



RF – Rogalandsforskning. <http://www.rf.no>

Øyvind F. Tvedten & Åge Molversmyr

Viksefjorden, marine miljøforhold

Rapport RF – 2002/336

Prosjektnummer: 7151634
Prosjektets tittel: Resipientundersøkelse i Viksefjorden
Kvalitetssikrer: Asbjørn Bergheim

Oppdragsgiver(e): Haugesund kommune

ISBN: 82-490-0218-0

Forord

Undersøkelsen er gjennomført på oppdrag fra Haugesund kommune. De ønsket å få oppdatert kunnskap om miljøforholdene i Viksefjorden for å vurdere videre bruk av resipienten.

Gro Staveland var kontaktperson i begynnelsen av prosjektet og var med på to prøveinnsamlinger. Prosjektet ble etter hvert overtatt av Karl Otto Mikkelsen i Haugesund kommune. Han takkes for å skaffe tilveie informasjon om utslippsforhold, avrenning osv. og for å ha vært med på sjøen en gang.

På feltarbeidet deltok ellers Veslemøy Eriksen Øyvind F. Tvedten fra RF. Rapporten er skrevet av Øyvind Tvedten og Åge Molverersmyr har satt opp utslippsberegningene.

Haugesund kommune takkes for oppdraget, og samarbeidet.

Asbjørn Bergheim har vært kvalitetssikrer av rapporten og Arnfinn Skadsheim prosjektforslaget.

Stavanger, 18.09.02

Øyvind F. Tvedten, Prosjektleder

Innhold

FORORD	I
1 INNLEDNING	1
2 MATERIALE OG METODER	2
2.1 Områdebeskrivelse	2
2.2 Tidligere undersøkelser	3
2.3 Prøveinnsamling og feltmålinger	4
2.4 Analyser.....	4
2.4.1 Beregning av oksygenforbruk og Fjordmiljømodellen	5
2.5 Tilførselsberegninger.....	5
2.6 STFs klassifiseringssystem av miljøkvalitet	5
3 RESULTATER OG DISKUSJON	7
3.1 Hydrografi og vannkjemi	7
3.1.1 Temperatur og saltholdighet	7
3.1.2 Næringssalter, klorofyll, og siktedyp	8
3.1.3 Oksygenforhold	10
3.2 Tilførselsberegninger.....	12
3.3 Modellberegninger	14
4 SAMMENDRAG OG KONKLUSJON	15
5 REFERANSER	17
6 VEDLEGGSOVERSIKT	18

1 Innledning

Haugesund kommune, Teknisk drift, har bedt Rogalandsforskning om å utføre en resipientundersøkelse i Viksefjorden. Bakgrunnen var å få oppdatert informasjon om tilstanden til fjorden og en vurdering av området som resipient i blant annet forbindelse med utslippstillatelser for noen mindre avløp. Det har vært oppdrett i fjorden tidligere men det er nå bare en begrenset settefiskproduksjon i et landanlegg ved fjorden. I tillegg er det litt tilsig i fra jordbruk og tilførsel fra spredt bebyggelse. Omtrent halvparten av Viksefjorden tilhører Sveio kommune

Viksefjorden er avgrenset ut mot havet med en lang kanal og grunn terskel, og har stagnerende bunnvann, som vanligvis er uten oksygen. Dette gjør fjorden til en sårbar resipient.

Undersøkelsesopplegget ble beskrevet av RF i samarbeid med kommunen, og siste utgave av prosjektforslaget (Forslagsnummer 60148) ble datert 18.01.01. Prøveinnsamlingene ble foretatt i mai, august og november 2001 og i februar 2002.

Viksefjorden ble sist undersøkt i perioden 1995-97 (Lømsland m.fl. 1998). Det ble da gjort hydrografiske målinger der oksygeninnhold i bunnvann ble vektlagt.

RF har erfaring og kompetanse innen denne type undersøkelser og ser på dette som er interessant prosjekt. I 1995 ble RF sertifisert etter kvalitetsstandarden ISO-9001. RF-Miljølab er akkreditert etter ISO 17025 for en rekke analysemetoder av vann, slam og sedimenter. Akkrediteringen betyr blant annet at metoder er beskrevet og at det er et system for å ivareta kvalitetskontroll av alt analysearbeid.

2 Materiale og metoder

Undersøkelsen har bare omfattet vannkvalitet og i tillegg er det gjort noen tilførselsberegninger over nærings salt og organisk stoff. Vannprøver til nærings salter (total nitrogen, nitrat, ammonium, totalfosfor og fosfat) og klorofyll (blandprøve) ble tatt fra 0, 5 og 10 m dyp. Prøver til oksygenanalyser ble tatt av bunnvannet (2-3m over bunn) og på 15 m dyp. Overgangslaget mellom oksygenholdig og oksygenfattig vann ligger rundt 15 m.

I tillegg ble siktedyp målt og det ble gjort hydrografiske målinger (saltholdighet, tempertur og oksygen) med en sonde. Det ble ført en kort journal ved hver innsamling.

Prøvestedet er det samme som tidligere og er på det dypeste stedet i fjorden (se kart Figur 1). Trolig er det noen lokale variasjoner i Viksefjorden, som ikke blir avdekket ved å ta prøver ett sted, men én stasjon vil likevel være tilstrekkelig til å gi et generelt inntrykk av forholdene.

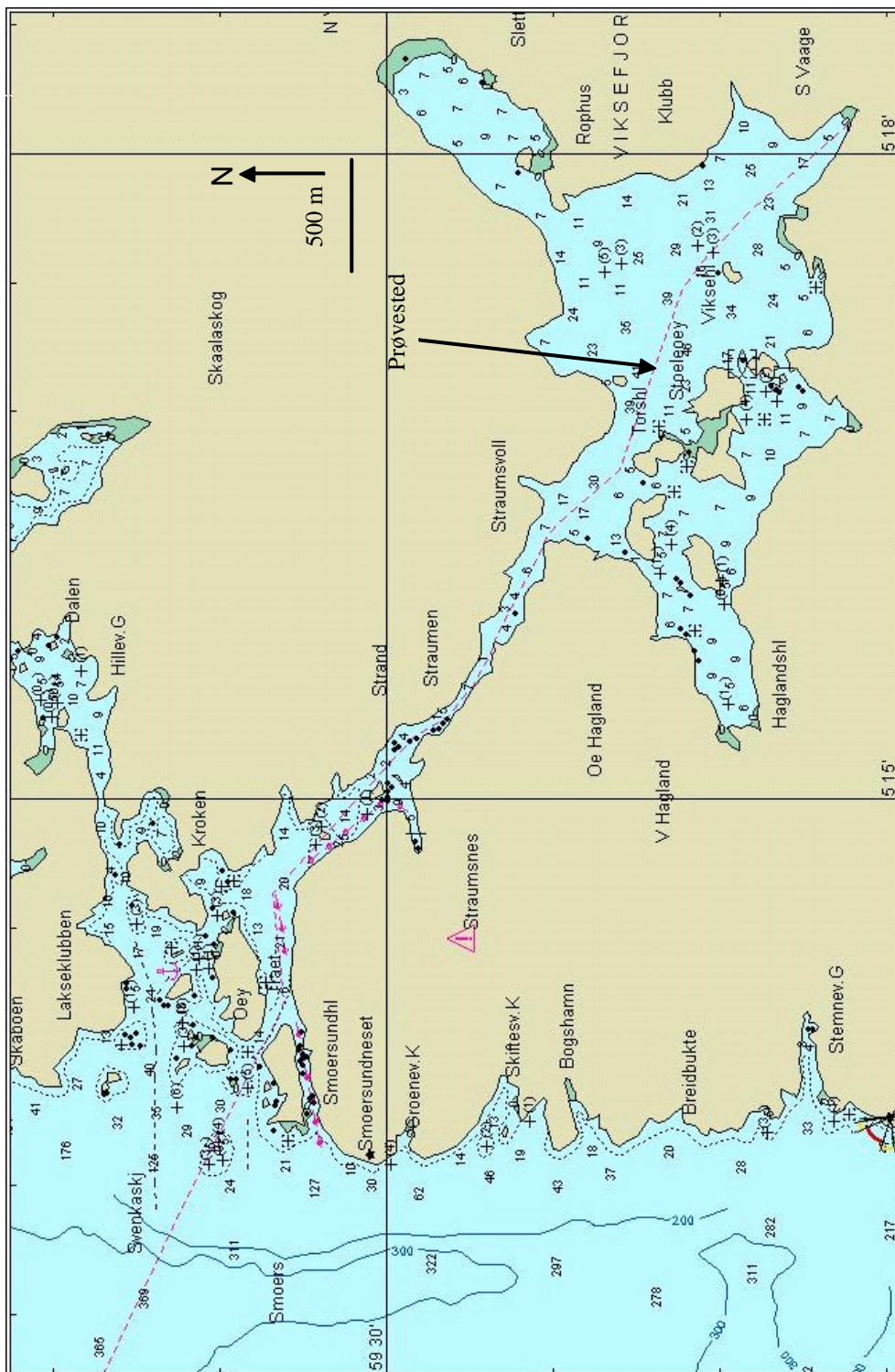
Analyse av nærings salter gir kunnskap om områdets næringstilførsel og eutrofitilstand (nivå av nærings salt). Målingene konsentreres om de parametrene og tidspunktene (vinter/sommer) som danner grunnlag for SFTs klassifiseringssystem av miljøkvalitet. Målinger av klorofyll, siktedyp, oksygeninnhold i bunnvann og bunnundersøkelser er *effektparametre* mens målinger av nærings salter gir eventuelle årsaker til tilstanden. Nivået av total nitrogen og – fosfor gir et bilde av det totale næringsinnholdet, mens nitrat og fosfat viser hva som er lettest tilgjengelig for algevekst.

I overflatesjøvann med tilfredsstillende oksygeninnhold er det normalt ubetydelige mengder nitritt og det er ikke gjort analyser på nitritinnhold alene. I rapporten omtales derfor resultatene fra nitrat + nitritt analysen som nitrat. Ammonium blir (særlig i vekstsesongen) fort tatt opp av alger og finnes dermed normalt i lave konsentrasjoner i sjøvann. I dypere vann omdannes ammonium til nitrat. Innhold av ammonium i de øverste ti-tyve meterne, tyder på lav oksygenkonsentrasjon og/eller stor tilførsel (kloakk og gjødsel) fra land.

Oksygeninnholdet i vannet er avgjørende for utbredelsen av bunndyr og nedbrytnings-hastigheten av organisk materiale. I områder med stagnerende vannmasser og/eller stor organisk tilførsel kan oksygeninnholdet bli lavt eller brukes helt opp. Da dør dyrelivet ut og nedbrytningen av organisk materiale blir sterkt redusert.

2.1 Områdebeskrivelse

Viksefjorden ligger nord for Haugesund og like sør for Mølstrevåg. Fjorden ligger på grensen mellom Haugesund og Sveio kommune. Viksefjorden er nærmest å se på som en poll. Det er et langt (3,5 km) og meget grunt (minimum ca 1,5 m ved Straumen) innløp som fører inn til fjorden. Også i utløpet ut mot kystvannet er det meget trangt farvann og grunt. Maksimaldypet i Viksefjorden er ca 50 m ved Støleøy. Se kart i Figur 1. Utløpet fra Viksefjorden ble litt utvidet fro ca 100 år siden.



Figur 1. Kart (utdrag fra C-map) over Viksefjorden. Innsamlingsstasjonen ligger på det dypeste punktet.

2.2 Tidligere undersøkelser

Viksefjorden har blitt undersøkt i 1986 (Johannessen & Stensvold 1987) og i 1995-97 (Lømsland m.fl. 1998). Det er da gjort hydrografi- og oksygenmålinger, totalt ved 9 tidspunkt (5 i 1995). Oksygenforholdene i bunnvannet ble karakterisert som meget dårlig i henhold til SFT's klassifiseringssystem (Molvær m.fl. 1997). Resultatene viste

at det var sjelden bunnvannsutsifting og at bunnvannet er uten oksygen i lange perioder.

2.3 Prøveinnsamling og feltmålinger

Tidspunkt og prøveomfang er satt opp i Tabell 1. Vannprøvene ble tatt med en Niskin vannhenter og tappet på egnede flasker. Siktedypet ble målt med en Secchi skive og temperatur, saltholdighet og oksygen med en YSI 6820 sonde, som etter fabrikantens spesifikasjoner har følgende nøyaktighet: temperatur $\pm 0,15$ °C, saltholdighet $\pm 0,1$ PSU (eller 1%), oksygeninnhold $\pm 0,2$ mg/l (for prøver 0-20 mg/l) og vanddyb 0,12 cm (for dyp 0-61m). Bare saltholdighet og oksygeninnhold ble kalibrert før prøveinnsamlingen. Sonden hang i kabel og ble brukt fra overflaten og ned til bunn ca 50 m. Data ble lagret (minst) for hver 5. meter. Dessverre ble det bare gjort hydrografimålinger ned til 15 m i mai 2001, siden det da var usikkert om sonden tålte å være i oksygenfritt vann. I rapporten er saltholdighet oppgitt uten benevnning som "Practical Salinity UNIT, PSU" med symbolet S, dette tilsvarer promille (‰) som ble brukt tidligere (se eventuelt vedlegg i Molvær *m. fl.* 1997). YSI sonden var defekt i februar 2002 og det ble da brukt en SD 204 CTD (Conductivity Temperature Density) sonde. Dette instrumentet har mye høyere nøyaktighet når det gjelder temperatur og saltholdighet, men måler ikke oksygen.

Posisjonen til stasjonen ble tatt med en hånd GPS (Garmin 12XL, ikke differensiert) med gradnett WGS-84 på den første innsamlingen. Senere ble prøvestedet lokalisert ved hjelp av hukommelse og merker på land (mé). Dypet ble på første innsamling målt med et Furuno FE 4200 ekkolodd.

Tabell 1. Antall prøver i 2001 og 2002. Næringsalter ble analysert i tre vanddyb (0, 5 og 10 m), klorofyll i blandprøve fra 0, 5 og 10 m. Oksygenprøvene ble tatt nær bunn (2-3 m over bunn) og i overgangen mellom oksygenholdig og oksygenfritt miljø, dvs. på 15 m dyp.

Parameter	14. mai-01	16. aug-01	16. nov-01	28. feb-02	Sum
Total fosfor	3	3	3	3	12
Fosfat	3	3	3	3	12
Total nitrogen	3	3	3	3	12
Nitrat	3	3	3	3	12
Ammonium	3	3	3	3	12
Siktedyp	1	1	1	1	4
Klorofyll <i>a</i>	1	1	-	1	3
Sonde (hydrografi)	1	1	1	1	4
Oksygenmålinger, bunnvann og overgangslag	2	2	2	2	8

2.4 Analyser

Analysene ble foretatt ved RF-Miljølab (akkreditert). Totalfosfor: NS 4725 3/84, fosfat: NS 4724 2/84, totalnitrogen NS 4743 2/93, nitrat + nitritt NS 4745 2/91 og ammonium NS 4746 (1975). Klorofyll *a* ble analysert etter metode Stauffer (1979), Klaveness. Oksygeninnholdet ble analysert med Winkler titrering (NS-ISO 5813 1/93).

Siktedyp er et enkelt mål på klarheten til vannet. En Secchi skive (25 cm) ble senket ned til den var ute av syne, og deretter trukket opp igjen. Snitt verdien av dypet hvor skiven forsvant og kom til syne igjen ble notert som siktedypet.

2.4.1 Beregning av oksygenforbruk og Fjordmiljømodellen

Oksygenforbruket er beregnet med formelen $CONS = (a - b \cdot Ht) \cdot 2,43 / Hb$ (ml/l/mnd), for fjorden hvor Ht er mindre eller lik 50. Der: $a = 5,38$, $b = 0,070$, Ht = terskeldyp, Hb det gjennomsnittlige bassengdypet under terskeldypet, øvre grense blir beregnet fra 10 m under terskel (Aure og Stigebrandt 1989). Fjordmiljømodellen (versjon 3.1) er utviklet av Ancylus (<http://w.w.w.ancylus.net>). Dette modellverktøyet er utviklet for å modellere og studere sammenhenger mellom ulike faktorer som styrer miljøforholdene i fjorder. Som med all modellering er det nødvendig med noen bakgrunnsdata og forutsetninger og jo bedre data en har jo bedre blir resultatet i forhold til de reelle forholdene.

2.5 Tilførselsberegninger

Beregning av stofftilførsler fra land er basert på data som kommunene har skaffet til veie. Her er det gitt opplysninger om arealstørrelser og arealbruk, om antall personer tilknyttet offentlig avløpsnett eller med separate avløpsløsninger og om antatt rensegrad for disse avløpene, og om eventuelle andre tilførselskilder i nedbørfeltet. Beregningene er gjort etter fremgangsmåten beskrevet i SFTs veiledning 95:02 (Bratli & Holtan 1995). En har antatt at nedbøren over området er ca 1600 mm pr. år, og at spesifikk avrenning er omlag 40 l/s·km².

Når det gjelder avrenning fra jordbruket har en benyttet lavere koeffisienter for arealavrenning enn det som er anbefalt for landsdelen i SFTs veiledning, da disse tallene er urealistisk høye (særlig for fosfor). I stedet er det benyttet nyere erfaringstall fra Jæren (som også inkluderer tilførsler fra punktkilder; Molvermyr *et al.* 2002). Avrenningstallene er i tillegg nedjustert noe (ca 20%) siden intensiteten i jordbruket må antas å være lavere enn på Jæren. For organisk stoff har en ikke hatt konkrete opplysninger om antall husdyr å basere beregningene på. I stedet har en benyttet beregninger (i henhold til SFTs veiledning) for områder på Jæren, og vurdert tilførslene i forhold til størrelsen av jordbruksarealet. Og igjen er avrenningen nedjustert noe (ca 20%) med antagelse om lavere intensitet i jordbruket.

For settefiskanlegget har vi satt en produksjon på 100 000 smolt (på 100 g) og satt opp egne avrenningskoeffisienter for den nedlagte avfallsfylling på Vikse

2.6 STFs klassifiseringssystem av miljøkvalitet

SFT har gitt ut en veiledning som kan brukes til å klassifisere miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann (Molvær *m. fl.* 1997). I veiledningen finnes en del bakgrunnsinformasjon og kommentarer til tabellene med måltall (grenseverdier) for ulike klasser av

miljøkvalitet i vann, sedimenter og biologisk materiale. Det kreves en del bakgrunnskunnskap om miljøparametrene og det må ofte brukes skjønn for å kunne bestemme rett tilstandsklasse og å tolke resultatene. Nedenfor har vi tatt med en tabell i fra veiledningen som omtaler miljøparametre som er aktuelle for denne undersøkelsen. Virkninger av organiske stoffer karakteriseres blant annet ved hjelp av oksygen i dypvann.

Tabell 2. Klassifisering av tilstand for næringssalter, klorofyll a, og siktedyp i overflatelaget, samt oksygen i dypvannet for vann med saltholdighet over 20 (se Molvær *m. fl.* 1997).

Parametre		Tilstandsklasser				
		I Meget god	II God	III Mindre god	IV Dårlig	V Meget dårlig
Overflatelag Sommer (juni-august)	Total fosfor ($\mu\text{g P/l}$)*	<12	12-16	16-29	29-60	>60
	Fosfat-fosfor ($\mu\text{g P/l}$)*	<4	4-7	7-16	16-50	>50
	Total nitrogen ($\mu\text{g N/l}$)*	<250	250-330	330-500	500-800	>800
	Nitrat-nitrogen ($\mu\text{g N/l}$)*	<12	12-23	23-65	65-250	>250
	Ammoniumnitrogen ($\mu\text{g N/l}$)*	<19	19-50	50-200	200-325	>325
	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
Overflatelag Vinter (desember-februar)	Total fosfor ($\mu\text{g P/l}$)*	<21	21-25	25-42	42-60	>60
	Fosfat-fosfor ($\mu\text{g P/l}$)*	<16	16-21	21-34	34-50	>50
	Total nitrogen ($\mu\text{g N/l}$)*	<295	295-380	380-560	560-800	>800
	Nitrat-nitrogen ($\mu\text{g N/l}$)*	<90	90-125	125-225	225-350	>350
	Ammoniumnitrogen ($\mu\text{g N/l}$)*	<33	33-75	75-155	155-325	>325
Dypvann	Oksygen (ml/l)**	>4,5	4,5-3,5	3,5-2,5	2,5-1,5	<1,5
	Oksygen (mg/l)**	>6,4	6,4-5	5-3,6	3,6-2,1	<2,1
	Oksygen metning (%)***	>65	65-50	50-35	35-20	<20

* Omregningsfaktoren til mg -at/l er 1/31 for fosfor og 1/14 for nitrogen.

** Omregningsfaktoren mellom mg O₂/l og ml O₂/l er 1,42.

*** Oksygenmetningen er beregnet for saltholdighet 33 og temperatur 6° C

3 Resultater og diskusjon

3.1 Hydrografi og vannkjemi

Prøvene ble tatt omtrentlig i posisjon 59°29,329'N, 05°17,057'Ø. Ved den første innsamlingen ble dypet målt til 50 m. På grunn av litt avdrift og omtrentlig lokalisering av prøvested senere, varierte vanddyper fra 40-50 m på de andre innsamlingene. Dette har ingen praktisk betydning for resultatene. Alle dager var det tilfredsstillende værforhold for prøveinnsamlingen. Det var is på fjorden i en forholdsvis kort periode og feltarbeidet ble da litt utsatt. I november -01 var sjøen brunlig på farge, og det var tydelig stor avrenning fra land. I februar -02 var sjøen litt gul-brun, noe som også tydet på en del avrenning. Ved de andre innsamlingene ble det ikke notert noen spesielle forhold.

Originale analyserapporter og sondemålinger er lagret hos RF, og i rapporten er de tatt med i redigert form for å spare plass.

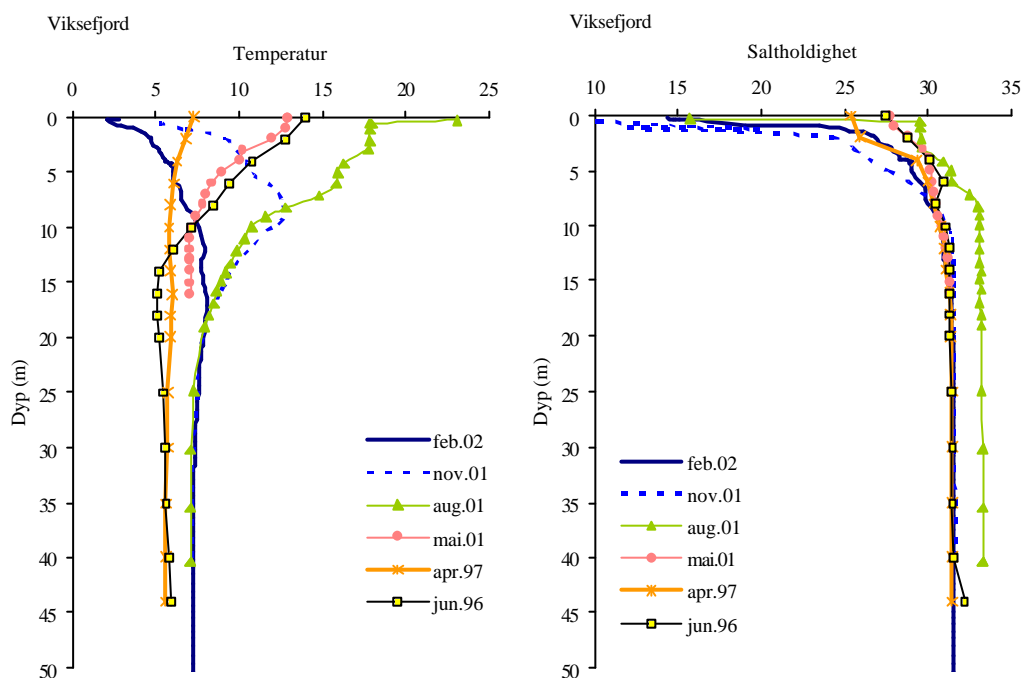
Den grunne terskelen inn til Viksefjorden stenger for utskiftning av bunnvannet. For at bunnvannet skal bli skiftet ut, må det komme vann inn over terskelen som er tyngre (høyere tetthet) enn det vannet som er inne i fjorden. Da vil det innstrømmende vannet synke nedover og presse opp det eksisterende bunnvannet. Slike episoder kan skifte ut hele eller deler av bassengvannet. Terskeldyp og -areal, bassengdyp, ferskvannstilførsel og areal av området er med å regulere hyppigheten til bunnvannutskiftningen. Noen steder er utskiftningen årlig eller hyppigere, mens det for eksempel i Lysefjorden er flere år mellom hver gang. Ofte er det meteorologiske forhold som styrer "tyngden" på det innstrømmende vannet. Saltholdighet har mest å bety for tettheten. I et stillestående bunnvann vil normalt saltholdigheten avta over tid, siden ferskvannstilførselen "drar" saltvann med seg ut av fjorden. Dermed øker mulighetene for at det innstrømmende vannet har større tyngde enn bunnvannet.

Større endringer i bunnvannskvalitet kan tas som et tegn på at det har skjedd en bunnvannsfornyelse. Ofte er økt oksygeninnhold en meget god indikator på at en utskiftning har skjedd.

3.1.1 Temperatur og saltholdighet

Resultatene (Figur 2 og vedlegg) viser at Viksefjorden har hydrografiske forhold som er typiske for en poll med ferskvannstilførsel. Helt i overflaten er det lav saltholdighet og temperaturen varierer med årstiden. Nedover i vannsøylen endrer dette seg til mer stabile forhold og fra 10-15 m og nedover er det jevn temperatur og saltholdighet. Resultatene viser at tidevannstrøm, ferskvannstilførsel og vind, påvirker vannet ned til maks 10-15 m, men mest i de øverste 1-2 meterne. Bunnvannet er stillestående og har meget stabile forhold. Målingene i fra 1996 og -97 viser tilsvarende forhold, men bunnvannet var en del kaldere ca 5 °C mot 7 °C i våre målinger.

I august 2001 ble det målt høyere saltholdighet i bunnvannet enn i de andre måleseriene. Dette er et tegn på at det hadde skjedd en bunnvanns utskiftning. Imidlertid endret ikke oksygeninnholdet eller temperaturen seg, slik de burde gjøre dersom det kom inn nytt bunnvann. En sjekk av sondedataene mot målinger andre steder samme dag, kunne ikke avsløre at målingene var feil og vi mangler dermed en god forklaring. Det kan være at sonden var feil kalibrert denne dagen. Generelt er saltholdigheten i bunnvannet i Viksefjorden lavere enn det som vanligvis måles på tilsvarende dyp i Karmsundet og ved Årabrot. Dette kan ha sammenheng med forholdsvis lav saltholdighet på det innstrømmende vannet (grunn terskel), ved bunnvanns utskiftning, og at ferskvannstilførselen fører til et gradvis "tap" av salt ut av fjorden.



Figur 2. Temperatur og saltholdighet plottet mot dyp i Viksefjorden. Resultatene fra 2001 og 2002 er målt med YSI-sonde og CTD. Resultatene i fra 1996 og -97 er fra (Lømsland m.fl. 1998).

3.1.2 Næringssalter, klorofyll, og siktedyp

Ved de fleste målingene var det stor forskjell i næringssaltkonsentrasjoner mellom de ulike vandypene. Dette gjenspeiler de markerte sjiktningene som var i Viksefjorden. Innholdet av nitrogenforbindelser var høyest i overflaten, og det er sannsynlig at dette skyldes at de er knyttet til avrenning fra land. Fosforforbindelsene hadde en motsatt fordeling, de var høyest på 10 m eller jevnt fordelt mellom dypene. Bruk av gjennomsnittsverdier forenkler dermed utbredelsen av næringssalter nokså mye.

Basert på de målingene som foreligger, var det totalfosrinnholdet som tildeles dårligste SFT miljøtilstandsklasse (*mindre god*), Tabell 3. Fosfatinnholdet tilsvarte klasse II (*god*). Totalnitrogen- og nitratinnholdet fikk tilstandsklasse *meget god* om sommeren, men dårligere tilstand om vinteren. Det var tydelig at algene brukte det meste av de

løste nitrogenforbindelsene i sommerhalvåret. Ammoniuminnholdet var stort sett under deteksjonsgrensen, og ble bare funnet i tre overflateprøver. Ammonium foretrekkes fremfor nitrat som nitrogenkilde for alger og blir rast brukt opp i overflaten om sommeren. Funnet av ammonium i noen prøver, viser at det har vært tilførsel fra land. Trolig er dette avrenning fra gjødslet jordbruksland.

Generelt viser resultatene at Viksefjorden har et middels høyt innhold av næringssalter, og at konsentrasjonene varierer mye. Forholdstallet mellom totalnitrogen og totalfosfor var på over 10 i overflatevannet og var lavest på 10 m. I plankton er N:P forholdet 7,2:1 pr vektenhet og en antar at plantene ønsker en tilsvarende balanse mellom næringssaltene i vannet. Siden forholdstallet er høyere i Viksefjord, tyder dette på at det er fosfor som er mest begrensende for algeproduksjonen.

Klorofyll- og siktedypmålingene viser at det til tider er stor algeproduksjon i Viksefjorden (august 2001) og avrenning fra land (november 2001).

Tabell 3. Gjennomsnittlig (0, 5 og 10 m dyp) innhold av næringssalter og klorofyll i perioden. Siktedyp og resultatet fra oksygenanalyser fra hver innsamling. Mai og august resultatene er brukt i gjennomsnitt for sommer og november-februar for vinter. Det er brukt SFT grenseverdier for vann med saltholdighet på over 33, noen av vannprøvene i Viksefjord hadde saltholdighet under 33. Det er ikke samlet tilstrekkelig antall prøver for å kunne gi SFT tilstandsklasser på et korrekt grunnlag. Se også vedlegg 2 for detaljer. Oksygen omtales i Kap. 3.1.3.

Analyseparameter	Snitt			Tilstand*
	mai.01	aug.01	sommer	
Total fosfor µg/l	15	22	19	Mindre god (III)
Fosfat µg/l	2,5	6	4,3	God (II)
Total nitrogen µg/l	180	193	187	Meget god (I)
Nitrat + nitritt µg/l	2	2	2	Meget god (I)
Ammonium µg/l	17	10	13	Meget god (I)
Klorofyll µg/l	1,1	4,4	3	God (II)
Oksygen mg/l 15 m	2,8	1		-
Oksygen mg/l bunn	<0,2	<0,2		Meget dårlig (V)
Siktedyp	7,5	4,5	6	God (II)
Analyseparameter	Snitt			Tilstand*
	nov.01	feb.02	vinter	
Total fosfor µg/l	32	23,5	28	Mindre god (III)
Fosfat µg/l	18	21	20	God (II)
Total nitrogen µg/l	320	287	303	God (II)
Nitrat + nitritt µg/l	137	160	148	Mindre god (III)
Ammonium µg/l	18	11	15	Meget god (I)
Klorofyll µg/l	-	0,5	1	-
Oksygen mg/l 15 m	0,7	0,8		-
Oksygen mg/l bunn	<0,2	<0,2		Meget dårlig (V)
Siktedyp	3,5	6	4,8	-

* basert på et lite antall prøver

3.1.3 Oksygenforhold

Ut fra de undersøkelserne som er gjort kan vi si at bunnvannet i Viksefjorden er uten oksygen det meste av tiden. Trolig er dette naturtilstanden til fjorden, og det har vært slik fra tiden før resipienten ble påvirket av menneskelig aktivitet. Den grunne og smale kanalen inn til fjorden hindrer bunnvannsutskiftning, som er nødvendig for at det skal tilføres nytt oksygen. De fleste organismer trenger oksygen for å leve og oksygenforholdene i Viksefjorden gjør at det vanligvis ikke finnes levende planter og dyr dypere enn ned til ca 15 m. Siden nedbrytning av organisk materiale krever oksygen (kan også skje uten oksygen, men går da seinere) vil tilførsler som øker sedimentasjon av organisk materiale kunne forverre situasjonen. Næringssalt er viktig for planktonproduksjon og algene brytes ned når de synker ned mot bunnen. Høyt næringssaltinnhold kan dermed føre til høyt oksygenforbruk i bunnvannet. Tilsvarende forbruk av oksygen vil også skje med andre vannlevende organismer (plankton) som når de dør synker mot bunnen. Tilførsel av organisk materiale (jord, løv, kvister, kloakk) kan direkte føre til økt oksygenforbruk.

Økt oksygenforbruk kan føre til at det oksygenfrie laget blir tykkere og kommer nærmere overflaten. Det fører til at større deler av fjorden blir uten dyr- og planteliv, samt at det økende sjansen for at det kommer helt opp til overflaten. Da vil det være enda mer ødeleggende for de visuelle miljøforholdene og hydrogensulfid (H_2S) i vannet kan kjennes som en meget ubehagelig lukt. Gassen er også giftig.

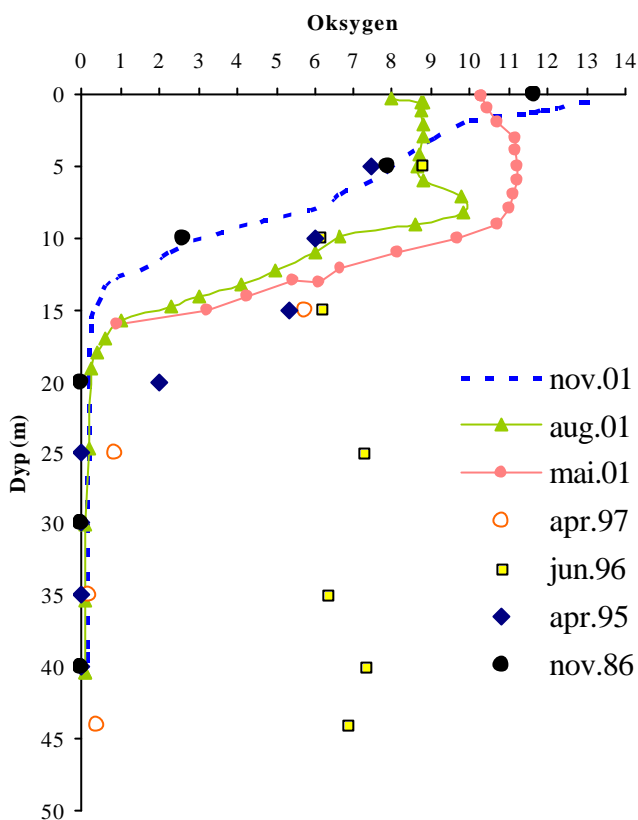
Ved å redusere oksygenforbruket i vannmassene eller å øke oksygentilførselen kan de negative effektene av oksygenmangel motvirkes. Redusert tilførsel av organisk stoff og næringssalt er én mulighet. Det vil da være hensiktsmessig å identifisere kilder, og sette inn tiltak der det gir best kost-nytte effekt. Økt oksygentilgang kan gjøres ved å sette i gang strømsettere, lufteanlegg og lignende, eller å tilføre ferskvann til bunnvannet. Et dykket ferskvannutslipp vil tilføre oksygen (i ferskvannet), men også redusere saltholdigheten i bunnvannet. Dette gjør bunnvannet lettere og dermed økes blant annet hyppighet av bunnvannsutskiftning. Et slikt opplegg har få eller ingen driftskostnader.

I perioden denne undersøkelsen dekker var det litt oksygen (0,7-2,8 mg O_2/l) på 15 m dyp og ikke noe ved bunn (Tabell 2). Generelt sett kan det se ut som om det var litt lavere enn det som er funnet i 1995-97, mens det var 2,6 mg/l på 10 m i november 1986 altså omtrent som den "beste" målingen i vår undersøkelse. I juni 1996 hadde det skjedd en betydelig bunnvannsutskiftning og det ble da funnet oksygen helt ned til 45 m. Resultatene i Figur 3 viser også at sjiktningene er meget skarpe, og en meter eller to i forskjell på prøvedyp kan føre til vesentlige endringer i oksygeninnholdet. Fremdeles får Viksefjorden den dårligste SFT tilstandsklasse med hensyn på oksygeninnhold i bunnvannet.

Oksygenforbruk

Oksygenforbruket i en stillestående vannmasse kan si en del om området er sterkt påvirket av menneskeskapt utslipp eller ikke. Høyt oksygenforbruk, tyder på stor tilførsel av næringssalter og organisk stoff fra land. Beregningene bør bygge på oksygenforbruk i vann som har høyere oksygeninnhold enn 2 ml/l.

Viksefjord



Figur 3. Oksygeninnhold mg/l i Viksefjorden plottet mot dyp. I 2001 ble det gjort målinger med en YSI-sonde. De eldre data er basert på analyse av vannprøver (Johannessen & Stensvold 1987, Lømsland m.fl. 1998). Det finnes flere verdier i 1995 og -96

Lømsland m.f. 1998, beregner at oksygenforbruket i Viksefjorden var på 0,4 ml/l på 10 m dyp og 0,8 ml/l i bunnvannet i perioden etter vannutskiftning i 1995. I vår undersøkelse var det ingen perioder med oksygen i bunnvannet og oksygenforbruket der kan ikke beregnes. Også på 15 m dyp i overgangslaget var det for lave oksygenkonsentrasjoner. Imidlertid kan sondemålingene på 10 m gi et nytt estimat på oksygenforbruket (på 10 m dyp). Vi tar da utgangspunkt endringene fra 6,7 mg/l i august til 3,1 mg/l i november og det gir et forbruk på 1,2 mg/l (0,84 ml/l) pr mnd noe som er dobbelt så høyt som det Lømsland beregnet. I perioden mai til august avtok oksygeninnholdet på 10 m fra 9,7 til 6,7 mg/l, noe som tilsvarer et forbruk på ca 1 mg/l/mnd. Beregningene av oksygenforbruk forutsetter at det ikke har skjedd vannutskiftning på 10 m dyp i disse tidsperiodene, og vi har ikke data som kan vise at det er tilfelle.

Teoretisk oksygenforbruk i Viksefjorden bassengvann kan beregnes ut fra formel i (Stigebrandt og Aure 1989, se materiale og metoder). Ut fra et terskeldyp på 1,5 m og et gjennomsnittlig bassengdyp på 15 m (måles fra 10 m under terskelen), blir det teoretiske forbruket 1,2 mg O₂/l/mnd. Det er litt høyere enn det som ble funnet ved hjelp av målte verdier og resultatene tyder dermed på at Viksefjorden ikke har høyere oksygenforbruk (som følge av menneskeskapt påvirkning) enn det som de naturgitte og topografiske forholdene tilsier.

Beregninger med Fjordmiljømodellen viser at oksygenforbruket fører til at oksygeninnholdet i bunnvannet brukes opp i løpet av 4 måneder etter en vannutskiftning og at oppholdstiden til vannet mellom hver vannutskiftning er 54 måneder (se vedlegg).

3.2 Tilførselsberegninger

Grunnlagsdataene for beregningene er mer detaljert satt opp i Vedlegg 3 og noen tall er oppsummert i Tabell 3. Resultatene bør ses på som omtrentlige, siden det er usikkerhet knyttet til både grunnlagsdata og beregningene. Vanligvis er fosfat tilførsler knyttet til menneskeskapt utslipp og nitrogentilførsler er i større grad knyttet til avrenning. Fosforforbindelser knytter seg mer til partikler enn nitrogen og skylles dermed i mindre grad ut fra land.

I renseanlegg er det mye lettere (og rimeligere) å fjerne fosfor enn nitrogen, siden fosforforbindelser forholdsvis enkelt kan felles ut av avløpsvannet. Renseanlegg utover primærrensing vil gjerne fjerne 70-95 % av fosfor og 70 % av nitrogen ved nitrogenrensing, men dette er avhengig av type anlegg. Rensekravene er vanligvis satt i forhold til prosentvis reduksjon av fosfor og BOF samt utslippskonsentrasjon av nitrogen (10-20 mg N/l). De er ikke renseanlegg på kloakktilførselen til Viksefjord.

BOF er et uttrykk for den mikrobielt nedbrytbare delen av det organiske stoffet, dvs. den del som er nokså raskt omsettelig. Det viktigste bidraget vil normalt være avløpsvann fra befolkning, men noe vil også tilføres fra jordbruksaktivitet og da i første rekke knyttet til silo og melkeromsavløp. I tillegg kan fiskeoppdrett gi et vesentlig bidrag. Naturlig bakgrunnsavrenning regnes ikke å bidra med BOF.

Vi har beregnet arealet av Viksefjord til 2,2 km², og hele nedbørsfeltet inkludert fjorden til 41,2 km². Det gir en gjennomsnittlig ferskvannstilførsel på 1,6 m³/s med en nedbørsmengde på 1600 mm i året og avrenning på 40 l/s/km².

I våre beregninger finner vi at ca 44 % av fosfortilførslene kommer via avrenning i fra jordbruk (Figur 4, Tabell 4). Avrenning fra spredt bebyggelse og bakgrunnstilførsler står for til sammen ca 48 % og settefiskanlegget av avfallsfyllingen for resten. For nitrogen bidrar jordbruksavrenningen med ca 54 % og bakgrunnstilførsler med ca 36 %.

Det er bare for BOF tilførselen at utslippene fra bebyggelsen (66 %) bidrar mer enn de andre kildene. Fiskeoppdrettet tilfører fjorden 22 % BOF og jordbruket 10 %.

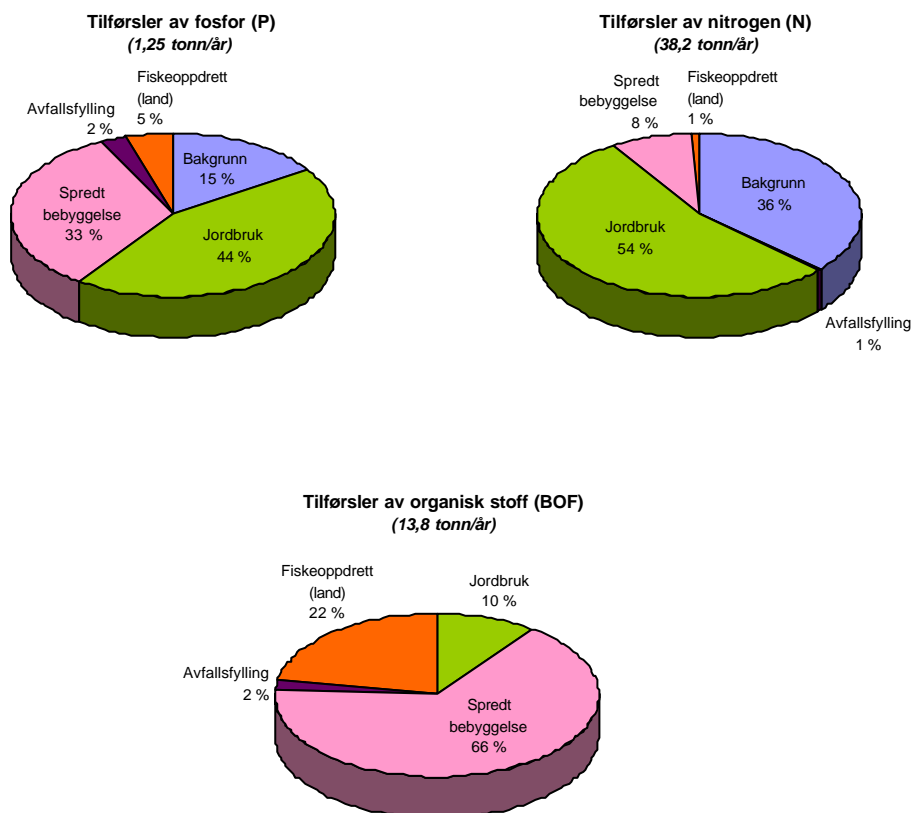
Beregningene over tilførselskildene viser at rensing eller sanering av kloakkutslippene vil ha størst effekt på tilførsel av organisk stoff (BOF). I tillegg vil rensing av utslippet fra settefiskanlegget redusere BOF tilførselen. Mens reduksjon av avrenning fra jordbruksland vil vises best igjen på tilførsel av næringssaltene fosfor og nitrogen.

Beregninger med Fjordmiljømodellen tilsier at det meste av produksjonen i fjorden blir fanget innefor terskelen og synker til bunn. Mye av produksjonen skjer som følge av næringssalttilførsel fra dypvannet. Totalt 240 tonn karbon, 42 tonn nitrogen og 5 tonn fosfor transporteres ned til bunnvannet. Dette bidraget er betydelig og større i forhold til de andre kildene av organisk stoff og næringssalter til Viksefjorden.

Tabell 4. Noen grunnlagsdata for beregninger av tilførsler, samt beregnede tonn tilførsler fra ulike kilder.

Type kilde	Areal eller antall
Areal Viksefjord	2,2 km ²
Areal nedbørsfelt (eksl. jordbruk og tettsteder)	34,3 km ²
Avløpsvann, kommunalt	0 personer
Avløpsvann, spredt	874 personer
Tettsteder	0 km ²
Jordbruk	6,9 km ²

Kilde	kg P/år	kg N/år	kg BOF/år
Naturlig bakgrunn	193	13873	-
Jordbruk	554	20781	1385
Kommunalt avløp	0	0	0
Spredt bebyggelse	411	3083	9080
Avfallsfyllinger	32	202	252
Fiskeoppdrett (smolt)	60	300	3060
Totalt fra land	1250	38239	13778

**Figur 4.** Oversikt over beregnede tilførsler til Viksefjord av fosfor (P), nitrogen (N) og BOF.

3.3 Modellberegninger

En utskrift av resultatet fra en kjøring av programmet er vist i vedlegg 4. Der kan en også gå igjennom og se hvilke kriterier og utgangsdata vi har lagt til grunn for beregningene i programmet. Modellberegningene er verdifulle når en setter inn ulike start parametre og ser på følgene som det får for miljøforholdene. Viksefjorden er en spesiell fjord med den lange og grunne forbindelsen ut mot åpent hav. Vi har fått A. Stigebrandt til å gjøre modellberegninger av Viksefjorden. Hans kommentarer er oppsummert og vist i Vedlegg 4 og viser at han har bedre forståelse og erfaring med modellberegningene enn det vi gjorde.

For eksempel beregner programmet etter vår innlegging av data at siktedypet blir 12 % bedre ved en halvering av tilførsene av næringssalter og settefiskproduksjon. Bunnvannsutskiftningen har en tidsskala på 7,5 måneder og oksygenforbruket er så stort at vannet vil bli okygenfritt mellom hver utskiftning. Våre målinger i felt tyder imidlertid på at det er vanlig med perioder på over 7-8 mnd hvor det ikke skjer bunnvannsutskiftning.

Stigebrandts kjøring av modellen gir en oppholdstid på 54 måneder, og det virker mye med i samsvar med de reelle forholdene. Han mener også at det er gir effekt på oksygenforbruket ved å redusere tilførsene av næringssalter fra land og at tiltak for å øke blanding (utskiftning) av dypvannet kan få mye næringssalter opp i algeproduksjonslaget, noe som igjen vil øke oksygenforbruket og forverre miljøforholdene.

4 Sammendrag og konklusjon

Haugesund kommune ønsket å få oppdatert informasjon om tilstanden til Viksefjorden og en vurdering av området som resipient. Viksefjorden er avgrenset ut mot havet med en meget grunn terskel, og har stagnerende bunnvann, som normalt er uten oksygen. Dette gjør fjorden til en sårbar resipient.

Denne undersøkelsen er gjennomført med fire innsamlinger i fra mai 2001 til februar 2002 og omfatter målinger av hydrografiske parametre og næringssalt på ett sted i Viksefjorden. I tillegg er det satt opp et budsjett over kildene til næringssalt og organisk stoff. Det ble samme sted gjort målinger av temperatur, saltholdighet og oksygen i 1986 og 1995-97.

Resultatene viser at Viksefjorden har hydrografiske forhold som er typiske for en poll med ferskvannstilførsel. Helt i overflaten er det lav saltholdighet og temperaturen varierer med årstiden. Nedover i vannsøylen endrer dette seg til mye mer stabile forhold og fra 10-15 m og nedover er det jevn temperatur og saltholdighet.

Innholdet av nitrogenforbindelser var høyest i overflaten, og det er sannsynlig at dette skyldes at de er knyttet til avrenning fra land. Fosforforbindelsene hadde en motsatt fordeling, de var høyest på 10 m eller jevnt fordelt mellom dypene.

Totalfosfornnholdet tilsvarte et nivå som tildeles SFT miljøtilstandsklasse (*mindre god*). Fosfatinnholdet tilsvarte klasse II (*god*). Totalnitrogen- og nitratinnholdet fikk tilstandsklasse *meget god* om sommeren, men dårligere tilstand om vinteren.

Viksefjorden fikk den dårligste SFT tilstandsklasse med hensyn til oksygeninnhold i bunnvannet.

Utslippsberegningene viste at jordbruket var den største enkeltkilden til næringssalter og stod for ca 44 % av fosfor tilførselen og ca 54 % av nitrogenet. For organisk stoff (BOF) var jordbruket mindre betydning (10%), men kloakktilførselen viktigst med ca 66 %. Smoltanlegget hadde prosentvis større innflytelse på BOF tilførselen (22 %) enn næringssaltene (5 og 1 %).

Beregninger med Fjormiljømodellen tilsier at det meste av produksjonen i fjorden blir fanget innefor terskelen og synker til bunn. Mye av produksjonen skjer som følge av næringssalttilførsel fra dypvannet. Totalt 240 tonn karbon, 42 tonn nitrogen og 5 tonn fosfor transporteres ned til bunnvannet. Dette bidraget er betydelig og større i forhold til de andre kildene av organisk stoff og næringssalter til Viksefjorden.

Ut fra de undersøkelsene som er gjort kan vi si at bunnvannet i Viksefjorden er uten oksygen det meste av tiden. Trolig er dette naturtilstanden til fjorden, og det har vært slik fra tiden før resipienten ble påvirket av menneskelig aktivitet. Undersøkelsene i Viksefjorden gir ikke grunnlag for å vise at det har vært noen tidsutvikling i miljøforholdene. Det er vanskelig å anslå i hvilken grad dagens bruk av resipienten har påvirket miljøforholdene, men beregninger av oksygenforbruket tyder på at menneskeskapt påvirkning er liten. Økte utslipp bør unngås siden det kan føre til at det oksygenfrie vannlaget blir tykkere. Da vil større deler av fjorden bli uten dyreliv, og resipientkapasiteten reduseres ytterligere, samt at det kan bli estetiske- og luktproblemer

for befolkningen. Miljøforholdene bør undersøkes videre fremover, og det er da viktig å se på oksygenforholdene i vannsøyle og bunnvann.

Ved å redusere oksygenforbruket i vannmassene eller å øke oksygentilførslen kan de negative effektene av oksygensvikt motvirkes og fjorden få større kapasitet for utslipp. Økt oksygentilgang kan gjøres ved å sette i gang strømsettere, lufteanlegg og lignende, eller å tilføre ferskvann til bunnvannet. Dette vil imidlertid også føre til økt næringssaltinnhold i overflatevannet, økt planktonproduksjon, og derved økt oksygenforbruk i bunnvannet.

5 Referanser

- Aure, J. & A. Stigebrandt 1989. On the influence of topographic factors upon the oxygen consumption rate in sill basins of fjords. *Estuarine, coastal and Shelf Science*, 28, 59-69.
- Bratli, J.L. & H. Holtan, 1995. Miljøsmål for vannforekomstene. Tilførselsberegninger. SFT-veiledning 95:02, TA-1139/1995.
- Johannessen, P. J. & A. M. Stensvold 1987. Resipientundersøkelser i Sveio kommune. Institutt for marinbiologi, Universitetet i Bergen. Rapport nr 61, 25 s.
- Lømmland, E.R., H.-P. Mannvik, E. Nygaard & E. Oug 1998. *Resipientundersøkelse ved fem lokaliteter i Sveio kommune*. NIVA rapport. 3904-98. 53s.
- Molvær, J., J. Knutzen, J. Magnusson, B. Rygg, J. Skei & J. Sørensen 1997. *Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann*. SFT Veiledning 97:03. Statens Forurensningstilsyn, TA-1467/1997, Oslo. 36 s.
- Molversmyr, Å, S. Vandsemb & H.O. Eggestad, 2002. Skas-Heigre. I: Vandsemb, S.M. & R. Skjevdal, (red.): *Jordsmonnovervåking i Norge. Feltrapporter fra programmet i 2001., Jordforsk, rapport 51/02, s. 155-171.*

6 Vedleggsoversikt

Vedlegg 1: Resultater fra sondemålinger

Vedlegg 2: Resultater fra vannprøveanalyser

Vedlegg 3: Oppsett og resultater for tilførselsberegninger

Vedlegg 4: Resultater fra Fjordmiljømodell kjøringene. **NB skal kun brukes til å se på hvilke parametre som inngår i programmet.** Konklusjonene i fra kjøringene fra RF er ikke korrekte.

Se vedlagte kommentarer fra A. Stigebrandt for vurderinger av Viksefjorden ut fra hans kjøringene av programmet.