0 | | 4.01 | |
| E1 | 16/09/97 | 12 | 11.0 | 30.6248 | 0.81 | |
| E1 | 16/09/97 | 15 | 9.0 | 30.60186 | | 4.12 |
| E1 | 30/09/97 | 0 | 13.5 | | 6.35 | |
| E1 | 30/09/97 | 3 | 17 | | 5.81 | |
| E1 | 30/09/97 | 6 | 14.5 | | 5.66 | |
| E1 | 30/09/97 | 9 | 15 | | 4.56 | |
| E1 | 30/09/97 | 12 | 13 | | 2.27 | |
| E1 | 30/09/97 | 15 | 9.5 | | | 4.17 |
| E2 | 15/08/97 | 0 | 23.6 | | 5.46 | |
| E2 | 15/08/97 | 4 | 21.7 | | 5.62 | |
| E2 | 15/08/97 | 8 | 21.0 | 27.88 | 5.6 | |
| E2 | 02/09/97 | 0 | 19.0 | | 5.38 | |
| E2 | 02/09/97 | 4 | 19.0 | | 5.06 | |
| E2 | 02/09/97 | 8 | 19.0 | 28.67821 | 4.66 | |
| E2 | 02/09/97 | 10 | | | | ingen lukt |
| E2 | 16/09/97 | 4 | 15.0 | | 5.12 | |
| E2 | 16/09/97 | 8 | 14.0 | 30.30345 | 4.84 | |
| E2 | 16/09/97 | 10 | 9.0 | 30.6329 | 4.41 | |
| E2 | 30/09/97 | 0 | 14 | | 6.06 | |
| E2 | 30/09/97 | 4 | 15 | | 5.83 | |

Vedleggstabell A2 forts.

| STASJON | DATO | DYP | TEMP °C | SALT PSU | OKSYGEN ml/l | H2S ml/l |
|---------|----------|-----|------------|-------------|-----------------|------------------|
| E2 | 30/09/97 | 8 | 14 | | 5.14 | |
| E3 | 15/08/97 | 0 | 22.0 | | 5.38 | |
| E3 | 15/08/97 | 4 | 19.2 | | 5.59 | |
| E3 | 15/08/97 | 8 | 15.7 | | 5.7 | |
| E3 | 15/08/97 | 12 | 12.5 | 33.213 | 5.3 | |
| E3 | 15/08/97 | 15 | 9.2 | 33.579 | | 0.14 |
| E3 | 15/08/97 | 20 | 7.5 | 33.773 | | 3.22 |
| E3 | 02/09/97 | 0 | 18.5 | | 5.17 | |
| E3 | 02/09/97 | 4 | 18.5 | | 5.09 | |
| E3 | 02/09/97 | 8 | 15.0 | 32.09141 | 3.95 | |
| E3 | 02/09/97 | 12 | 11.5 | 33.22425 | 2.02 | |
| E3 | 02/09/97 | 15 | 9.0 | 33.11048 | | 0.77 |
| E3 | 02/09/97 | 17 | 9.0 | | 0.16 | |
| E3 | 16/09/97 | 0 | 14.0 | | 5.11 | |
| E3 | 16/09/97 | 4 | 13.0 | | 4.09 | |
| E3 | 16/09/97 | 8 | 12.0 | | 3.9 | |
| E3 | 16/09/97 | 12 | 12.0 | 33.71279 | 4.08 | |
| E3 | 16/09/97 | 15 | 11.0 | 33.90245 | 3.71 | |
| E3 | 16/09/97 | 20 | 12.0 | 33.9281 | 1.93 | |
| E3 | 30/09/97 | 0 | 13 | | 6.02 | |
| E3 | 30/09/97 | 4 | 14.5 | | 5.68 | |
| E3 | 30/09/97 | 8 | 12.2 | | 4.96 | |
| E3 | 30/09/97 | 12 | 12 | | 3.36 | |
| E3 | 30/09/97 | 15 | 11.5 | | 2.13 | |
| E3 | 30/09/97 | 20 | 12 | | 3.68 | |
| E5 | 15/08/97 | 16 | | 27.254 | 5.94 | |
| E5 | 02/09/97 | 12 | 14.7 | | x | |
| E5 | 02/09/97 | 14 | 15.0 | | | svak lukt av H2S |
| E5 | 02/09/97 | 15 | 13.0 | | | H2S |
| E5 | 02/09/97 | 16 | | | | H2S |

Vedlegg B. Eksempler på resultater fra beregninger med Fjordmiljø.

1. Harkmarksfjorden innenfor strømmen, dagens tilførsler.

Ancylus FJORDMILJØ (2.0):

Aktuell fjord: Harkmarksfjorden i VEST-AGDER

TABELL 1 FJORDENS DYBDEFORHOLD

| | |
|--|--------|
| Bassengets største dyp, Hmax (m)..... | 17 |
| Terskeldyp, Ht (m)..... | 2 |
| Midlere dyp av terskelbassenget, Hb (m)..... | 7.0 |
| Bassengets totale volum, Vol (km ³)..... | 0.0106 |
| Volum over terskeldypet, Volt (-"-)..... | 0.0025 |
| Volum under terskeldypet, Volb (-"-)..... | 0.0081 |
| Areal ved havoverflaten, Af (km ²)..... | 1.350 |
| Areal på terskeldypet, At (km ²)..... | 1.160 |

TABELL 1A FJORDENS AREAL I VALGTE DYP, OG VOLUMET UNDER DISSE.

| dyp (m) | areal (km ²) | volum (km ³) |
|------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 0 | 1.350 | 0.0106 |
| 5 | 0.875 | 0.0050 |
| 10 | 0.475 | 0.0017 |
| 17 | 0.001 | 0.0000 |

TABELL 2 MUNNINGENS DYBDEFORHOLD

| | |
|--|-----|
| Terskeldyp, Ht (m)..... | 2 |
| Munningens areal, Am (m ²)..... | 55 |
| Dyp for halve munningsarealet, Ht50% (m).... | 0.9 |
| Munningen er ikke kanalformet | |

TABELL 2A MUNNINGENS BREDDI I VALGTE DYP, OG AREALET UNDER DISSE.

| dyp (m) | bredde (m) | areal (m ²) |
|------------|---------------|----------------------------|
| 0 | 35 | 55 |
| 2 | 20 | 0 |

TABELL 3. TILFØRSLER FRA LAND

| | |
|---|-----|
| Ferskvann (Årsmiddel), Qfm (m ³ /s)..... | 1.7 |
| Fosfor, Pa (tonn/År)..... | 0.8 |
| Nitrogen, Na (tonn/År)..... | 2.1 |

TABELL 4 SIKTEDYP, OKSYGENKONSENTRASJON I "NYTT" BASSENGVANN, m.m.

| | |
|---|------|
| Typisk siktedyp sommerstid, D0 (m)..... | 7.3 |
| Oksygenkons. i "nytt" bassengvann (ml/l)..... | 5.5 |
| Beregning av oksygenforhold etter ?? år.. | 1 |
| Tidevannsamplitude - M2+S2 (m)..... | 0.10 |

TABELL 5 ALLMENN FJORDDIAGNOSE

| | |
|---|-------|
| Fjordareal/Munningsareal, Af/Am..... | 24545 |
| Strupningskoeffisient, cc..... | 1.00 |
| Tidevannshastighet i munningen, us0, (m/s)..... | 0.34 |
| Indre bølgers hastighet i fjorden, ci, (m/s)..... | 0.21 |
| Intermediær sirkulasjon, Qint (m ³ /s)..... | 2.9 |
| Tidevannsdrevet sirkulasjon, Qtid (m ³ /s)..... | 3.0 |
| Oppholdstid for vannet over terskeldyp Tv (døgn)..... | 4.9 |
| Synketid for part. org. materiale, Tp (døgn)..... | 1.3 |
| Siktedyp sommerstid hvis tilførselen av næringsstoffer fra land opphør (%)..... | 112 |

| | |
|--------------------|------|
| Funksjonen f1..... | 1.00 |
| Funksjonen f2..... | 1.00 |
| Funksjonen f3..... | 1.00 |

TABELL 5A ESTUARIN SIRKULASJON Qest for ulike ferskvannstilførsler Qf og med noen vindhastigheter W. H er tykkelsen av brakkvannslaget og DS er saltholdighetsreduksjonen i dette laget grunnet ferskvannstilførselen. Ferskvannets oppholdstid i fjorden er Tf.

| m^3Q_f (m^3/s) | W (m/s) | H (m) | DS (o/oo) | m^3Q_{est} (m^3/s) | Tf (døgn) | Type |
|-------------------------|------------|----------|--------------|-----------------------------|--------------|------------|
| 1.7 | 4 | 1.3 | 8.15 | 7 | 2.9 | (N-fjord) |
| 5.1 | 4 | 1.0 | 22.15 | 8 | 2.0 | (N-fjord) |
| 17.0 | 4 | 1.5 | 30.96 | 18 | 1.3 | (N-fjord) |
| 1.7 | 6 | 3.5 | 2.92 | 19 | 2.9 | (N-fjord) |
| 5.1 | 6 | 1.7 | 12.44 | 14 | 2.0 | (N-fjord) |
| 17.0 | 6 | 1.8 | 26.99 | 21 | 1.3 | (N-fjord) |
| 1.7 | 8 | 0.0 | 8.19 | 6 | 0.0 | (BO-fjord) |
| 5.1 | 8 | 3.2 | 6.71 | 25 | 2.0 | (N-fjord) |
| 17.0 | 8 | 2.2 | 21.60 | 26 | 1.3 | (N-fjord) |

TABELL 6 NATURLIGE FORHOLD I TERSKELBASSENGET

| | |
|--|-------|
| Fjorden er av stråletype, c_i/us_0 | 0.60 |
| Tfyll (døgn) | 15.0 |
| Terskelbassengets Re-verdi (kg/m^3)..... | 3.35 |
| Arbeid W mot oppdriftskreftene i terskelbassenget: | |
| bakgrunn, W_0 (mW/m^2)..... | 0.011 |
| tidevannsdreven, W_t (mW/m^2)..... | 0.003 |
| Tetthetsreduksjon dro/dt ($kg/m^3/måned$)..... | 0.153 |
| Oksygenforbruk dO/dt ($ml/l/måned$)..... | 3.77 |
| Tidsskala for vannutskifting T_e (måneder).... | 21.9 |
| Tidsskala for oksygenforbruk T_O (måneder).... | 1.5 |
| Oksygenminimum i bassengvannet..... | H2S |

FJORDFORBEDRING:

For å oppnå $O_{2min}=2$ ml/l i bassengvannet
trenges følgende effekttilskudd (kW)..... 6.6

NB! Den observerte reduksjonen av oksygenkonsentrasjonen vil normalt være noe lavere enn dO/dt grunnet diffusjon av oksygen ned i terskelbassenget. Negativ oksygenminimum betyr at det, i hvert fall periodevis, vil være hydrogen-sulfid i nedre del av bassengvannet

TABELL 6A NATURLIGE FLUKSER av karbon, nitrogen og fosfor med marint organisk materiale ned i terskelbassenget (tonn/år). UOD er den mengde oksygen som årlig trenges for en fullstendig oksydering av det organiske materialet

| | |
|-----------|-------|
| Karbon: | 150.9 |
| Nitrogen: | 26.6 |
| Fosfor: | 3.7 |
| UOD: | 528.0 |

2. Harkmarksfjorden innenfor Strømmen, "naturlige" tilførsler.

Aktuell fjord: Harkmarksfjorden i VEST-AGDER

| | |
|---|--------|
| Bassengets største dyp, Hmax (m) | 17 |
| Terskeldyp, Ht (m) | 2 |
| Midlere dyp av terskelbassenget, Hb (m) | 7.0 |
| Bassengets totale volum, Vol (km ³) | 0.0106 |
| Volum over terskeldypet, Volt (-"-) | 0.0025 |
| Volum under terskeldypet, Volb (-"-) | 0.0081 |
| Areal ved havoverflaten, Af (km ²) | 1.350 |
| Areal p ₀₀ terskeldypet, At (km ²) | 1.160 |

TABELL 1A FJORDENS AREAL I VALGTE DYP, OG VOLUMET UNDER DISSE.

| dyp (m) | areal (km ²) | volum (km ³) |
|------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 0 | 1.350 | 0.0106 |
| 5 | 0.875 | 0.0050 |
| 10 | 0.475 | 0.0017 |
| 17 | 0.001 | 0.0000 |

TABELL 2 MUNNINGENS DYBDEFORHOLD

| | |
|--|-----|
| Terskeldyp, Ht (m) | 2 |
| Munningsareal, Am (m ²) | 55 |
| Dyp for halve munningsarealet, Ht50% (m) | 0.9 |
| Munningen er ikke kanalformet | |

TABELL 2A MUNNINGENS BREDDI I VALGTE DYP, OG AREALET UNDER DISSE.

| dyp (m) | bredde (m) | areal (m ²) |
|------------|---------------|----------------------------|
| 0 | 35 | 55 |
| 2 | 20 | 0 |

TABELL 3.

| | |
|--|-----|
| Ferskvann (årsmiddel), Qfm (m ³ /s) | 1.7 |
| Fosfor, Pa (tonn/år) | 0.3 |
| Nitrogen, Na (tonn/år) | 1.4 |

TABELL 4

| | |
|---|------|
| Typisk siktedyp sommerstid, D0 (m) | 7.3 |
| Oksygenkons. i "nytt" bassengvann (ml/l) | 5.5 |
| Beregning av oksygenforhold etter ?? år.. | 1 |
| Tidevannsamplitude - M2+S2 (m) | 0.10 |

TABELL 5 ALLMENN FJORDDIAGNOSE

| | |
|--|-------|
| Fjordareal/Munningsareal, Af/Am | 24545 |
| Strupningskoeffisient, cc | 1.00 |
| Tidevannshastighet i munningen, us0, (m/s) | 0.34 |
| Indre bølgers hastighet i fjorden, ci, (m/s) | 0.21 |
| Intermediær sirkulasjon, Qint (m ³ /s) | 2.9 |
| Tidevannsdrevet sirkulasjon, Qtid (m ³ /s) | 3.0 |
| Oppholdstid for vannet over terskeldyp Tv (døgn) | 4.9 |
| Synketid for part. org. materiale, Tp (døgn) | 1.3 |
| Siktedyp sommerstid hvis tilførselen av næringsstoffer fra land opphør (%) | 104 |
| Funksjonen f1 | 1.00 |
| Funksjonen f2 | 1.00 |
| Funksjonen f3 | 1.00 |

TABELL 5A ESTUARIN SIRKULASJON Qest for ulike ferskvannstilførsler

Qf og med noen vindhastigheter W. H er tykkelsen av brakkvannslaget og DS er saltholdighetsreduksjonen i dette laget grunnet ferskvannstilførselen. Ferskvannets oppholdstid i fjorden er Tf.

| Q_f (m^3/s) | W (m/s) | H (m) | DS (o/oo) | Q_{est} (m^3/s) | Tf (døgn) | Type |
|----------------------|------------|----------|--------------|--------------------------|--------------|------------|
| 1.7 | 4 | 1.3 | 8.15 | 7 | 2.9 | (N-fjord) |
| 5.1 | 4 | 1.0 | 22.15 | 8 | 2.0 | (N-fjord) |
| 17.0 | 4 | 1.5 | 30.96 | 18 | 1.3 | (N-fjord) |
| 1.7 | 6 | 3.5 | 2.92 | 19 | 2.9 | (N-fjord) |
| 5.1 | 6 | 1.7 | 12.44 | 14 | 2.0 | (N-fjord) |
| 17.0 | 6 | 1.8 | 26.99 | 21 | 1.3 | (N-fjord) |
| 1.7 | 8 | 0.0 | 8.19 | 6 | 0.0 | (BO-fjord) |
| 5.1 | 8 | 3.2 | 6.71 | 25 | 2.0 | (N-fjord) |
| 17.0 | 8 | 2.2 | 21.60 | 26 | 1.3 | (N-fjord) |

TABELL 6 NATURLIGE FORHOLD I TERSKELBASSENGET

| | |
|--|------------------|
| Fjorden er av stråletype, c_i/u_{s0} | 0.60 |
| Tfyll (døgn) | 15.0 |
| Terskelbassengets Re-verdi (kg/m^3)..... | 3.35 |
| Arbeid W mot oppdriftskreftene i terskelbassenget: | |
| bakgrunn, W_0 (mW/m^2)..... | 0.011 |
| tidevannsdreven, W_t (mW/m^2)..... | 0.003 |
| Tetthetsreduksjon dro/dt ($kg/m^3/måned$)..... | 0.153 |
| Oksygenforbruk dO/dt ($ml/l/måned$)..... | 3.35 |
| Tidsskala for vannutskifting T_e (måned).... | 21.9 |
| Tidsskala for oksygenforbruk T_O (måned).... | 1.6 |
| Oksygenminimum i bassengvannet..... | H ₂ S |

FJORDFORBEDRING:

For å oppnå $O_{2min}=2$ ml/l i bassengvannet
trenges følgende effekttilskudd (kW)..... 5.8

NB! Den observerte reduksjonen av oksygenkonsentrasjonen vil normalt være noe lavere enn dO/dt grunnet diffusjon av oksygen ned i terskelbassenget. Negativ oksygenminimum betyr at det, i hvert fall periodevis, vil være hydrogen-sulfid i nedre del av bassengvannet

TABELL 6A NATURLIGE FLUKSER av karbon, nitrogen og fosfor med marint organisk materiale ned i terskelbassenget (tonn/år). UOD er den mengde oksygen som årlig trenges for en fullstendig oksydering av det organiske materialet

| | |
|-----------|-------|
| Karbon: | 134.0 |
| Nitrogen: | 23.6 |
| Fosfor: | 3.3 |

Vedlegg C. Strandsone

Vedleggstabell C1. Registrerte arter i Harkmarkfjorden 2. september 1997. Tegnforklaring: d= dominerende, v= vanlig, s= spredt, e= enkeltfunn. Mengder i parentes viser arter registrert 15. august 1997.

| STASJONER | S1 Elva | S2 Harkmark N | S2b Lian | S3 Osnes | S4 Selvåg |
|--|------------|------------------|-------------|-------------|--------------|
| RØDALGER | | | | | |
| <i>Ahnfeltia plicata</i> | | v | | | |
| <i>Audouiniella</i> sp. | | | | * | |
| <i>Bonnemaisonia hamifera</i> : sporp. | | | | | * |
| <i>Ceramium cimbricum</i> | | | | s | * |
| <i>Chondrus crispus</i> | | (*) | | | s |
| <i>Erythrotrichia carnea</i> | | | | | * |
| <i>Furcellaria lumbricalis</i> | | (*) | | | v |
| <i>Gracilaria verrucosa</i> | | s | s | s-v | s |
| <i>Hildenbrandia rubra</i> | | s | | s | s |
| <i>Laurentia pinnatifida</i> | | | | | s |
| <i>Lithothamnion glaciale</i> | | | | | s |
| <i>Phyllophora pseudoceranooides</i> | | s | | | |
| <i>Phyllophora truncata</i> | | e | | | |
| <i>Polyides rotundus</i> | | | | s-v | |
| <i>Polysiphonia elongata</i> | | | | | s |
| <i>Polysiphonia nigrescens</i> | | | | | s |
| <i>Polysiphonia hemispherica</i> | | d | | d | |
| BRUNALGER | | | | | |
| <i>Ascophyllum nodosum</i> | | (*) | | | v |
| <i>Asperococcus fistulosus</i> | | (*) | | | |
| <i>Chorda filum</i> | | | | | * |
| <i>Ectocarpus</i> sp. | | | | * | |
| <i>Feldmannia irregularis</i> | s | s | | | |
| <i>Fucus serratus</i> | | | | | s-v |
| <i>Fucus vesiculosus</i> | | s | | s-v | s |
| <i>Halidrys siliquosa</i> | | | | | e |
| <i>Sargassum muticum</i> | | | | | e |
| <i>Spermatochnus paradoxus</i> | | | | e | |
| <i>Sphacelaria</i> sp. | | | | * | |
| GRØNNALGER | | | | | |
| <i>Chaetomorpha mediterranea</i> | (*) | (v-d) | d | | |
| <i>Cladophora</i> sp. | (d) | | * | | |
| <i>Enteromorpha intestinalis</i> | * (v) | | | | |
| <i>Enteromorpha prolifera</i> | | * | | | |
| <i>Enteromorpha</i> sp. | d (s) | (*) | | | |
| <i>Enteromorpha flexulosa</i> | * | | | | |
| <i>Monostroma oxyspermum</i> | | s | | | |
| <i>Percursaria percursa</i> | | * | | | |
| <i>Spongomorpha</i> sp. | | | | s | e |
| <i>Ulothrix flacca</i> | (*) | s | | | |

Tabell C1 forts.

| STASJONER | S1 Elva | S2 Harkmark N | S2b Lian | S3 Osnes | S4 Selvåg |
|--------------------------------|------------|------------------|-------------|-------------|--------------|
| ANDRE GRUPPER | | | | | |
| <i>Calothrix</i> sp | | s | | | |
| <i>Ocellatoria</i> | | * | | * | |
| <i>Ruppia spiralis</i> | s | s | s | s | |
| <i>Zostera marina</i> | | | | d | s |
| FAUNA | | | | | |
| <i>Actiniaria</i> indet. | | v | | | s |
| Stankelbeinkrabbe | | | | | e |
| <i>Asterias rubens</i> | | v (e) | | s | e |
| <i>Botryllus schlosseri</i> | | | | s | v |
| <i>Carcinus maenas</i> | | | | s | |
| <i>Cardium edule</i> | v | s | s | | |
| <i>Halichondria panicea</i> | | | | | s |
| <i>Littorina littorea</i> | | | | | s |
| <i>Marthasterias glacialis</i> | | s | | e | |
| <i>Mytilus edulis</i> | v | v | s | | |
| <i>Psammechinus miliaris</i> | | | | v | |

Vedleggstabell C2. Antall arter og grupper av arter.

| STASJONER | S1 Elva | S2 Harkmark N | S2b Lian | S3 Osnes | S4 Selvåg |
|----------------------|------------|------------------|-------------|-------------|--------------|
| Antall arter | 7 (6) | 20 (15) | 6 | 19 | 25 |
| Antall rødalger | 0 | 6 (4) | 1 | 6 | 11 |
| Antall brunalger | 1 (0) | 2 (5) | 0 | 4 | 6 |
| Antall grønналger | 3 (5) | 4 (2) | 2 | 1 | 1 |
| Antall dyr | 2 (0) | 5 (3) | 2 | 5 | 6 |
| Antall andre grupper | 1 | 3 (1) | 1 | 3 | 1 |

Vedlegg D. Sedimenter

Feltinnsamling bløtbunn/sedimenter 16.09.97.

Liten Ekman-grabb, 4 grabbskudd pr. stasjon og dyp. Prøver av toppsedimentet er tatt av for analyse av TOC og TN.

BL1 5m

Innsamling i liten bukt på nordsiden av fjordbassenget. Hytte innerst i bukta. Øst for liten holme (strandsonestasjon). Finkornet mudder, noe leiret. Ingen/svak lukt av H₂S. Brunt. Mye *Gracilaria* i prøvene.

BL1 10 m

Samme sted som 5 meter, men mer midt i bukta. Mudder: Finkornet, mykt, noe leiret. Brun i fargen. Sterk lukt av H₂S. *Gracilaria* i prøvene.

BL3 3.5 m

I sørenden av ytre basseng, mellom Brødøy og Selvåg. Rett nord for en lang trapp opp til hytte, liten steinbrygge, og trang mudderbukt. Sterk lukt av H₂S. Brunsvart sediment, noe leiret. *Gracilaria*.

BL3 10 m

I sørenden av ytre basseng, mellom Brødøy og Selvåg. Nær lite skjær og grunne m/ stake. Brunsvart mudder, noe leiret. Ingen lukt av H₂S.

