

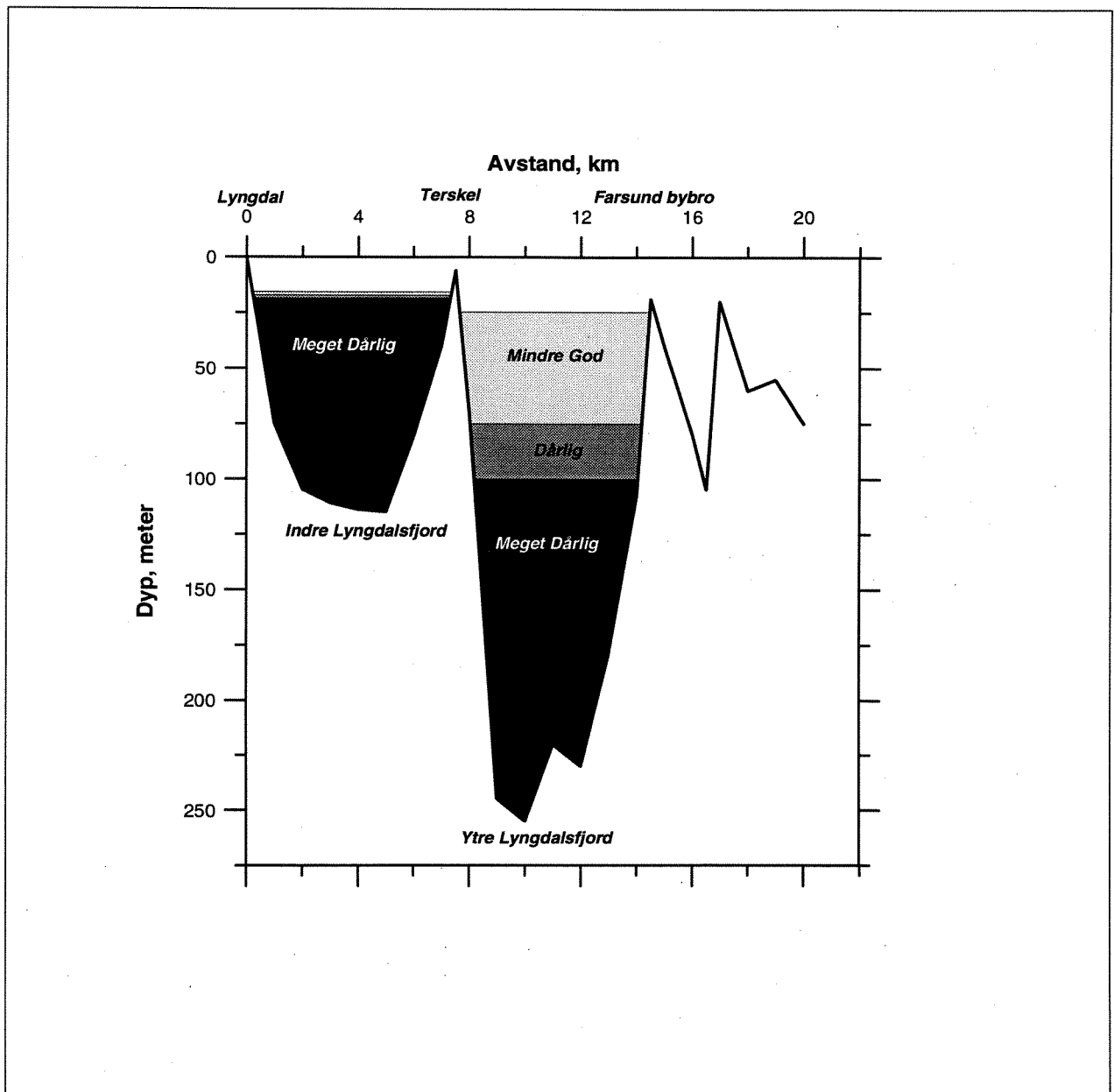
NIVA



RAPPORT LNR 3811-98

Indre Lyngdalsfjord

Vurdering av oksygenforholdene



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 32 88 33

Akvaplan-NIVA A/S

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

Tittel Lyngdalsfjorden. Vurdering av oksygenforholdene	Løpenr. (for bestilling) 3811-98	Dato 20.2 1998
	Prosjektnr. Undernr. 96225 2	Sider Pris 26+vedlegg
Forfatter(e) Jarle Molvær	Fagområde Fysisk oseanografi	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Vest-Agder	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Fylkesmannen i Vest-Agder, Miljøvernavdelingen	Oppdragsreferanse
--	-------------------

Sammendrag
Oksygenforholdene i Indre Lyngdalsfjord er vurdert på grunnlag av tilførsler av næringssalter og organisk stoff, miljøstratigrafiske undersøkelser av bunnsedimentene i fjorden, vannkjemiske undersøkelser samt bruk av en matematisk modell. De dårlige oksygenforholdene i Indre Lyngdalsfjord skyldes i hovedsak naturgitte topografiske forhold samt avrenningen fra nedbørsfeltet. To grunne terskler og den store og dype Ytre Lyngdalsfjord reduserer effektivt muligheten for innstrømming av tilstrekkelig store volumer av tungt sjøvann til at dypvannet i Indre Lyngdalsfjord skiftes ut. Tiltak for å redusere de direkte, menneskeskapte utslippene av næringssalter og organisk stoff vil ikke fjerne oksygenproblemene, men kan gi en viss positiv effekt. I praksis vil virkninger fra overføringen av kommunalt avløpsvann til Rosfjorden neppe være mulig å registrere som bedring av oksygenforholdene i Indre Lyngdalsfjord. Det samme gjelder for en bedring av siktedypet, mens fjerning/reduksjon av vannhygieniske problem bør være lettere å registrere. Hvis man på kort sikt vil bedre oksygenforholdene, må det sannsynligvis sette i gang tiltak som bedrer dypvannsutskiftningen. Aktuelle metoder er da f.eks. utslipp av komprimert luft eller ferskvann til dypvannet. Størrelsen på fjorden tilsier imidlertid at dimensjonering og kostnader ved et slikt tiltak må vurderes nøye.

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Lyngdalsfjord 2. Oksygen 3. Organisk material 4. Vannutskiftning 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Lyngdalsfjord 2. Oxygen 3. Organic load 4. Water exchange
---	--

Jarle Molvær

Prosjektleder

ISBN 82-577-3387-3

John A. Bergsjø

Forskningsjef

O-96225

Lyngdalsfjorden

Vurdering av oksygenforholdene

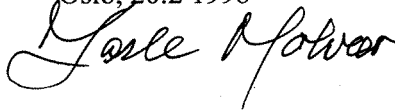
Forord

Ved kontrakt av 12.9.96 mellom Fylkesmannen i Vest-Agder, Miljøvern avdelingen, og Norsk institutt for vannforskning (NIVA) fikk sistnevnte i oppdrag å gjennomføre en resipientundersøkelse i Lyngdalsfjorden og Lygna. I tillegg til Fylkesmannen står Lyngdal kommune bak undersøkelsen.

NIVA engasjerte Institutt for Geologi, Universitetet i Oslo, for gjennomføring av miljøstratigrafiske undersøkelser i Indre Lyngdalsfjord, og Vannlaboratoriet, Høgskolen i Agder, Kristiansand, til gjennomføring av vannkjemisk prøvetaking og analyser. Undersøkelsene i Lygna er gjennomført av NIVAs avdeling i Grimstad og resultatene utgitt i en egen rapport. Forskningsassistent Unni Efraimsen, NIVA, har tilrettelagt dataene for EDB.

Overingeniør Rolf Olav Stene har vært kontakt hos Fylkesmannen og bidratt til resultatet med konstruktive ideer og kommentarer underveis. Ved Institutt for Geologi har førsteamanuensis Elisabeth Alve ledet de miljøstratigrafiske undersøkelsene. Dag Olav Andersen var hovedkontakt ved Vannlaboratoriet. Alle takkes for godt samarbeid.

Oslo, 20.2 1998



Innhold

Forord	2
Sammendrag	4
1. Bakgrunn og formål	5
1.1. Bakgrunn for undersøkelsen	5
1.2. Formål	5
2. Kort beskrivelse av Lyngdalsfjorden.....	6
2.1 Topografi og ferskvannstilførsel.....	6
2.2 Tilførsler av næringssalter	9
3 Feltarbeid og metodikk	10
3.1 Feltarbeid	10
3.2 Modeller og databehandling	10
4. Resultater	11
4.1 Vannkjemiske undersøkelser i juli 1996.....	11
4.2 Vannkjemiske undersøkelser i november 1996	16
4.3 Sammenligning med resultater fra tidligere undersøkelser	22
4.4 Modellberegninger	23
5. Sammenfattende vurdering	24
5.1 Har omleggingen i avløpsnettet hatt noen effekt på vannkvaliteten i Lyngdalsfjorden?.....	24
5.2 Er tilstanden i Lyngdalsfjorden som forventet, sett i forhold til topografi, ferskvannstilførsel og vannutskiftning?	25
6. Litteratur	26
Vedlegg.....	27

Sammendrag

Det er utført en undersøkelse og en vurdering av oksygenforholdene i Indre Lyngdalsfjord. Formålet har vært å bedømme om:

1. *Omleggingen av avløpsnettet har hatt noen effekt på vannkvaliteten i Lyngdalsfjorden.*
2. *Tilstanden i Lyngdalsfjorden er som forventet, sett i forhold til topografi, ferskvannstilførsel og vannutskifning.*

Arbeidet har bestått av tre elementer:

- Vannkjemiske undersøkelser i Lygna, ved NIVAs avdeling i Grimstad
- Miljøstratigrafiske undersøkelser, ved Institutt for geologi, Universitetet i Oslo.
- Vannkjemiske undersøkelser og sammenfattende vurderinger, NIVA, Oslo.

Undersøkelsene i Lygna samt modellberegninger av næringssalttilførselen til Indre Lyngdalsfjord gir grunnlag for å bedømme hvor mye overføringen av kommunalt avløpsvann til Rosfjorden kan ha redusert den samlede tilførselen av fosfor og nitrogen fra land til Indre Lyngdalsfjord. Med grunnlag i beregninger for 1994 finner man at reduksjonen for hele året er henholdsvis ca. 13% (fosfor) og ca. 2% (nitrogen).

Analyser av bunnsedimentene i Indre Lyngdalsfjord tyder på at dypvannet var godt oksygenert frem til utover på 1500-tallet, da det sporadisk ble utviklet anoksiske forhold. På 1800-tallet var dypvannet blitt nærmest permanent anoksiske, med periodevis anoksia helt opp til 30-40 m vanddyp. Anoksiske bunnvann har dominert på større dyp enn 30-40 m siden ca. 1950 og har tidvis påvirket fjordbunnen opp til 20 m vanddyp.

Resultatene fra to vannkjemiske prøveserier i 2. halvår 1996 (juli og november) er sammenlignet med vannkjemisk data tilbake til 1933. Datamaterialet er for spinkelt for å kunne gi sikre konklusjoner, men tyder på en forverring av oksygenforholdene fra tidlig på 1970-tallet. Det kan være flere årsaker til dette:

- større avrenning til fjordområdet fra nedslagsfeltet, og da spesielt via Lygna. Årsaken vil være økt bidrag fra bakgrunnsavrenning samt økt tilførsel fra skog- og fra jordbruksarealer
- større direkte utslipp til fjordområdet som følge av økt befolkning og industriaktiviteter.
- trolig økt tilførsel av organisk stoff fra kystvannet, der en økt belastning er registrert så langt vest som til Lista-Jæren. Til dette kan komme et økt bidrag fra Farsund by.

Basert på bruk av til dels enkle modeller og overslagsberegninger, synes følgende å være klart:

1. *De dårlige oksygenforholdene i Indre Lyngdalsfjord skyldes i hovedsak naturgitte topografiske forhold samt avrenningen fra nedbørsfeltet. To grunne terskler og den store og dype Ytre Lyngdalsfjord vil effektivt redusere muligheten for innstrømning av tilstrekkelig volum av tungt sjøvann slik at dypvannet skiftes ut.*
2. *Tiltak for å redusere de direkte, menneskeskapt utslippene av næringssalter og organisk stoff, vil ikke fjerne oksygenproblemene men kan gi en viss positiv effekt. Virkninger fra overføringen til Rosfjorden vil neppe være mulig å registrere som bedring av oksygenforholdene i Indre Lyngdalsfjord. Det samme gjelder for en viss bedring av siktedypet, mens fjerning/reduksjon av vannhygieniske problem bør være lettere å registrere.*
3. *Hvis man på kort sikt vil bedre oksygenforholdene, må man sannsynligvis sette i gang tiltak som bedrer dypvannsutskifningen. Aktuelle metoder er da f.eks. utslipp av komprimert luft eller ferskvann til dypvannet. Størrelsen av fjorden tilsier at dimensjonering og kostnader må vurderes nøye.*

1. Bakgrunn og formål

1.1. Bakgrunn for undersøkelsen

Lyngdalsfjorden strekker seg fra Farsund til Lyngdal, og inndeles oftest i Ytre og Indre Lyngdalsfjord (Figur 1.1) som er henholdsvis ca. 255 m og 116 m dype. Ytre Lyngdalsfjord har en ca. 18 m dyp terskel ved Farsund, og Indre Lyngdalsfjord har en ca. 6 m dyp terskel. Tersklene hindrer vannutskiftningen og legger forholdene til rette for oksygenproblemer i dypvannet innenfor.

Tidligere er det gjort flere spredte undersøkelser i området:

- Strøm (1936): vurdering av vannkjemiske og sedimentgeokjemiske resultater fra prøver tatt sommeren 1933.
- Kolstad et al. (1973): en resipientundersøkelse av fjordområdene omkring Farsund, utført i 1971-72.
- Molvær (1982): vurdering av data fra hydrokjemiske målinger i Indre og Ytre Lyngdalsfjord, gjennomført av Fylkesmannen i Vest-Agder i august 1980.
- Molvær (1992): vurdering av data fra vannkjemiske målinger i Indre og Ytre Lyngdalsfjord, gjennomført av Fylkesmannen i Vest-Agder i tidsrommet mars 1988-november 1989 (12 prøveserier). Dertil kom prøver fra oktober 1978 og november 1979.

Fra 1987 har Lyngdal kommune overført kommunalt avløpsvann tilsvarende 1390 pe til Rosfjorden. Dette avløpsvannet gikk tidligere til Lygna og til Indre Lyngdalsfjord. På bakgrunn av dette ønsker Fylkesmannen i Vest-Agder og Lyngdal kommune en oppdatert beskrivelse av tilstanden i Lyngdalsfjorden, og spesielt Indre Lyngdalsfjord.

1.2. Formål

I brev av 29.5 1996 formulerte Lyngdal kommune følgende målsetting med undersøkelsene i fjorden:

1. *Har omleggingen i avløpsnettet hatt noen effekt på vannkvaliteten i Lyngdalsfjorden?*
2. *Er tilstanden i Lyngdalsfjorden som forventet, sett i forhold til topografi, ferskvannstilførsel og vannutskiftning?*

I prosjektforslaget av 29.8 1996 ble dette konkretisert til:

- I. *Undersøkelsen skal beskrive tidsutviklingen mht. oksygen i dypvannet for Indre Lyngdalsfjord over et tidsrom på mer enn 100 år.*
- II. *Undersøkelsen skal gi en faglig vurdering av hvorvidt oksygenforholdene i Indre Lyngdalsfjord er som forventet, sett i forhold til topografi, ferskvannstilførsel og vannutskiftning - eller om de påvirkes i merkbar grad at menneskeskapt tilførsler av næringssalter og organisk stoff.*
- III. *Med grunnlag i pkt. 2: vurdere om Lyngdal kommunes omlegging av avløpsnettet har hatt noen effekt på oksygenforholdene i Lyngdalsfjorden.*

Med andre ord: fokus på oksygenforholdene i Indre Lyngdalsfjord.

På dette grunnlaget ble undersøkelsene delt i tre elementer:

- a) Vannkjemiske undersøkelser i Lygna: NIVAs avdeling i Grimstad (Kaste og Håvardstun, 1997)
- b) Miljøstratigrafiske undersøkelser i Indre Lyngdalsfjord: Institutt for geologi, Universitetet i Oslo (Alve, 1997).

- c) Vannkjemiske undersøkelser og sammenfattende vurderinger av Indre Lyngdalsfjord:
NIVA, Oslo.

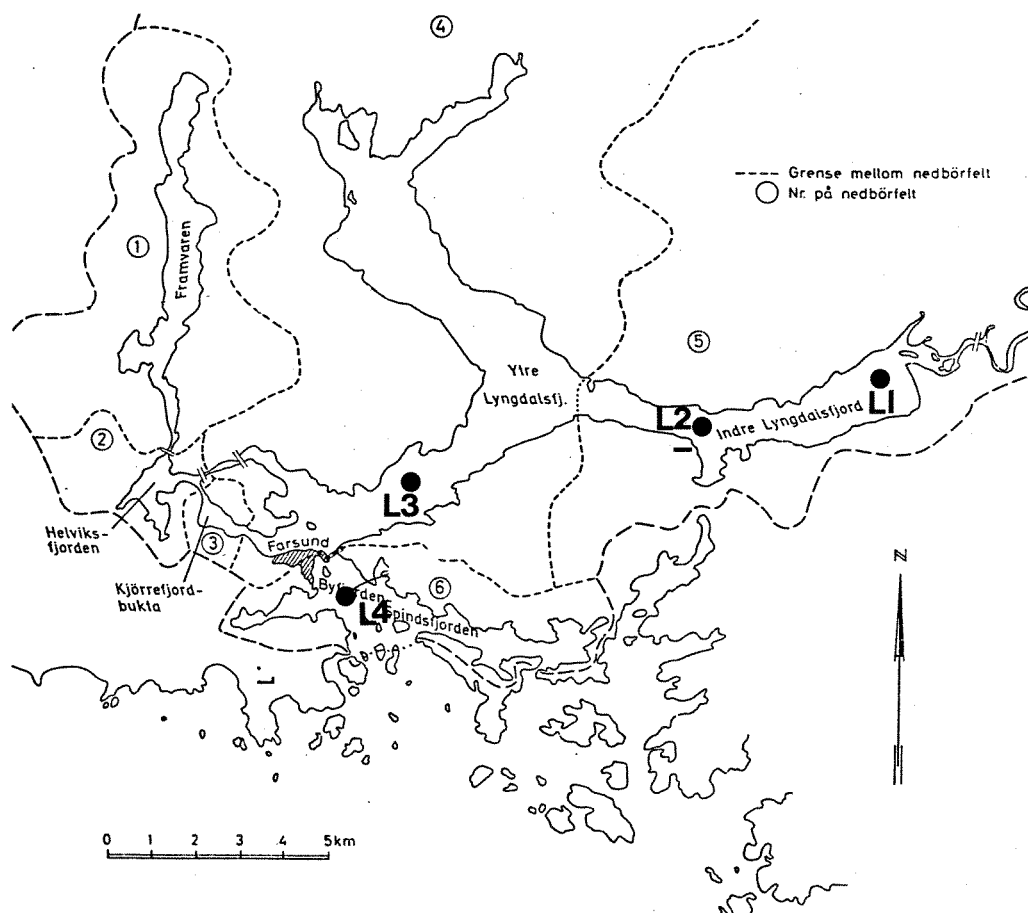
Den foreliggende rapport gjelder pkt. c). Av økonomiske grunner ble omfanget av denne delundersøkelsen betydelig redusert under planleggingen av prosjektet og etter at første prøveinnsamling var gjennomført. I stor grad benyttes derfor data fra tidligere undersøkelser, samt data og informasjon fra pkt. a)-b).

2. Kort beskrivelse av Lyngdalsfjorden

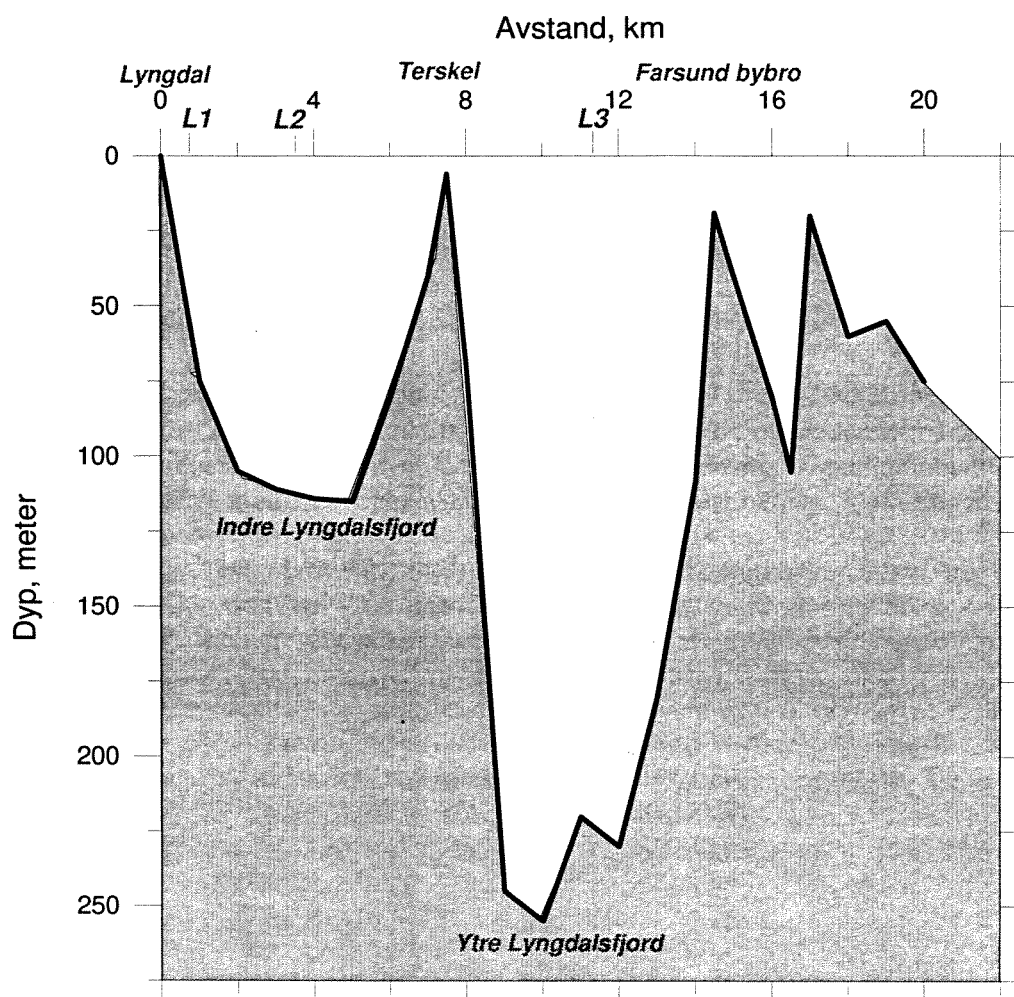
2.1 Topografi og ferskvannstilførsel

En oversikt over Lyngdalsfjorden og en langsgående bunnprofil er vist i Figur 2.1-2.2, og man ser at Lyngdalsfjorden er en utpreget terskelfjord. Indre Lyngdalsfjord er skilt fra kystvannet av tre grunne og tildels smale terskler. Den store og dype Ytre Lyngdalsfjord utenfor den innerste terskelen vil fungere som et "fordrøyningsbasseng" under innstrømninger med nytt vann over terskelen ved Farsund, og bare de største innstrømningene vil kunne bringe nytt vann over terskelen til Indre Lyngdalsfjord. Tabell 2.1 sammenfatter de viktigste topografiske data for fjorden.

Det meste av ferskvannet tilføres Indre Lyngdalsfjord fra Lygna, som har en midlere vannføring på 35 m³/s (Kaste og Håvardstun, 1997). Samlet ferskvannstilførsel som årlig gjennomsnitt antas å være ca. 40 m³/s, se figur 2.3 og 2.4.



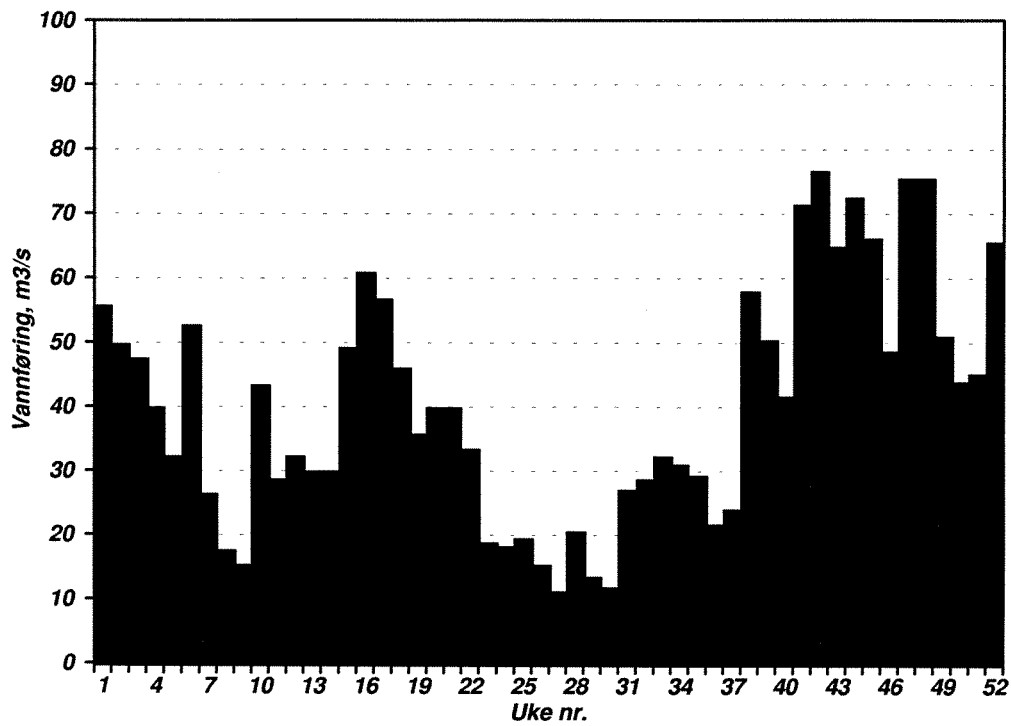
Figur 2.1 Kart over Ytre og Indre Lyngdalsfjord, med posisjon for hydrokjemistasjoner.



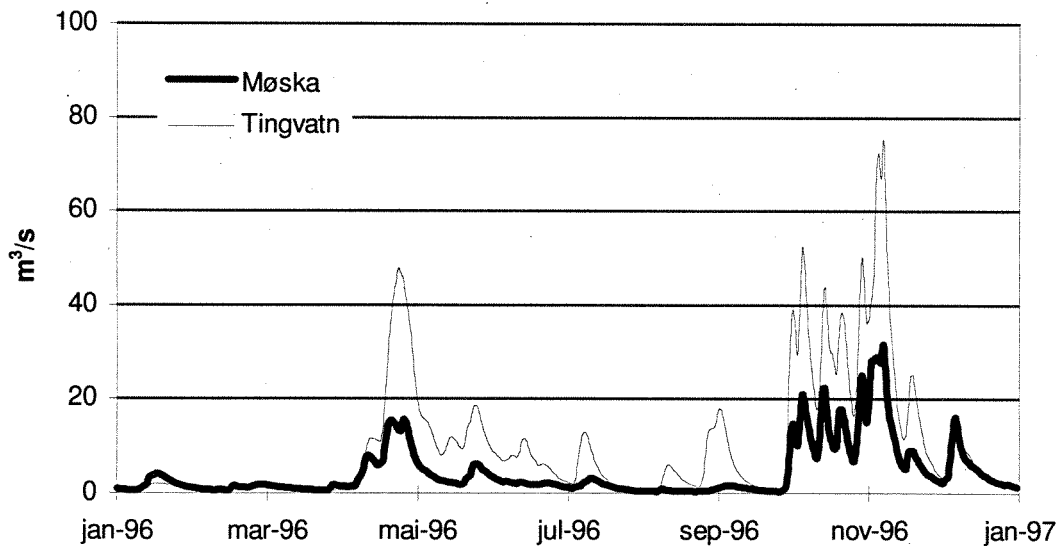
Figur 2.2. Langsgående bunnprofil for Ytre og Indre Lyngdalsfjord (fra NIVA 1973). Posisjonene for stasjonene L1, L2 og L3 er avmerket på lengdeskalaen.

Tabell 2.1 Topografiske grunnlagsdata for Lyngdalsfjorden (etter Kolstad et al., 1973).

	Ytre Lyngdalsfjord	Indre Lyngdalsfjord
Areal, km ²	32	7.7
Maks. dyp, m	255	116
Terskeldyp innover, m	6	
Terskeldyp utover, m	18	6
Volum, mill. m ³	2984	426
Volum bassengvann (m ³)	2452*10 ⁶	381*10 ⁶



Figur 2.3 Gjennomsnittlige ukemidler av vanntilførsel til Indre Lyngdalsfjord, beregnet av data fra 1978-89 (kilde: NVE)



Figur 2.4 Vannføring (døgnverdier) i 1996 ved stasjonene Tingvatn (utløp Lygna) og sidevass- draget Møska (utløp Lyngdal sentrum) (Kaste og Håvardstun, 1997).

2.2 Tilførsler av næringsalter

Kaste og Håvardstun (1997) har gjort en vurdering av transporten av fosfor og nitrogen i Lygnavassdraget, og nedenforstående data og tekst er delvis hentet derifra. De vannkjemiske dataene som er samlet inn i løpet av vassdragsundersøkelsen (5 prøver) er for lite til å gjennomføre pålitelige beregninger av stofftransport, selv i større vassdrag som Lygna. Fosfor- og nitrogenkonsentrasjonen ved utløpet til Lyngdalsfjorden varierte mellom 4-7 µg P/l og 350-530 µg N/l i løpet av undersøkelsen. Dersom en antar at de respektive middelkonsentrasjonene ligger innenfor disse intervallene, tilsvarer dette transportverdier på 4-8 tonn fosfor/år og 390-590 tonn nitrogen/år ved normal vannføring. Som nevnt ovenfor er disse transporttallene svært usikre, men de gir en indikasjon på næringsstofftransportens størrelsesorden. I tillegg til variasjoner i fosfor- og nitrogenkonsentrasjonene i vassdraget, vil år til år variasjoner i vannføring kunne påvirke transporttallene med en faktor på ± 20-40%.

Den samlede tilførselen av nitrogen og fosfor til Indre Lyngdalsfjord er ikke godt kjent. Resultatet av beregninger ved bruk av modellen TEOTIL er vist i tabell 2.2. Modellen anvender data fra ulike dataregistre sammen med koeffisienter for avrenning og retensjon.

Tabell 2.2. Tilførsler av nitrogen og fosfor i 1994 (kilde Bratli og Tjomsland, 1996)

	Totalt	Bakgrunn	Jordbruk	Befolkning	Industri
Fosfor (tonn)	6.6	3.9	1.45	0.43	0.83
Nitrogen (tonn)	276	240	27	7.6	1.4

Man kan ikke uten videre vente overensstemmelse når man sammenligner teoretiske beregninger for et spesifikt år (1994) med beregninger basert på et lite antall målinger et annet år (1996). For fosfor ser vi imidlertid at totaltallene stemmer bra, mens for nitrogen gir modellen en betydelig lavere årstransport enn beregninger basert på målinger i vassdraget.

I et stort vassdrag som Lygna vil mye av næringsstofftransporten stamme fra naturlige, ikke-menneskeskapte kilder. Dette gjelder spesielt transporten av nitrogen. Av de 1630 husstandene nedstrøms Vegge føres kloakken fra 1390 bort fra vassdraget. De resterende 240 husstandene har enten infiltrasjon (65%) eller utslipp via slamavskiller. Basert på koeffisienter foreslått av Bratli et al. (1997) kan næringsstoffbidraget fra de ikke-tilknyttede husstandene beregnes til anslagsvis 135 kg fosfor og 1900 kg nitrogen årlig. I tillegg til dette vil sannsynligvis lekkasjer på det kommunale avløpsledningsnett medføre ytterligere næringsstoffbidrag. I følge Bratli et al. (1997) kan en normalt regne med et tap på 7-25% på normale norske ledningsnett med varierende tilstand. Dersom dette overføres til Lygnavassdraget, vil tap fra ledningsnett nedstrøms Vegge kunne bidra med anslagsvis 50-250 kg fosfor og 400-1500 kg, avhengig av ledningsnettets tilstand.

I tidsrommet 1987-96 ble kommunalt avløpsvann tilsvarende 1390 personekvivalenter overført til Rosfjorden fra utslipp til Lygna og Lyngdalsfjorden. Regnet som nitrogen, fosfor og organisk stoff tilsvarer dette pr. år en overføring av 6.1 tonn nitrogen, 0.9 tonn fosfor og for organisk stoff 23.3 tonn oksygen regnet som biokjemisk oksygenforbruk.¹ Jevnført med tabell 2.1 ser det ut til at overføringen har redusert gjennomsnittstilførselen av fosfor og nitrogen fra land til Indre Lyngdalsfjord med henholdsvis ca. 13% og ca. 2%. Den prosentvise endringen av fjordens totale næringsaltbudsjett blir mindre fordi dette også inkluderer næringsalter som tilføres gjennom

¹ 1 personekvivalent tilsvarer: 12 gN/døgn, 1.7 gP/døgn samt 46 gO/døgn som BOF.

vannutvekslingen med området utenfor terskelen. I tillegg medfører denne vannutvekslingen en "import" av marint organisk stoff som nedbrytes og forbruker oksygen i Indre Lyngdalsfjord.

3 Feltarbeid og metodikk

3.1 Feltarbeid

I 1996 ble det tatt vannprøver ved to anledninger:

- Den 30.7 1996 ble det tatt prøver ned til 20-30 m dyp på st. L1 , L2 og L3 se Figur 1.1. Temperatur, saltholdighet, oksygen/hydrogensulfid, total nitrogen, nitrat, ammonium, total fosfor, fosfat og klorofyll a ble målt i alle dyp. Vannføringen i Lygna var bare ca. 3 m³/s, og ferskvannstilførselen til fjordområdet dermed liten.
- I tidsrommet 8-12.11 1996 ble det tatt prøver på de samme stasjonene, samt st. L4. Prøvene ble tatt i 0,5, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50, 75, 100, 150, 200 m dyp. Prøver for klorofyll ble ikke tatt fordi denne parameteren er lite relevant i vinterhalvåret. Nederste dyp ble tilpasset bunndypet på stedet. Vannføringen i Lygna var ca. 55-60 m³/s, og ferskvannstilførselen til fjordområdet dermed relativt stor.

Prøvetaking og vannanalyser ble utført av mannskap fra Vannlaboratoriet ved Høgskolen i Agder, Kristiansand.

3.2 Modeller og databehandling

Den vannkjemiske undersøkelsen har hovedvekt på pkt. II-III av målsettingen i kap. 1.2. Vurderingen om oksygenforholdene påvirkes av menneskeskapte tilførsler av næringssalter og organisk stoff må i stor grad bygge på teoretiske betraktninger. Her vil vi i stor grad støtte oss til datamodellen Fjordmiljø, hvor man kan beregne siktedyp og oksygenforbruk ved ulike belastninger (Aure og Stigebrandt, 1989). Utover dette anvendes mer generelle relasjoner mellom næringssalttilførsler og oksygenforbruk.

Som grunnlag for bedømmelse av oksygenforholdene, viser Tabell 3.1 klassifiseringsgrunnlaget i SFTs reviderte veiledning i klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann.

Tabell 3.1. Tilstandsklassifisering for oksygen i dypvann (fra Molvær et al., 1997).

Parametre	Tilstandsklasser				
	I Meget god	II God	III Mindre god	IV Dårlig	V Meget dårlig
Oksygen (ml O ₂ /l)	>4.5	4.5-3.5	3.5-2.5	2.5-1.5	<1.5

Resultatene av de vannkjemiske målingene og analysene er gjengitt som Vedlegg til rapporten.

Datamaterialet fra de to prøveseriene i 1996 gir ikke tilstrekkelig grunnlag for en statistisk sammenligning av oksygenforholdene før og etter omleggingen av avløpsnett. Den vurderingen må

gjøres på grunnlag av tall for den samlede tilførselen av næringssalter og organisk stoff til Indre Lyngdalsfjord, med støtte i resultatene fra beregningene under mål II.

4. Resultater

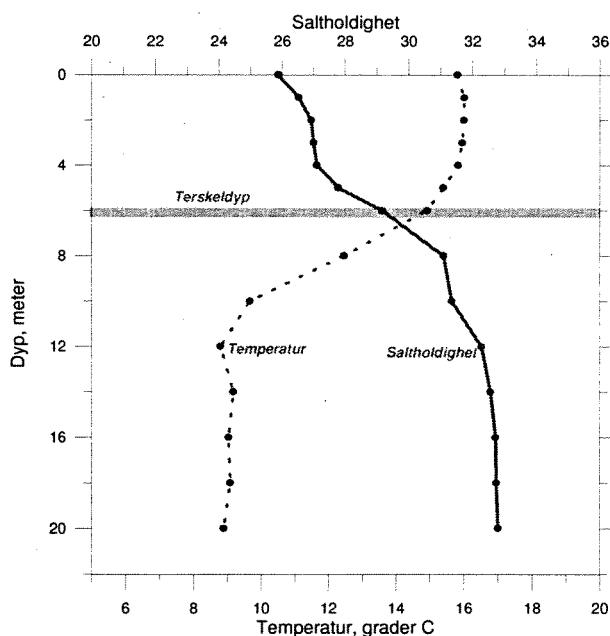
I det etterfølgende blir resultatene fra juli og november 1996 presentert, med hovedvekt på oksygenforholdene. Som grunnlag for å bedømme oksygenforholdene ved disse to tidspunktene vil vi bruke de norske miljøkvalitetskriteriene for fjorder (Molvær et al., 1997). Vi skal også ta i betraktning at etter den kalde vinteren i 1996 fulgte uvanlig store dypvannsfornyelser i terskelfjordene i Sør-Norge. Dette kan også gjelde for fjordene ved Farsund.

For de øvrige parametrene er en prøveserie fra sommerhalvåret og en fra vinterhalvåret for lite til at man kan gjøre en klassifisering av tilstanden i Lyngdalsfjorden.

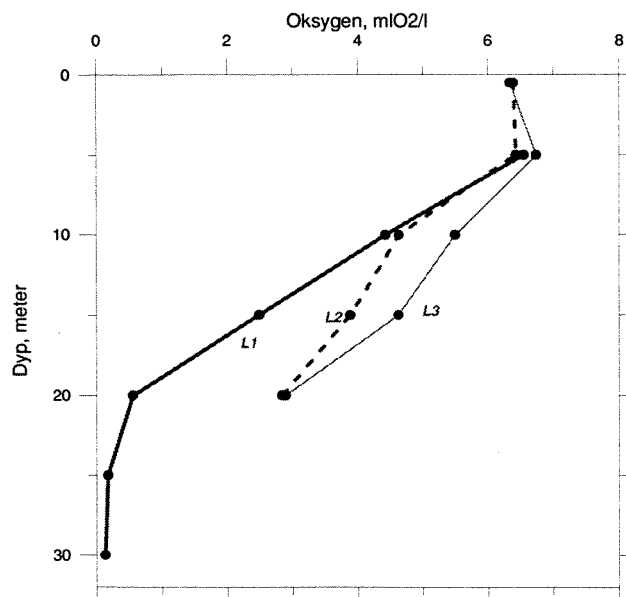
4.1 Vannkjemiske undersøkelser i juli 1996

Målingene og prøvene som ble innsamlet den 30.7 1996 skulle i hovedsak beskrive tilstanden i de øverste 20-30 m av vannmassene i fjordområdet. Vannføringen i Lygna var bare omkring 3 m³/s. Resultatene er vist i Figur 4.1-4.5 og i det følgende gis en kort vurdering av disse.

Som følge av liten ferskvannstilførsel var det relativt høy *saltholdighet* (ca. 26-27) i overflatelaget i Indre Lyngdalsfjord (Figur 4.1). Fra terskeldypet omkring 6 m og ned til ca. 12 m dyp var det en blandingssone med økende saltholdighet og avtakende temperatur. Dypere nede var vannmassen forholdsvis homogen.



Figur 4.1. Vertikalprofil for temperatur og saltholdighet på stasjon L2 den 30.7 1996.



Figur 4.2. Oksygen på stasjonene L1, L2 og L3 den 30.7 1996

Oksygenforholdene ned til 20-30 m dyp er vist i Figur 4.2. Under brakkvannslaget avtok konsentrasjonene raskt, og jevnført med de norske miljøkvalitetskriteriene for oksygen (Tabell 3.1) var forholdene på stasjon L2 og L3 mindre gode (<3.5 mlO₂/l) mellom ca. 15 m og 20 m dyp mens tilstanden på st. L1 var dårlige (<2.5 mlO₂/l) mellom ca. 15 og 17 m og meget dårlig (<1.5 mlO₂/l) fra ca. 17 m og ned til 30 m dyp.

Fosforkonsentrasjonene mellom overflaten og 20 m dyp i Indre (stasjon L2) og Ytre Lyngdalsfjord (stasjon L3) var forholdsvis ulike (Figur 4.3-4.4) ved at konsentrasjonene på stasjon L3 var høyere og økte sterkt med dypet. Nitrogenkonsentrasjonene var ikke så ulike, men høyeste konsentrasjoner av ammonium i overflaten på st. L2. På begge stasjoner var det en markert konsentrasjonsøkning fra 15 m til 20 m dyp.

Konsentrasjonen av klorofyll *a* var lav på alle de tre stasjonene hvor prøver ble innsamlet (Figur 4.5).

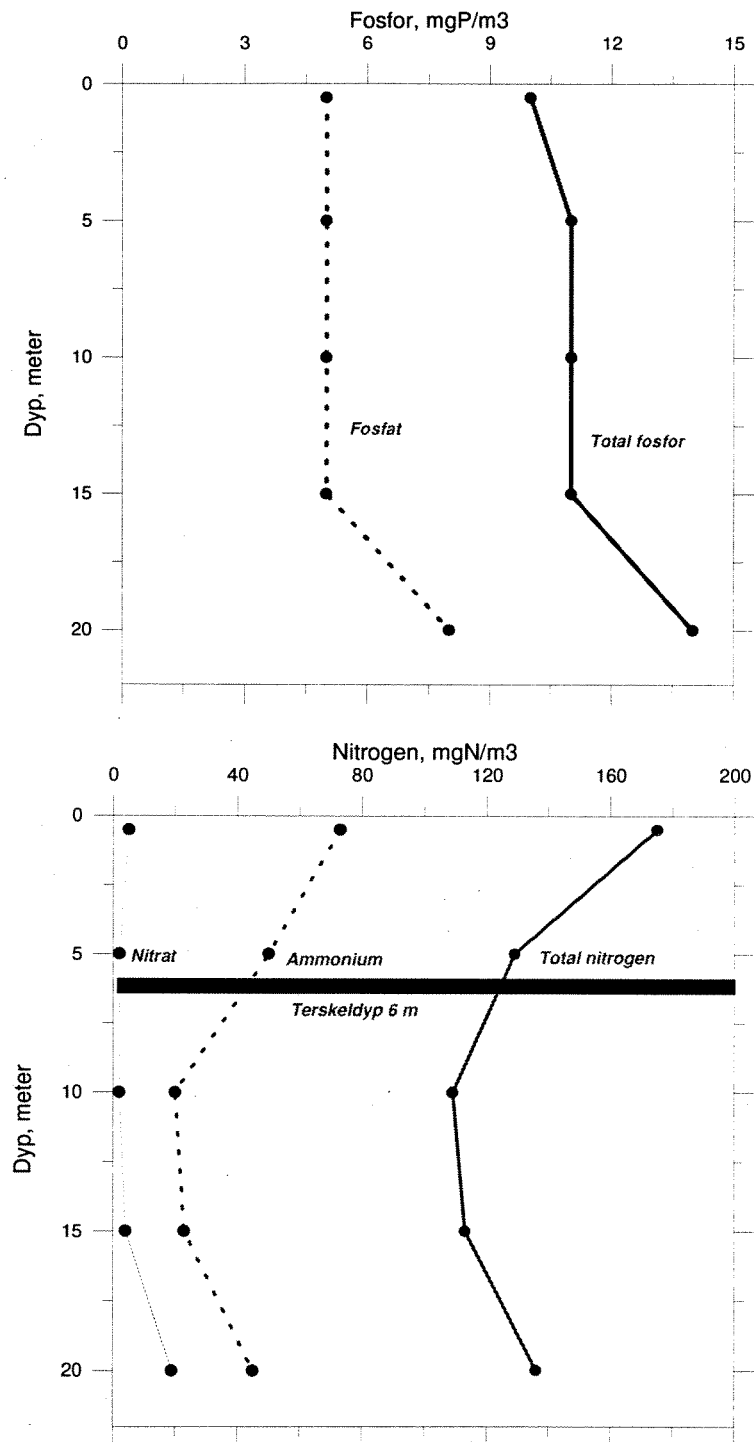
Samlet sett viser denne prøveserien en situasjon med god vannfornyelse over terskelnivåene for Ytre og Indre Lyngdalsfjord, og stagnasjon med raskt synkende oksygenkonsentrasjon og økende næringsaltkonsentrasjoner i vannmassen nedover mot 20 m, som var nederste måledyp.

Siktedypet ble målt til:

L1: 7.5 m	L3: 7.4 m
L2: 7.8 m	L4: 9.0 m

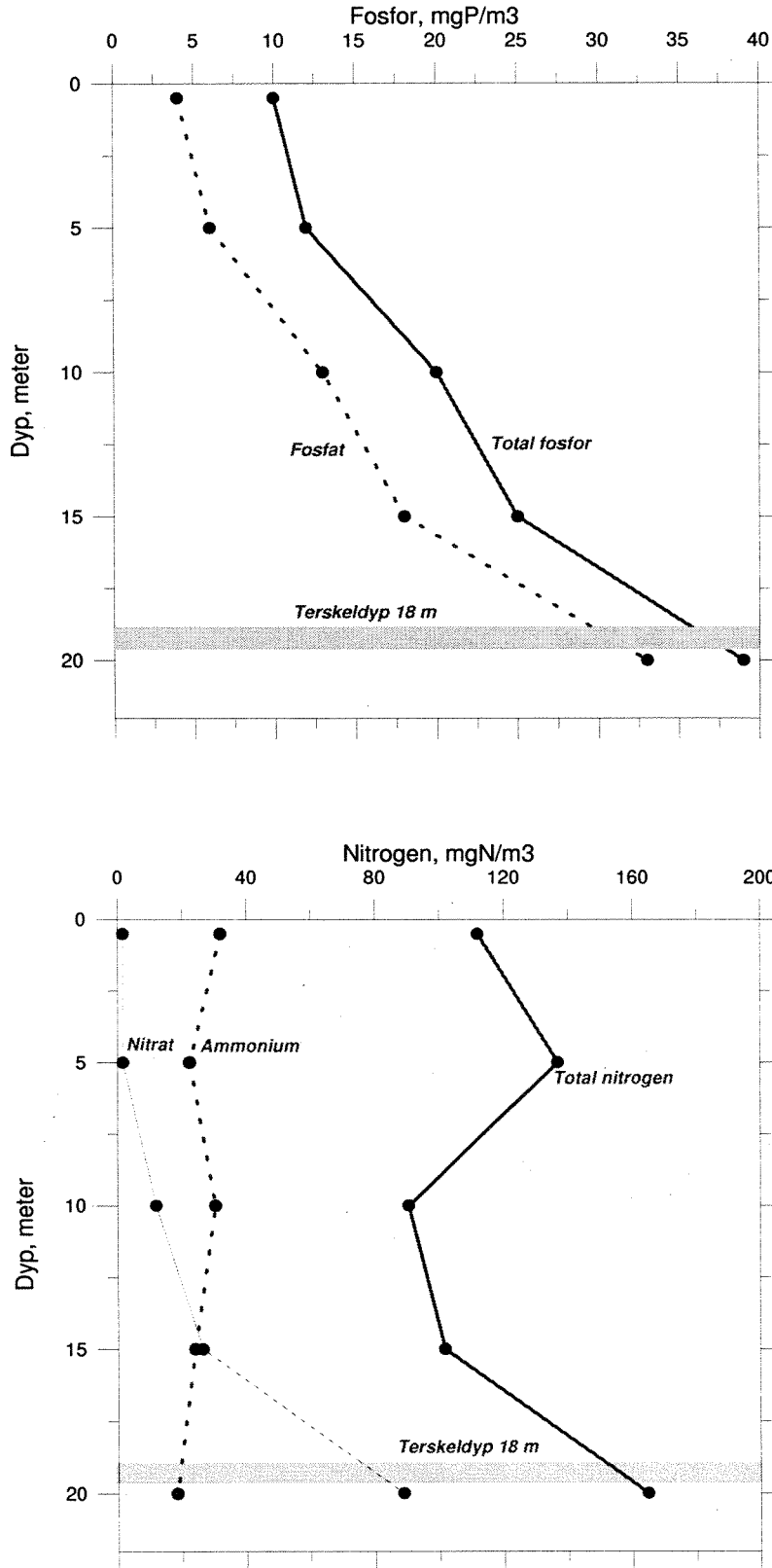
På stasjonene L1-L3 ble fargen avlest som "Grønn-grå", men "Blå-grønn" ble notert for stasjon L4 ved Farsund. En enkel måleserie gir ikke grunnlag for klassifisering av tilstanden i forhold til SFTs klassifiseringssystem (Molvær et al., 1997). Men det er likevel interessant å legge merke til at dette systemet angir klasse I (Meget God) for et gjennomsnittlig siktedyp større enn 7.5 m.

Grunnen til at siktedypet var mindre i Lyngdalsfjordområdet enn ved Farsund kan man her bare spekulere over. Men de to viktigste faktoren er trolig større andel partikkelholdig ferskvann i brakkvannslaget i Lyngdalsfjorden enn ved Farsund, og eventuelt en større bestand av planteplankton. Tatt i betraktning lave konsentrasjoner av klorofyll *a* og små forskjeller stasjonene imellom (Figur 4.5), er forskjellig partikkelinnhold (silt, leire) den mest sannsynlige forklaringen.



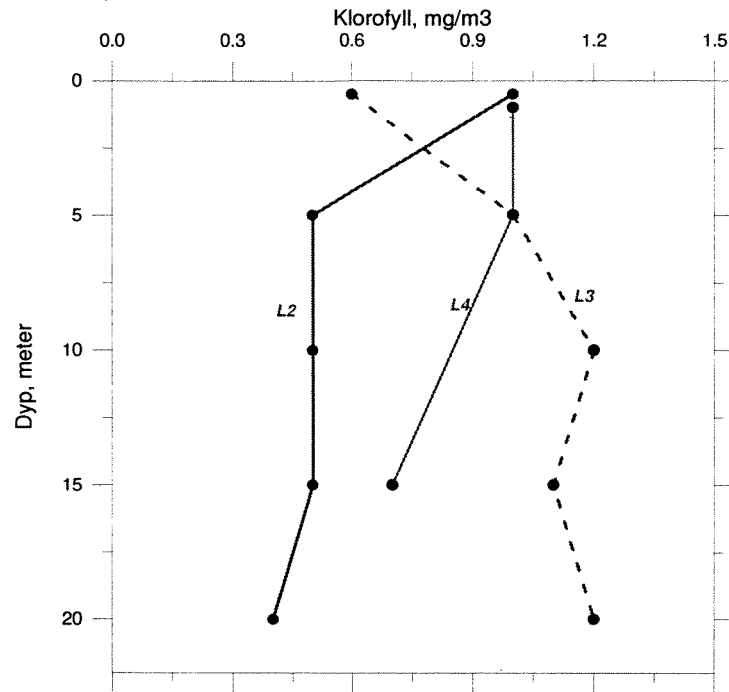
Figur 4.3.

Vertikalprofil av fosfor og nitrogen på stasjon L2 den 30.7 1997



Figur 4.4.

Vertikalprofil av fosfor og nitrogen på stasjon L3 den 30.7 1997



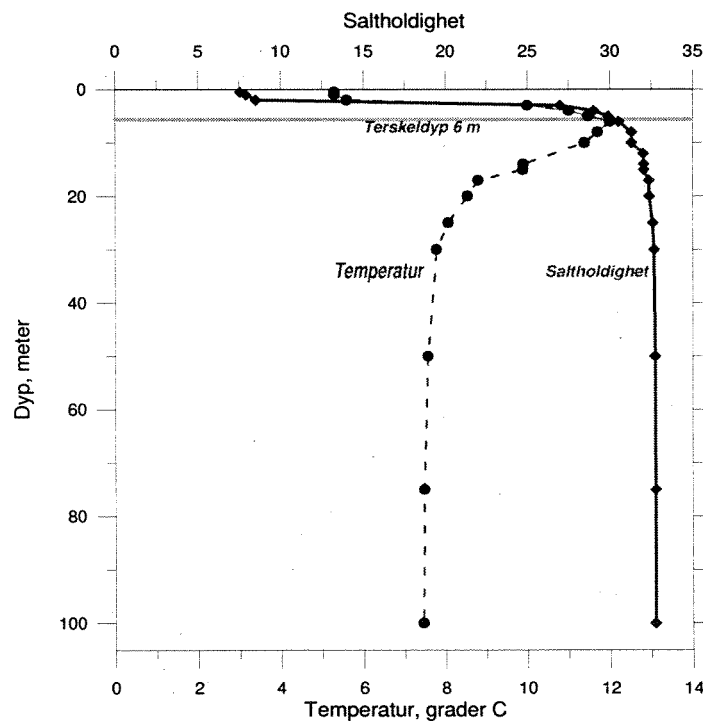
Figur 4.5. Klorofyll a på stasjonene L2, L3 og L4 den 30.7 1996

4.2 Vannkjemiske undersøkelser i november 1996

Målingene og prøvene som ble innsamlet den 12.11 omfattet hele vertikalprofilen for vannmassene i fjordområdet. Vannføringen i Lygna var 55-60 m³/s, dvs. relativt stor ferskvannstilførsel til fjordområdet. Resultatene for st. L1-L3 er vist i Figur 4.6-4.13 og i det følgende gis en kort omtale av disse. I motsetning til prøvene fra en situasjon med liten ferskvannstilførsel i juli, beskriver altså denne prøveserien et tidspunkt i vinterhalvåret med langt større ferskvannstilførsel.

Relativt stor ferskvannstilførsel har medført lav *saltholdighet* (ca. 7-8) i overflatelaget i Indre Lyngdalsfjord (Figur 4.6). Fra terskeldypet omkring 6 m og ned til ca. 15 m dyp var det en blandingssone med økende saltholdighet. Dypere nede var vannmassen forholdsvis homogen.

Som et resultat av relativt lav temperatur i ferskvannet som ble tilført fjorden samt synkende lufttemperatur, var brakkvannslaget betydelig kaldere enn det underliggende sjøvannet.

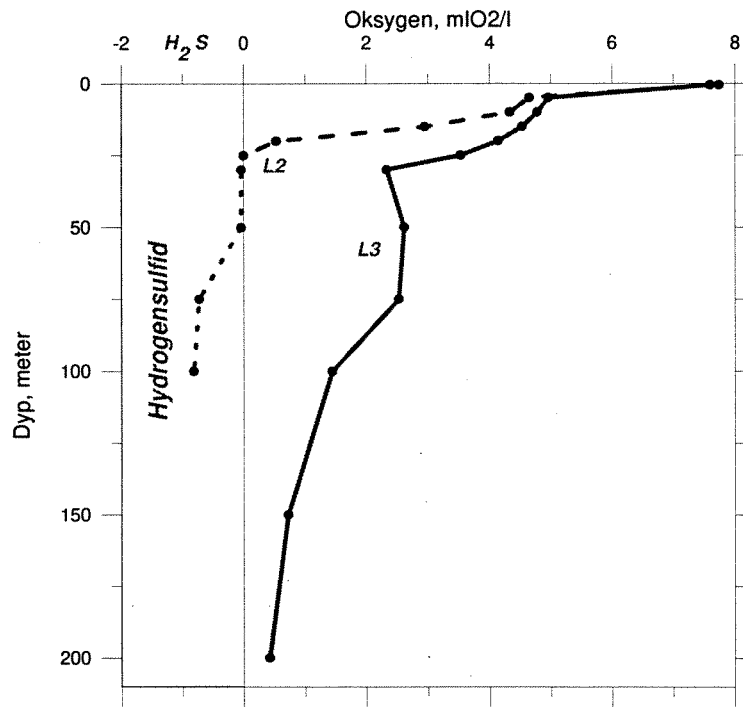


Figur 4.6. Vertikalprofil av temperatur og saltholdighet på stasjon L2 den 12.11 1996

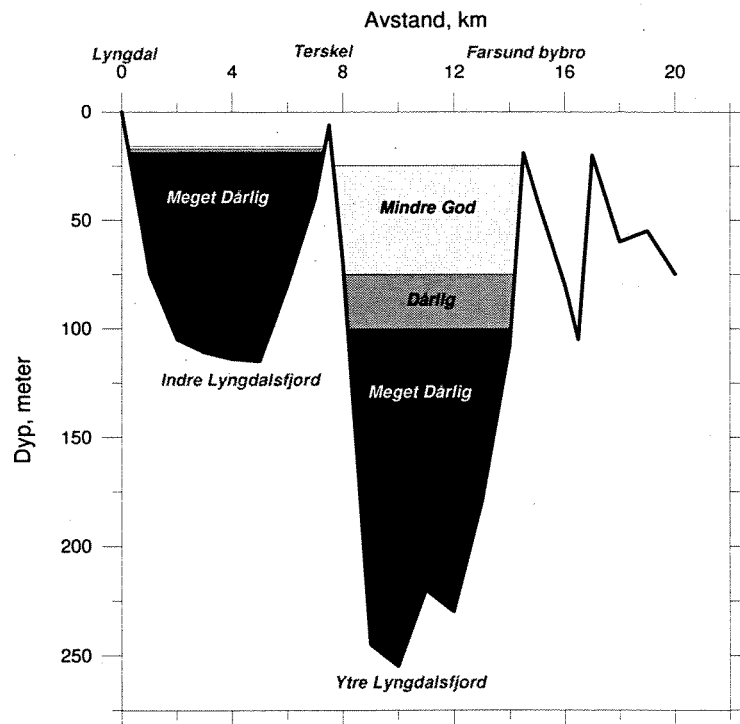
Okseygenforholdene er vist i Fig. 4.7-4.9. I Ytre Lyngdalsfjord var det oksygen helt til nederste måledyp (200 m). Konsentrasjonen videre ned til ca. 250 m dyp ble ikke registrert, men man kan fastslå at tilstanden i hele vannmassen under ca. 100 m dyp var meget dårlig (jvnfør Tabell 3.1). Den vertikale oksygenprofilen kan tyde på at det i første halvår 1996 foregikk en delvis dypvannsfornyelse ned til minst 150 m dyp.

Som ventet var forholdene i Indre Lyngdalsfjord betydelig dårligere, noe som skyldes mindre vannutskiftning pga. den grunne terskelen og nærhet til hovedkildene for tilførsel av organisk stoff og næringssalter. Generelt må tilstanden karakteriseres som meget dårlig allerede i 18-20 m dyp, med hydrogensulfid fra ca. 25 m dyp og til bunnen på ca. 110 m dyp. Tilstanden helt innerst i fjorden (stasjon L1, Figur 4.9) var imidlertid litt bedre, med målbar oksygenkonsentrasjon helt ned til 30 m

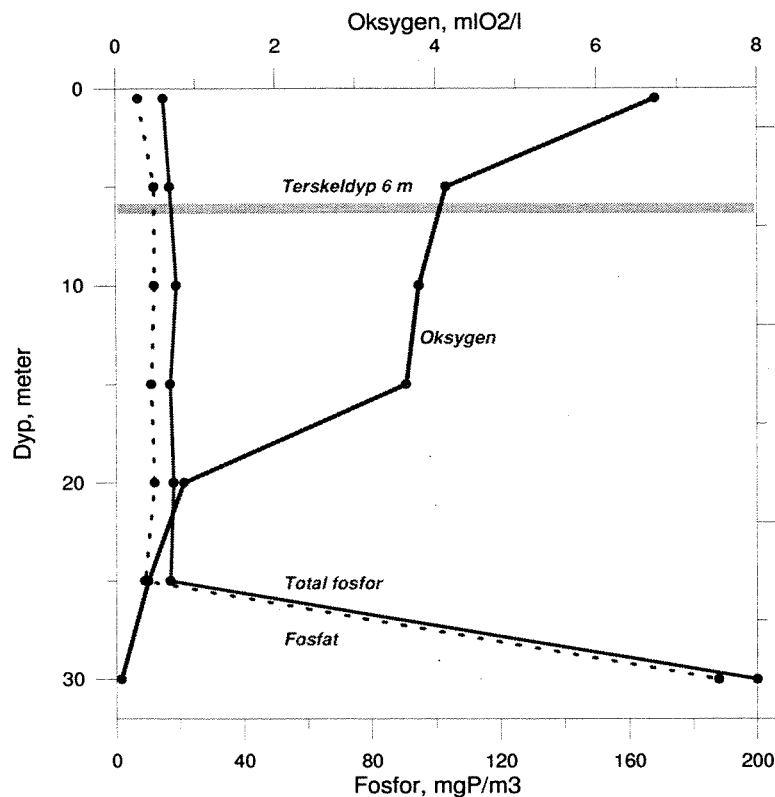
dyp.



Figur 4.7 Vertikalprofil for oksygen på stasjon L2 og L3 den 12.11 1997. På stasjon L2 ble målt hydrogen sulfid (H₂S) fra 25 m dyp.



Figur 4.8 Bunnprofil av fjordområdet med oksygenforhold i november 1996. Skravuren henviser til vannkvalitetsklassene III, IV og V i Tabell 3.1.



Figur 4.9. Vertikalprofil av oksygen og fosfor på stasjon L1 den 12.11 1996

Næringssaltkonsentrasjonene på stasjon L1-L3 er vist på Figur 4.9-4.13. Den ekstremt store konsentrasjonsøkningen for fosfor mellom 20 m og 30 m dyp på st. L1 og L2, skyldes stagnasjon av dypvannet med hydrogensulfid allerede i ca. 25 m dyp. Konsentrasjonen av ammonium økte også fra 20 m til 30 m dyp, men ikke så utpreget som for fosfor.

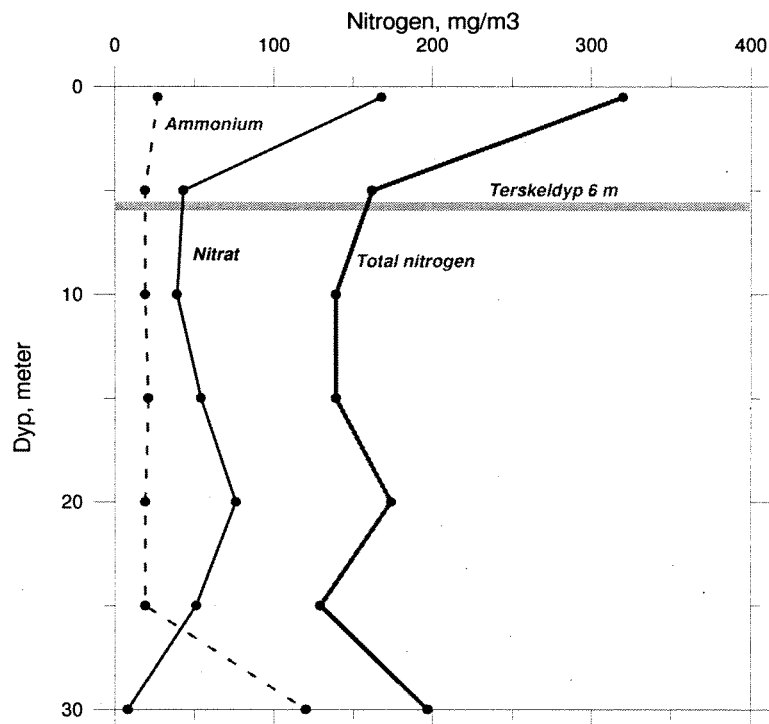
På stasjon L2 i Indre Lyngdalsfjord (Figur 4.11) er hovedbildet forholdsvis lave fosforkonsentrasjoner og høye nitrogenkonsentrasjoner i overflatelaget. Dette kan skyldes at overflatelaget i hovedsak besto av ellevann. I dypvannet økte fosforkonsentrasjonen pga. akkumulering av fosfor under stagnasjon av vannmassen, sedimentering og nedbryting av organisk stoff. Dette er ikke tilfelle for nitrogen, fordi nitrat denitrifiseres ved lave oksygenkonsentrasjoner. Effekten av denitrifiseringen sees tydelig av de lave nitratkonsentrasjonene i vannmassen med hydrogensulfid. Den kombinerte effekten av akkumulering av fosfor og denitrifisering sees også tydelig av forholdstallet mellom total nitrogen (TOTN) og total fosfor (TOTP). For marint organisk materialet regner man et forholdstall på ca. 7:1 som typisk, og et TOTN/TOTP-forhold som avtar fra ca. 50:1 i overflaten til ca. 0.7:1 i dypvannet viser dermed at i forhold til fosforkonsentrasjonen var det relativt mye nitrogen i overflaten og lite i dypvannet.

På stasjon L3 i Ytre Lyngdalsfjord (Figur 4.12-4.13) var bildet det samme mht. fosfor, men med lavere konsentrasjoner enn i Indre Lyngdalsfjord. Grunnen kan være lavere belastning og/eller større vannfornyelse som da vil fjerne fosfor fra dypvannet.

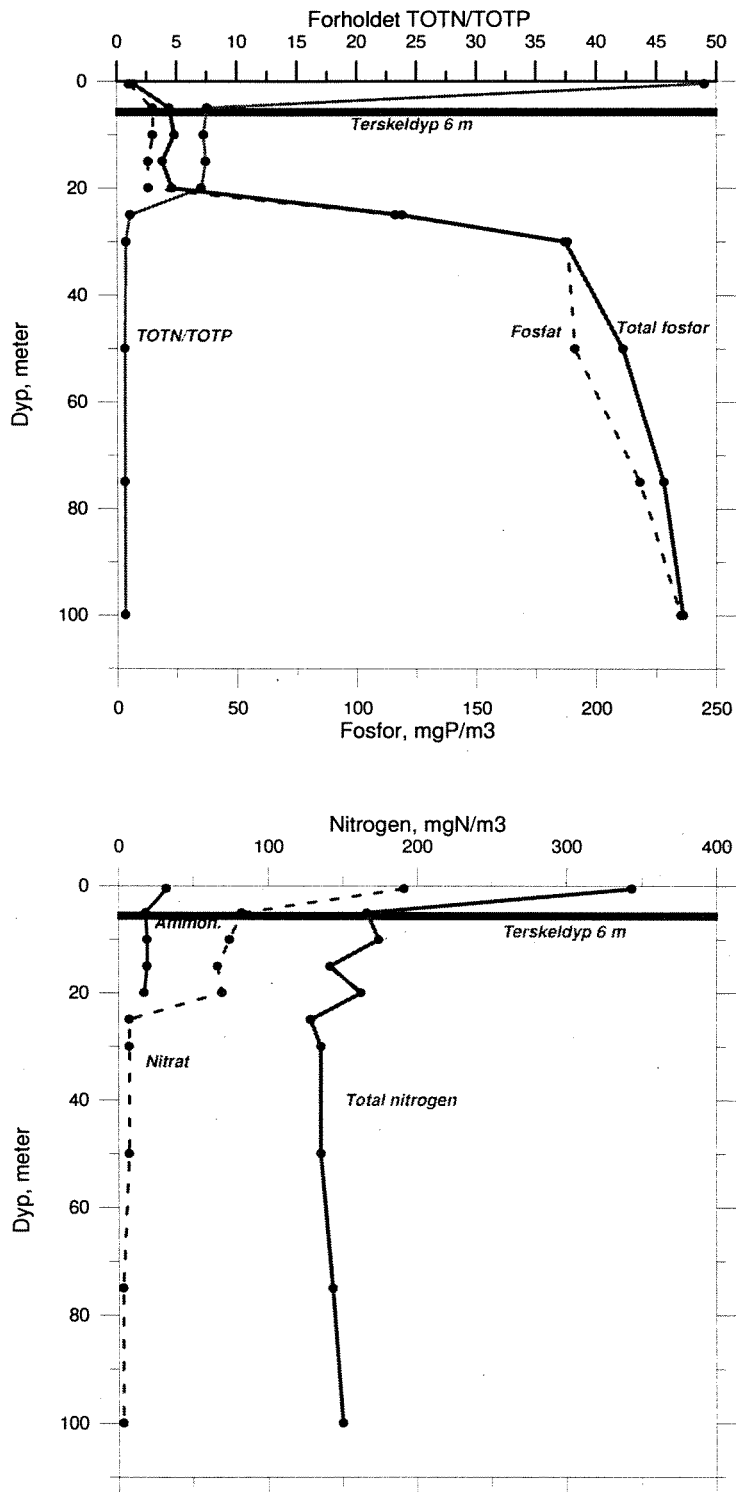
For nitrogen ble det også her registrert høye konsentrasjoner i brakkvannet og i dypvannet. I dypvannet var konsentrasjonene høyere enn i Indre Lyngdalsfjord. Årsaken er sannsynligvis at

oksygeninnholdet i vannmassene har medført at denitrifiseringen ikke hadde begynt, noe som passer med at man også målte høye konsentrasjoner av nitrat.

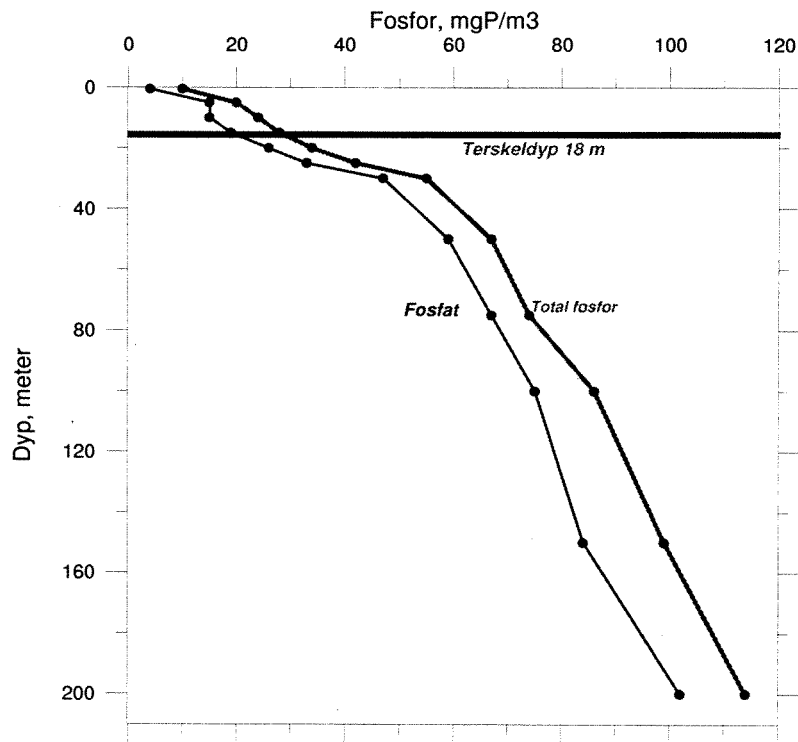
Ved dette toktet ble ikke siktedypet målt.



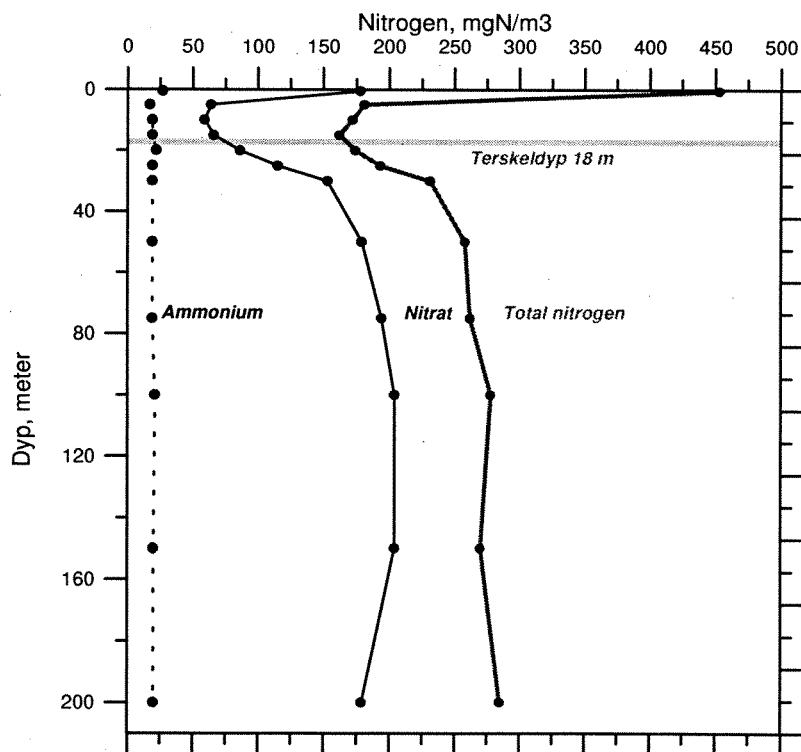
Figur 4.10. Vertikalprofil av nitrogen på stasjon L1 den 12.11 1996



Figur 4.11. Vertikalprofil av nitrogen, fosfor samt av forholdet total nitrogen/total fosfor på stasjon L2 den 12.11 1996



Figur 4.12. Vertikalprofil av fosfor på stasjon L3 den 12.11 1996



Figur 4.13 Vertikalprofil av nitrogen på stasjon L3 den 12.11 1996

4.3 Sammenligning med resultater fra tidligere undersøkelser

Foruten undersøkelsen i 1996 er oksygenforholdene i Indre og Ytre Lyngdalsfjord undersøkt ved to anledninger, med varierende omfang:

Undersøkelser på 30-tallet:

Strøm (1936) innsamlet vannprøver i Indre og Ytre Lyngdalsfjord i juni 1933. I indre fjord var oksygenkonsentrasjonen 0.46 mlO₂/l i 40 m dyp og 0 i 105 m dyp. I ytre fjord ble det målt 1.65 mlO₂/l i 100 m dyp og 0.27 mlO₂/l i 240. Et slikt situasjonsbilde vil være mye bestemt av vannutskifting, ferskvannstilførsel mm. i tiden forut, men for ytre fjord er det ikke så ulikt situasjonen i november 1996. Da var imidlertid tilstanden i indre fjord dårligere enn i juni 1933.

Undersøkelser på 70-80-tallet:

I tidsrommet juli og november 1971 og mai 1972 ble det tatt oksygenprøver i Indre og Ytre Lyngdalsfjord (Kolstad et al., 1973). I ytre fjord tydet et oksygenminimum på 1-1.5 mlO₂/l i omkring 80-100 m dyp og konsentrasjoner opp til 4.6 mlO₂/l dypere nede på en omfattende dypvannsfornyelse i løpet av første halvår 1971. I mai 1972 var konsentrasjonen fortsatt så høy som 2.9 mlO₂/l.

I november 1971 målte man hydrogensulfid fra 60 m dyp i indre fjord. Det ble ikke tatt prøver på den stasjonen i 1972.

I tidsrommet 1979-89 ble det utført undersøkelser av Vannlaboratoriet ved Høgskolen i Agder, Kristiansand, på oppdrag av Fylkesmannen i Vest-Agder. Resultatene ble senere vurdert og rapportert av Molvær (1982, 1992) og for en beskrivelse av metodikken henvises til disse to rapportene. Tilstanden i begge fjordområdene varierte mye. I Indre Lyngdalsfjord målte man hydrogensulfid i dypvannet opp til ca. 35 m dyp, og med meget dårlige forhold helt opp til ca. 25 m dyp. Man konkluderte med at tilstanden trolig hadde forverret seg etter undersøkelsen i 1971-72.

Også for Ytre Lyngdalsfjord konkluderte man med at tilstanden mot slutten av 1980-tallet var dårligere enn i 1971-72, med lange perioder med meget dårlige forhold under 70-80 m dyp.

Ser man disse resultatene i forhold til målingene i 1996, og tar i betraktning at det vinter-vår 1996 trolig foregikk en større fornyelse av dypvannet i Ytre Lyngdalsfjord, så er hovedinntrykket at oksygenforholdene i Indre Lyngdalsfjord i 1996 var like dårlig eller dårligere enn på 1970-1980 tallet. For Ytre Lyngdalsfjord var tilstanden høsten 1996 i stor grad bestemt av dypvannsutskiftingen slik at man ikke har noe brukbart sammenligningsgrunnlag.

For siktedyp er det gjort for få målinger til at man har noe sammenligningsgrunnlag.

4.4 Modellberegninger

Ved å bruke datamodeller kan opplysninger om fjordens topografi, vannvolumer, vannmassenes oppholdstid, ferskvannstilførsel og tilførsel av næringssalter anvendes til å anslå forventede endringer i siktedypet og oksygenforbruk i fjordens dypvann som følge av endringer i næringssalttilførselen. Til dette formålet skal vi bruke modellen "Fjordmiljø" som er laget med sikte på denne type beregninger (Aure og Stigebrandt 1989). Modellen er relativt enkel og egnet til gjennomsnittsbetraktninger. Den er imidlertid ikke utprøvd for simulering av oksygenforbruket i fjordbassenger som ligger innenfor hverandre, og kan muligens gi noe for kort oppholdstid (og for stor oksygentilførsel gjennom vannutskiftningen) for dypvannet i det innerste fjordbassenget. For Indre Lyngdalsfjord viser målinger at det oftest er hydrogensulfid under ca. 15-25 m dyp. Beregningene bør i alle fall bekrefte at bassengvannets oksygeninnhold i gjennomsnitt kan bli null. Med bassengvann menes vannmassen mellom terskeldypet og bunnen.

Datainput til modellen finnes i kapittel 2, og resultatene for Indre Lyngdalsfjord er sammenfattet i Tabell 3.1.

Tabell 3.1 Beregning av oppholdstid for overflatelag og gjennomsnittlig oksygenforbruk i bassengvannet for Indre Lyngdalsfjord.

Parameter	Verdi
Tykkelse av brakkvannslaget	1-2 m
Oppholdstid for vann over terskeldyp	2-3 døgn
Forventet økning i siktedyp hvis næringssalttilførselen fra land stanses	4-10%
Oksygenforbruk i bassengvannet	0.4-0.7 mlO ₂ /l/måned
Oksygenminimum i bassengvannet	0

Til tabellen vil vi bemerke følgende:

- Den gjennomsnittlige oppholdstiden for vannmassen over terskeldypet er forholdsvis kort.
- Ved reduserte tilførsler av næringssalter vil forventet gjennomsnittlig økning i siktedyp som følger av redusert planktonbiomasse være omkring 0.5 m eller mindre. Man har ikke noe godt datagrunnlag for å beskrive variasjonene i siktedypet i Indre Lyngdalsfjord, men beregningene tyder på at dette i stor grad bestemmes av turbiditeten i ferskvannet som tilføres fjorden. I hvilken grad det forekommer store oppblomstringer av planteplankton med påfølgende lavt siktedyp er ikke kjent.
- Etter en større utskiftning av bassengvannet i Indre Lyngdalsfjord kan oksygenkonsentrasjonen være opp mot 4 mlO₂/l. Ved et gjennomsnittlig oksygenforbruk på 0.4-0.7 mlO₂/l/måned vil konsentrasjonen innen et år falle til 0, med påfølgende utvikling av hydrogensulfid. Med mindre en større del av det gamle, oksygenfattede bassengvannet blir liggende igjen høyere oppe i vannmassen, men under terskeldypet, vil hydrogensulfid først dannes i et vannsjikt som er i nær kontakt med bunnsedimentene. Dette sjiktet vil øke i omfang samtidig som det skjer et oksygenforbruk (0.4-0.7 mlO₂/l/måned) i de frie vannmassene. Uten tilførsel av oksygenrikt vann fra fjordområdet utenfor terskelen vil oksygenfrie forhold derfor omfatte en økende del av bassengvannet opp til omkring 20 m dyp.
- Hyppigheten av dypvannsfornyelser i Indre Lyngdalsfjord er ikke kjent, men (usikre) modellberegninger av tetthetsreduksjonen i bassengvannet antyder 5-10 år som en typisk oppholdstid. I stor grad vil imidlertid lengden av stagnasjonsperioden og omfanget av den etterfølgende dypvannsfornyelsen være bestemt av de hydrografiske forholdene i kystvannet. Ser man oksygenforbruket i forhold til stagnasjonsperioder over flere år, er det tydelig at

oksygenforbruket må reduseres dramatisk hvis man skal unngå at oksygenkonsentrasjonen i størstedelen av bassengvannet periodevis faller til null.

5. Sammenfattende vurdering

5.1 Har omleggingen i avløpsnettets hatt noen effekt på vannkvaliteten i Lyngdalsfjorden?

Siktedypet

Overføringen av kommunalt avløpsvann til Rosfjorden kan ha redusert den samlede tilførselen av næringssalter fra land til Indre Lyngdalsfjord med ca. 13 % (fosfor) og ca. 2% (nitrogen), regnet som årgjennomsnitt. De store næringssaltbidragene kommer som bakgrunnsavrenning og som avrenning fra jordbruksarealer. Dette betyr at perioder med liten vannføring i Lygna (juni-august, se fig. 2.3) og liten avrenning fra jordbruksarealer vil det prosentvise bidraget fra kommunalt avløpsvann være betydelig større. Den eksakte størrelsen kjenner vi ikke, men legger man til grunn at

- fjordens samlede ferskvannstilførsel i dette tidsrommet er omkring halvparten av årsmidlet, og
- næringssaltkonsentrasjonen i ferskvannet i dette tidsrommet er omkring årsmidlet (usikkert anslag pga. mangel på data).

antyder dette at overføringen - for de tre sommermånedene - kan ha redusert tilførselen av fosfor og nitrogen fra land med henholdsvis 20-25% og 3-5%.

Gjentar man nå modellberegningene med en ferskvannstilførsel av 20 m³/s og en fosfortilførsel av ca. 0.35 tonn/måned (tilsvarende 4.2 tonn/år) får man imidlertid fortsatt bare en forbedring på omkring 0.5 m for det gjennomsnittlige siktedypet. En mye brukt regel er å anta et vannlag ned til 2.5-3x siktedypet har tilstrekkelig lys for å opprettholde vekst av planteplankton, og i hovedsak en netto oksygenproduksjon. Ved et siktedyp på f.eks. 5 m kan 0.5 m økning da bety at den produktive vannmassen øker fra omkring 0-13 m dyp til 0-15 m dyp.

Viktigere for algeveksten i vannlag under 8-10 m kan være det forhold at i norske fjorder med betydelig ferskvannstilførsel er vanlig å finne forholdsvis tynne vannlag med stor konsentrasjon av partikler (og stor lyssvekning). Hvis slike vannlag periodevis forekommer i Indre Lyngdalsfjord, f.eks. i 4-6 m dyp, vil dette gi små utslag på siktedypmålingene men kan bety at bare en mindre del av vannmassen under dette vannlaget har tilstrekkelig lys for at planktonalger kan overleve.

Vannhygieniske forhold

Vi kjenner ikke til den hygieniske vannkvaliteten i indre del av Lyngdalsfjorden før overføringen av kommunalt avløpsvann til Rosfjorden. Vannhygieniske forhold var heller ikke med i den undersøkelsen som her rapporteres. Vi vil derfor bare bemerke at overføringen burde være et effektivt tiltak for å redusere vesentlig eventuelle vannhygieniske problem. Hvis det fortsatt opptrer høye konsentrasjoner av tarmbakterier i overflatelaget i fjordens indre del, kan årsaken være lekkasjer fra det kommunale ledningsnettets.

Oksygenforhold i bassengvannet

Ved teoretiske betraktninger kan man vise at overføringen av kommunalt avløpsvann til Rosfjorden har medført gir en viss reduksjon av oksygenforbruket i bassengvannet i Indre Lyngdalsfjord. Det er

imidlertid liten grunn til å tro at denne reduksjonen er så stor at den alene gir merkbar bedre oksygenforhold i bassengvannet i Indre Lyngdalsfjord.

5.2 Er tilstanden i Lyngdalsfjorden som forventet, sett i forhold til topografi, ferskvannstilførsel og vannutskiftning?

Av kapittel 4 og kapittel 5.1 framgår at det kan ha vært en negativ utvikling med økende oksygenforbruk og avtakende oksygenkonsentrasjoner i Indre Lyngdalsfjord over de siste 25-30 år. Analyser av bunnsedimenter som er avsatt gjennom de siste 800 år tyder på at dypvannet for alvor ble anoksisk på 1800-tallet, og at anoksiske forhold har dominert på større dyp enn 30-40 m siden ca. 1950 (Alve, 1997).

Vi kjenner ikke til at fjordsystemets topografi har endret seg de siste 100 år, og har ikke grunnlag for å bedømme om variasjoner i Lyngnas vannføring (mengder og fordeling over året) har hatt betydning. Det man med sikkerhet kan si er at fjordens tilførsel av næringsstoffer og organisk stoff i dette tidsrommet har økt pga.:

- større avrenning til fjordområdet fra nedslagsfeltet, og da spesielt via Lygna. Årsaken vil være økt bidrag fra bakgrunnsavrenning samt økt tilførsel fra skog- og fra jordbruksarealer
- større direkte utslipp til fjordområdet som følge av økt befolkning og industriaktiviteter.
- trolig økt tilførsel av organisk stoff fra kystvannet, der en økt belastning er registrert så langt vest som til Lista-Jæren (ANON, 1997). Til dette kan komme et mindre bidrag fra Farsund by ved at avløpsvann derifra blir innblandet i vannmasser som føres innover i fjordområdet. Men i så fall gjelder dette Ytre Lyngdalsfjord langt mer enn Indre Lyngdalsfjord.

Vi vet ikke hvor ofte dypvannet i Indre Lyngdalsfjord skiftes ut, men det er neppe oftere enn med 5-10 års mellomrom. Beregningene i kap. 4.4 tyder på at et typisk oksygenforbruk i bassengvannet er ca. 0.5 mlO₂/l/mnd, som etter en fullstendig dypvannsfornyelse kan bringe konsentrasjonen ned til 0 i løpet av 8-10 måneder. Skal oksygenkonsentrasjonene holde seg over 0-nivået i stagnasjonsperioden mellom to dypvannsfornyelser (antatt 5-10 år), kan det gjennomsnittlige oksygenforbruket ikke være høyere enn 0.05-0.1 mlO₂/mnd. Dette er mellom 10% og 20% av dagens oksygenforbruk.

Selv om det foranstående er basert på til dels enkle modeller og gjennomsnittsbetraktninger, så synes følgende å være klart:

- De dårlige oksygenforholdene i Indre Lyngdalsfjord skyldes i hovedsak naturgitte topografiske forhold og avrenningen fra nedbørsfeltet, samt økt tilførsel ("import") av organisk stoff fra kystvannet.
- Tiltak for å redusere de direkte, menneskeskapte utslippene av næringssalter og organisk stoff vil ikke fjerne oksygenproblemene, men kan gi en svak positiv effekt. Sett i forhold til en bakgrunn av større naturlige variasjoner, vil en slik endring ikke være mulig å påvise uten et stort og langvarig måleprogram.
- Hvis man på kort sikt vil bedre oksygenforholdene, må man sannsynligvis sette i gang tiltak som bedrer dypvannutskiftningen. Aktuelle metoder er da f.eks. utslipp av komprimert luft eller ferskvann til dypvannet, men størrelsen på fjorden og de vannvolumene som må "behandles" tilsier en nøye vurdering av dimensjonen og kostnadene ved et slikt tiltak.

6. Litteratur

Alve, E., 1997. Oksygenutviklingen i Indre Lyngdalsfjord i løpet av de siste århundrene. Rapport fra Institutt for geologi. Universitetet i Oslo. 14 pp. + Vedlegg. Oslo.

ANON, 1997. Kyststrekningen Jomfruland - Stad. Vurdering av eutrofitilstand. Rapport 2 fra ekspertgruppe for vurdering av eutrofi forhold i fjorder og kystfarvann. Statens forurensningstilsyn (SFT), Oslo. 129 pp.

Aure, J. og Stigebrandt, A., 1989. Fiskeoppdrett og fjorder. En konsekvensanalyse av miljøbelastningen for 30 fjorder i Møre og Romsdal. Havforskningsinstituttet i Bergen. Rapport nr. FO-8803.

Bratli, J.L. og Tjomsland, T., 1996. Presentasjon av tilførselsdata ved et geografisk informasjonssystem. NIVA-rapport nr. 3556-96. 103 pp. Oslo.

Bratli, J.L., Holtan, H. og Åstebøl, S.O., 1997. Miljømål for vannforekomstene - tilførselsberegninger. SFT-veiledning, under trykking.

Kaste, Ø. og Håvardstun, J., 1997. Vannkvalitetsundersøkelse i nedre del av Lygnavassdraget i 1996. NIVA-rapport nr. 3718-97. 24 pp. Grimstad.

Kolstad, S., Bokn, T. og Haugen, I., 1973. Vurdering av fjordresipienter i Farsund kommune. NIVA-prosjekt O-72123. Oslo.

Molvær, J., 1982. Vannforekomster i Vest-Agder. Vurdering og kommentarer til fysisk-kjemiske analyseresultater fra fjorder i tidsrommet 1978-81. NIVA-rapport nr. 1361. Oslo.

Molvær, J., 1992. Vannforekomster i Vest-Agder. Vurdering og kommentarer til fysisk-kjemiske analyseresultater fra fjorder i tidsrommet 1979-89. NIVA-rapport nr. 2769. Oslo.

Molvær, J., Knutzen, J., Magnusson, J., Rygg, B., Skei, J. og Sørensen, J., 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Veiledning. Statens forurensningstilsyn, Veiledning 97:03. 36 pp.

Strøm, K.M. 1936. Land-locked waters. Skrifter utgitt av det Norske Videnskaps-Akademi i Oslo. I. Mat.-Naturv. Klasse. 1936, no. 7. Oslo.

Vedlegg

Vannkjemiske målinger og analyser fra Lyngdalsfjorden i 1996

STASJON	DATO	DYP m	TEMP °C	SALT	O2 mlO ₂ /l	H2S ml/l	TOTP µgP/l	PO4P µgP/l	TOTN µgN/l	NO3N µgN/l	NH4N µgN/l	Klfa µg/l
L1	960730	0.5	16	25.3	6.39		10	5	175	5	73	1
L1	960730	5	15.8	28	6.43		11	5	129	2	50	0.5
L1	960730	10	8.9	30.9	4.63		11	5	109	2	20	0.5
L1	960730	15	8.9	31.3	3.88		11	5	113	4	23	0.5
L1	960730	20	8.8	31.5	2.84		14	8	136	19	45	0.4
L1	960730	25	7.9	31.8	0.17							
L1	960730	30	7.8	31.95	0.13							
L2	960730	0.5	7.37	14.58	6.73		15	7	320	168	27	
L2	960730	5	13.03	30.24	4.13		17	12	162	43	19	
L2	960730	10	12.44	31.27	3.79		19	12	139	39	19	
L2	960730	15	10.5	31.84	3.63		17	11	139	54	21	
L2	960730	20	8.66	32.22	0.85		18	12	174	76	19	
L2	960730	25	8.11	32.44			17	9	129	51	19	
L2	960730	30	7.81	32.56	0.06		200	188	197	8	120	
L3	960730	0.5	16	26.2	6.34		10	4	140	2	40	0.6
L3	960730	5	12.5	31.5	6.74		12	6	171	2	28	1
L3	960730	10	9.8	32.8	5.5		20	13	113	15	38	1.2
L3	960730	15	8.3	33.18	4.62		25	18	127	33	30	1.1
L3	960730	20	7.2	33.34	2.89		39	33	206	111	23	1.2
L4	960730	1	14.4	30.5			15	7	150	7	11	1
L4	960730	5	12.4	32.6			15	7	97	2	8	1
L4	960730	15	10.4	33.34			18	11	103	9	23	0.7
L2	961112	0.5	5.42	7.54	7.74		7	5	343	191	32	
L2	961112	5	11.47	29.88	4.65		22	15	166	82	18	
L2	961112	10	11.38	31.29	4.33		24	15	174	74	19	
L2	961112	15	9.89	32.04	2.95		19	13	141	66	19	
L2	961112	20	8.54	32.36	0.53		23	13	162	69	17	
L2	961112	25	8.07	32.57		0.04	119	116	128	7		
L2	961112	30	7.78	32.65		0.04	187	188	135	7		
L2	961112	50	7.56	32.7		0.04	211	191	135	7		
L2	961112	75	7.47	32.73		0.73	228	218	143	3		
L2	961112	100	7.45	32.72		0.82	236	235	150	3		
L3	961108	0.5	7.33	3.05	7.59		10	4	453	178	27	
L3	961108	5	11.84	30.94	4.96		20	15	181	64	17	

NIVA-rapport 3811-98

L3	961108	10	10.99	32.63	4.78	24	15	172	59	19
L3	961108	15	10.32	33.45	4.53	28	19	162	66	19
L3	961108	20			4.14	34	26	174	86	22
L3	961108	25	7.92	34.07	3.53	42	33	193	115	19
L3	961108	30	7.01	34.21	2.33	55	47	231	153	19
L3	961108	50	6.63	34.28	2.62	67	59	258	179	19
L3	961108	75	6.61	34.33	2.53	74	67	262	194	19
L3	961108	100	6.66	34.36	1.44	86	75	278	204	21
L3	961108	150	6.75	34.4	0.72	99	84	270	204	20
L3	961108	176	6.79	34.41						
L3	961108	200			0.42	114	102	285	179	20



Norsk institutt for vannforskning

Postboks 173 Kjelsås
0411 Oslo

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

Ved bestilling av rapporten,
oppgi løpenummer 3811-98

ISBN 82-577-3387-3